



**UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA – UFPB
CENTRO DE CIÊNCIAS JURÍDICAS – CCJ
COORDENAÇÃO DO CURSO DE DIREITO – CAMPUS JOÃO PESSOA
COORDENAÇÃO DE MONOGRAFIA**

WELLEN CAYLANE PASSOS PATRIOTA

**A IMUTABILIDADE DA BLOCKCHAIN E OS IMPASSES PARA A PROTEÇÃO
DOS DADOS PESSOAIS: UMA ANÁLISE DA CONFORMIDADE DA
TECNOLOGIA COM O DIREITO CONTRATUAL DIGITAL**

**JOÃO PESSOA
2025**

WELLEN CAYLANE PASSOS PATRIOTA

**A IMUTABILIDADE DA BLOCKCHAIN E OS IMPASSES PARA A PROTEÇÃO
DOS DADOS PESSOAIS: UMA ANÁLISE DA CONFORMIDADE DA
TECNOLOGIA COM O DIREITO CONTRATUAL DIGITAL**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Curso de Graduação em
Direito de João Pessoa do Centro de
Ciências Jurídicas da Universidade
Federal da Paraíba como requisito parcial
da obtenção do grau de Bacharel em
Direito.

Orientador: Dr. Wladimir Alcibíades
Marinho Falcão Cunha

**JOÃO PESSOA
2025**

Catálogo na publicação
Seção de Catalogação e Classificação

P314i Patriota, Wellen Caylane Passos.

A imutabilidade da blockchain e os impasses para a proteção dos dados pessoais: uma análise da conformidade da tecnologia com o direito contratual digital / Wellen Caylane Passos Patriota. - João Pessoa, 2025.

78 f.

Orientação: Wladimir Alcibíades Marinho Falcão Cunha.

TCC (Graduação) - UFPB/CCJ.

1. Blockchain. 2. LGPD. 3. Contratos inteligentes. 4. Imutabilidade. 5. Dados pessoais. I. Cunha, Wladimir Alcibíades Marinho Falcão. II. Título.

UFPB/CCJ

CDU 34

WELLEN CAYLANE PASSOS PATRIOTA

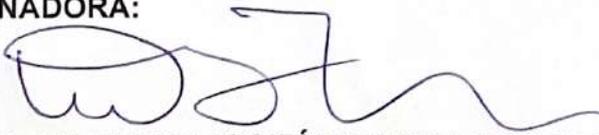
**A IMUTABILIDADE DA BLOCKCHAIN E OS DESAFIOS PARA A PROTEÇÃO
DOS DADOS PESSOAIS: UMA ANÁLISE DA CONFORMIDADE DA
TECNOLOGIA COM O DIREITO CONTRATUAL DIGITAL**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Graduação em Direito de João Pessoa do Centro de Ciências Jurídicas da Universidade Federal da Paraíba como requisito parcial da obtenção do grau de Bacharel em Direito.

Orientador: Dr. Wladimir Alcibíades Marinho Falcão Cunha

DATA DA APROVAÇÃO: 28 DE ABRIL DE 2025

BANCA EXAMINADORA:


Prof. Dr. WLADIMIR ALCIBÍADES MARINHO FALCÃO CUNHA
(ORIENTADOR)

Prof. Dr. DELOSMAR DOMINGOS DE MENDONÇA JUNIOR
(AVALIADOR)


Prof.ª Ms. RAYSSA FÉLIX DE SOUZA
(AVALIADORA)

Dedico este trabalho àqueles que caminharam
ao meu lado nos momentos de incerteza, e
nunca deixaram de acreditar, nem mesmo
quando eu hesitei.

AGRADECIMENTOS

A construção do presente trabalho representa não apenas a finalização de uma etapa acadêmica, mas também a concretização de um esforço contínuo que não teria sido possível sem o apoio de pessoas fundamentais ao longo dessa jornada.

A verdade é que qualquer que seja o objetivo a ser alcançado, independentemente de ser profissional ou acadêmico, é necessária crença e empenho diário, e haverá dias em que surgirá a dúvida se tanta dedicação vale a pena, se a espera pela efetivação do trabalho e estudo vão valer a pena, mas o que nunca deve ser esquecido, é que concluir uma meta diária também é uma pequena conquista para se orgulhar.

Dedico à minha família, a quem expresso minha mais profunda gratidão. À minha mãe, que sempre apoiou cada passo que eu decidi dar, sem nunca duvidar que seria possível. À minha avó e à minha tia, que deram incentivo para que eu chegasse até aqui. Ao meu pai que, esteja onde estiver, me guia como um pedaço dele na terra. Aos meus amigos, que diariamente me incentivaram e pacientemente ouviram cada problema e felicidade perpassado, obrigada por cada palavra de incentivo e por me lembrarem, que na vida também faz parte errar e superar.

Agradeço a todos os profissionais do Direito que confiaram e oportunizaram que eu desenvolvesse meu potencial profissional, e que me guiaram nessa caminhada, e me lembraram de que tudo tem seu tempo certo para acontecer.

A todos que, de alguma forma, me incentivaram, apoiaram e contribuíram para que a conclusão desse curso se tornasse realidade, meu mais sincero agradecimento.

“No presente, a mente, o corpo é diferente, e o passado é uma roupa que não nos serve mais”.

– Belchior

RESUMO

O avanço tecnológico transformou significativamente a forma como os dados são coletados, armazenados e utilizados, impulsionando a necessidade de regulamentação para garantir a proteção das informações pessoais, tendo em vista que o espaço digital torna-se cada vez mais predominante no mundo social. Nesse contexto, a blockchain surge como uma tecnologia inovadora, norteadas pela descentralização e pela imutabilidade dos registros, possibilitando maior segurança e transparência nas transações digitais. No entanto, essa característica de imutabilidade gera desafios jurídicos, sobretudo em relação à Lei Geral de Proteção de Dados (LGPD), que assegura aos titulares o direito de exclusão e retificação de suas informações, tendo em vista a rigidez da tecnologia quanto à alteração de informações. O presente trabalho pesquisa as problemáticas e as possíveis soluções para harmonizar a blockchain com o direito contratual digital, considerando o impacto dos contratos inteligentes no mundo jurídico. Desta feita, a blockchain oferece vantagens como transparência e segurança. No entanto, a sua característica de imutabilidade inviabiliza a aplicação plena da legislação de proteção de dados. Contudo, alternativas como a anonimização e o armazenamento off-chain podem minimizar os impactos dessa limitação, de forma que, apesar dos obstáculos, a adaptação da blockchain ao ordenamento jurídico não é uma mera hipótese, sendo possível empregar soluções técnicas que assegurem a proteção dos direitos fundamentais dos titulares de dados, sem comprometer a inovação tecnológica.

Palavras-chave: Blockchain; LGPD; contratos inteligentes; imutabilidade; dados pessoais.

ABSTRACT

The technological advancement has significantly transformed the way data is collected, stored, and used, driving the need for regulation to ensure the protection of personal information, especially as the digital space becomes increasingly predominant in the social world. In this context, blockchain emerges as an innovative technology, guided by decentralization and the immutability of records, providing greater security and transparency in digital transactions. However, this characteristic of immutability poses legal challenges, particularly in relation to the General Data Protection Law (LGPD), which guarantees data subjects the right to delete and correct their information, given the rigidity of the technology in altering data. This paper investigates the issues and potential solutions for harmonizing blockchain with digital contract law, considering the impact of smart contracts on the legal world. Thus, while blockchain offers advantages such as transparency and security, its immutability feature makes it difficult to fully apply data protection laws. Nevertheless, alternatives such as anonymization and off-chain storage can mitigate the impacts of this limitation, so that, despite the challenges, the adaptation of blockchain to the legal framework is not merely a possibility, but rather a reality that can utilize technical solutions to ensure the protection of data subjects' fundamental rights without compromising technological innovation.

Key-words: Blockchain; LGPD; smart contracts; immutability; personal data.

SUMÁRIO

SUMÁRIO	8
1 INTRODUÇÃO	10
2 UMA VISÃO GERAL DA BLOCKCHAIN	13
2.1 OS PRINCÍPIOS FUNDAMENTAIS DA BLOCKCHAIN	16
2.1.1. Descentralização	17
2.1.2. Segurança e Criptografia	18
2.1.3. Transparência e rastreabilidade	19
2.1.4. Imutabilidade	20
2.3 A APLICAÇÃO DA BLOCKCHAIN NO SISTEMA JURÍDICO E A ÓPTICA DO PODER JUDICIÁRIO	23
3 CONTRATOS INTELIGENTES	26
3.1 ELEMENTOS DISTINTIVOS DOS CONTRATOS INTELIGENTES	29
3.1.1 Características dos contratos inteligentes	30
3.1.1.1 Forma eletrônica	31
3.1.1.2 Transição e execução em hardware ou software	32
3.1.1.3 Maior probabilidade de adimplemento	32
3.1.1.4 Natureza condicional	33
3.1.1.5 Autoexecutoriedade	33
3.1.1.6 Dispensabilidade de confiança	34
3.1.2 Formação dos contratos inteligentes	35
3.2 APLICABILIDADE DOS CONTRATOS INTELIGENTES	37
3.2.1 Validade e eficácia	38
3.2.2 Vulnerabilidades	41
3.2.3 Implementação dos contratos inteligentes	43
4 DA CONFORMIDADE DOS CONTRATOS INTELIGENTES COM A LEI GERAL DE PROTEÇÃO DE DADOS	46
4.1 LEI GERAL DE PROTEÇÃO DE DADOS	47
4.1.1 Exclusão e retificação de dados pessoais na LGPD	49
4.1.2 A importância do consentimento no tratamento de dados	50
4.2 DA UTILIZAÇÃO DA TECNOLOGIA COMO ALIADA À LEI GERAL DE PROTEÇÃO DE DADOS	53
4.3 DA (DES)CONFORMIDADE DOS CONTRATOS INTELIGENTES COM A LEI GERAL DE PROTEÇÃO DE DADOS	56
4.3.1.1 Da impossibilidade de controle de dados	58
4.3.1.2 Imutabilidade de dados e a necessidade de anonimização	59
4.3.1.3 Revogação do consentimento e término do tratamento de dados	59
4.3.1.4 Transferência internacional de dados	60
4.4 MECANISMOS PARA A CONFORMIDADE DOS CONTRATOS INTELIGENTES COM A LEI GERAL DE PROTEÇÃO DE DADOS	61
4.4.1 Extinção de contratos inteligentes sob a óptica da LGPD	65
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	68

1 INTRODUÇÃO

A tecnologia é um fenômeno intrínseco ao progresso da sociedade, cujo constante avanço transforma o modo pelo qual as atividades são tradicionalmente realizadas, permitindo que todos os atos sociais sejam praticados virtualmente. O avanço descompassado da digitalização global, aliado ao desenvolvimento de tecnologias, gerou a necessidade premente de proteção dos indivíduos no ambiente digital, bem como a proteção dos dados e informações inseridos na rede.

Neste contexto, no mundo globalizado vêm sendo desenvolvidas regulamentações relacionadas à coleta, ao tratamento e ao compartilhamento de dados com o propósito de subsidiar, personalizar e aprimorar os processos e serviços disponibilizados à sociedade. No Brasil, foi criada em 14 de agosto de 2018 e entrou em vigor em 18 de setembro de 2020, a Lei Geral de Proteção de Dados direcionada à proteção de direitos fundamentais, como a privacidade, especialmente no que se refere aos dados dos usuários.

Anteriormente à consolidação de normas relativas à proteção de dados pessoais no Brasil e no mundo, em 2008, foi criada uma criptomoeda digital que utiliza tecnologia descentralizada, o Bitcoin¹, que utiliza uma tecnologia chamada blockchain, para garantir o registro de informações de forma segura, transparente e imutável, permitindo transações diretas, sem necessidade de intermediários. Em suma, a blockchain opera como um banco de armazenamento de informações, que são armazenadas por meio de criptografia², garantindo segurança, rastreabilidade e integridade dos dados armazenados³, tais dados tornam-se imutáveis e com caráter permanente⁴.

À primeira vista, podemos não visualizar a correlação entre a blockchain e a LGPD, no entanto, é preciso considerar que a blockchain utiliza e registra

¹ Bitcoin é uma criptomoeda descentralizada criada em 2008, que utiliza a tecnologia blockchain para registrar transações de forma segura, transparente e imutável.

² Criptografia é um método de codificação de informações que visa garantir a segurança, confidencialidade e integridade dos dados, permitindo que apenas usuários autorizados tenham acesso ao seu conteúdo.

³ WRIGHT, Aaron; DE FILIPPI, Primavera. Decentralized Blockchain Technology and the Rise of Lex Cryptographia. Paris: Yeshiva University and Université Paris II, 2015. Disponível em: <https://ssrn.com/abstract=2580664>. Acesso em: 27 dez. 2024, p. 8.

⁴ TALBOT, Michael. A brief description of blockchain: why it matters in the real world. [S. l.]: Veracity Tech Academy, 2018. Disponível em: <https://pt.everand.com/book/398227706/A-Brief-Description-of-Blockchain-Why-It-Matters-in-the-Real-World>. Acesso em: 27 dez. 2024.

informações dos usuários, informações estas que devem ser armazenadas seguindo os princípios estabelecidos na legislação local.

O presente trabalho examina a compatibilidade da tecnologia blockchain com os princípios da Lei Geral de Proteção de Dados Pessoais, com ênfase na sua característica de imutabilidade e nos desafios que essa propriedade apresenta para o direito à exclusão e retificação de dados pessoais dos usuários. Ademais, no âmbito do direito contratual digital, surge uma outra tecnologia, os contratos inteligentes, que operam de forma automatizada e descentralizada, tal qual a blockchain, visto que constitui a base dessa modalidade contratual.

Neste ínterim, analisaremos como conciliar as características de imutabilidade, transparência e descentralização da tecnologia blockchain e dos contratos inteligentes com os direitos dos titulares de dados pessoais previstos na LGPD, especialmente, visando os direitos de exclusão e retificação de dados, partindo do pressuposto que as informações registradas na tecnologia, objeto deste estudo, tornam-se inalteráveis. Ou seja, uma vez armazenados na blockchain, os dados tornam-se imutáveis. Em um contrato inteligente contendo dados sensíveis das partes, a sua exclusão ou anonimização se tornaria inviável, o que configura um entrave ao pleno exercício do direito à privacidade.

A pesquisa adotará o método dedutivo. Parte das normas gerais que regem a proteção de dados e a tecnologia blockchain para, posteriormente, analisar suas implicações específicas. Ou seja, realizar-se-á uma análise das regras relacionadas à proteção de dados, bem como os pressupostos dos contratos inteligentes, a fim de concluir sobre a adequação da tecnologia, ou os meios de adequá-la ao ordenamento jurídico, especialmente a lei geral de proteção de dados.

Ademais, a abordagem será qualitativa, pois busca-se uma compreensão aprofundada do fenômeno jurídico-tecnológico sem a aplicação de dados quantitativos, mas tão somente por meio da análise de fontes teóricas, como artigos científicos, tanto jurídicos quanto tecnológicos, e a legislação, realizando uma análise interpretativa. Por fim, a pesquisa será bibliográfica, com base em uma revisão da literatura acadêmica e das normas legais, para embasar teoricamente as discussões e interpretações jurídicas necessárias.

No que tange à estrutura do presente trabalho, este possui três capítulos. O primeiro capítulo é dedicado à análise do conceito de blockchain, abordando suas principais características, funcionamento e as implicações jurídicas decorrentes de

sua aplicação. Em suma, a blockchain possibilita o armazenamento de informações, oferecendo descentralização, segurança, transparência e imutabilidade da tecnologia, possuindo uma estrutura como uma espécie de cadeia de blocos organizados em sequência, nos quais há o registro de informações novas, bem como as informações relativas à transação anterior que foi registrada previamente em outro bloco da cadeia.

No presente momento, os tribunais brasileiros ainda não abordam diretamente a problemática da blockchain em relação à proteção de dados, que nas poucas ocasiões que tratam da tecnologia, se limitam a discutir as criptomoedas, em especial, o Bitcoin. Dessa forma, ainda não se verifica um posicionamento consolidado do Poder Judiciário quanto aos desafios jurídicos decorrentes da imutabilidade da tecnologia e sua compatibilidade com os direitos dos titulares de dados pessoais.

No segundo capítulo, apresentaremos os contratos inteligentes, isto é, os smart contracts, analisando sua definição, estrutura, funcionamento e os desafios jurídicos que surgem com sua implementação no âmbito legal. Inicialmente, os smart contracts não possuem definição legal clara, pois vão além da ideia de um contrato produzido em meio virtual.

Por derradeiro, o terceiro capítulo dedica-se à análise da conformidade – ou não – dos contratos inteligentes com a Lei Geral de Proteção de Dados. Ou seja, veremos se a utilização de tecnologia automatizada na produção de contratos, mediante a inserção de dados pessoais pelo usuário, mantém compatibilidade com o ordenamento jurídico, sob a óptica da proteção de dados sensíveis previsto na Lei Geral de Proteção de Dados.

Desta feita, a pertinência do presente trabalho se registra na pesquisa acerca da compatibilidade, ou incompatibilidade de uma tecnologia capaz de ser utilizada em diversas áreas do conhecimento, especialmente, na era do direito contratual contemporâneo, visto que, por um lado temos uma legislação que busca garantir o exercício dos direitos dos titulares sobre seus dados pessoais, incluindo direitos como o acesso, a correção e a exclusão de informações, e por outro, a tecnologia blockchain se fundamenta na descentralização e na imutabilidade dos registros, o que significa que, uma vez inseridos, os dados não podem ser alterados ou removidos.

2 UMA VISÃO GERAL DA BLOCKCHAIN

A blockchain é uma tecnologia que se constitui como um sistema de registro descentralizado e distribuído baseado em log⁵, ou seja, uma tecnologia que possui uma forma compartilhada de armazenar informações entre todos os participantes⁶. Basicamente, é uma ordenação dos dados criptograficamente protegido na plataforma, numa organização sequencial de blocos, que garante a integridade e autenticidade dos registros, a informação que é inserida no sistema não pode ser deletada e todos os usuários possuem acesso àquele dado registrado⁷, assim, a blockchain possibilita que as informações gravadas no sistema mantenham-se seguras, num modelo de descentralização e imutabilidade do registro⁸, tal qual se exemplifica:

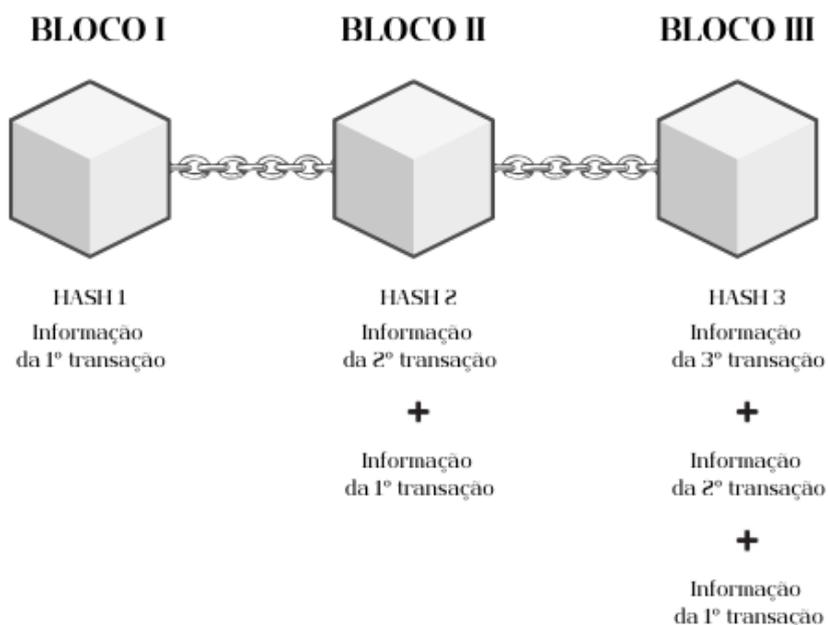


Figura 1 – Imagem ilustrativa do Blockchain, autoria própria.

⁵ O log, no contexto de blockchain, refere-se ao registro sequencial e imutável das transações armazenadas em blocos.

⁶ FORMIGONI FILHO, José Reynaldo; BRAGA, Alexandre Mello; LEAL, Rodrigo Lima Verde. Tecnologia Blockchain: uma visão geral. 2017. Disponível em: <https://pt.slideshare.net/slideshow/tecnologia-blockchain-uma-viso-geral-cpqd/75998010#1>. Acesso em: 24 dez. 2024. p. 6.

⁷ WRIGHT, Aaron; DE FILIPPI, Primavera. Decentralized Blockchain Technology and the Rise of Lex Cryptographia. Paris: Yeshiva University and Université Paris II, 2015. Disponível em: <https://ssrn.com/abstract=2580664>. Acesso em: 27 dez. 2024, p. 8.

⁸ WRIGHT, Aaron; DE FILIPPI, Primavera. Decentralized Blockchain Technology and the Rise of Lex Cryptographia. Paris: Yeshiva University and Université Paris II, 2015. Disponível em: <https://ssrn.com/abstract=2580664>. Acesso em: 27 dez. 2024, p. 6.

(Imagem que possui três blocos em sequência, ligados a uma corrente, demonstrando a reunião de todas as informações de todos os blocos anteriores no último bloco).

Ou seja, como sugere pela tradução do nome da blockchain, trata-se de uma cadeia de blocos. Isto é, a tecnologia reúne vários blocos, ligados um ao outro, pelo qual cada bloco reúne uma informação específica, e em cadeia, formando uma sequência de blocos⁹.

As informações registradas em cada bloco são criptografadas e organizadas em um conjunto de dados menores, os quais são chamados de *blocks*¹⁰, ilustrado na figura supracitada como bloco. Cada bloco possui o registro de uma transação realizada, bem como, reúne as transações do bloco anterior da cadeia, determinado *chain*¹¹, e por fim, a solução para um algoritmo matemático com a totalidade da informação, é o *hash*¹², o qual funciona como meio de validação dos dados registrados no bloco¹³.

A Dra. Mafalda Miranda Barbosa, conceitua a tecnologia como blocos são armazenados e interligados por meio da criptografia, permitindo a operação de uma rede peer-to-peer, de natureza descentralizada. Ou seja, a blockchain é uma tecnologia distribuída (distributed ledger), na qual as transações são registradas de maneira anônima, operando como um livro de registros (ledger), nas quais as informações são anonimamente inseridas e replicadas dentro de um ambiente digital (network), que conecta os computadores dos participantes (nodes), mantendo-se constantemente atualizada¹⁴.

⁹ WRIGHT, Aaron; DE FILIPPI, Primavera. Decentralized Blockchain Technology and the Rise of Lex Cryptographia. Paris: Yeshiva University and Université Paris II, 2015. Disponível em: <https://ssrn.com/abstract=2580664>. Acesso em: 27 dez. 2024, p. 6.

¹⁰ *Blocks* são estruturas de dados na blockchain que agrupam transações verificadas, conectadas de forma sequencial e protegidas por criptografia.

¹¹ *Chain* é sequência ordenada de blocos na blockchain, conectados por hashes, garantindo a integridade e imutabilidade dos dados.

¹² *Hach* é uma função criptográfica que converte dados em um código fixo e único, garantindo integridade e segurança ao identificar alterações no conteúdo original.

¹³ DIVINO, Sthéfano Bruno Santos. Smart Contracts: Conceitos, limitações, aplicabilidade e desafios. Ano 04, n° 6. ed. [S. l.]: RJLB, 2018. Disponível em: https://www.cidp.pt/revistas/rjlb/2018/6/2018_06_2771_2808.pdf. Acesso em: 26 dez. 2024.

¹⁴ BARBOSA, Mafalda Miranda. Blockchain e responsabilidade Civil: inquietações em torno de uma realidade nova. Ano 1. ed. [S. l.]: Revista de Direito da Responsabilidade, 27 fev. 2019. Disponível em: <https://revistadireitoresponsabilidade.pt/2019/blockchain-e-responsabilidade-civil-inquietacoes-em-torn-o-de-uma-realidade-nova-mafalda-miranda-barbosa/>. Acesso em: 25 dez. 2024, p. 5.

Tecnicamente, a cópia do bloco será salva em cada computador dos integrantes da rede P2P¹⁵, ou seja, os computadores dos sujeitos participantes nas transações realizadas e registradas, os quais serão periodicamente sincronizados para que o banco de dados permaneça constantemente atualizado¹⁶, eliminando a necessidade de um terceiro intermediador na relação para coordenar ou estabelecer processos individualizados para cada transação¹⁷, em razão de sua natureza descentralizada e anônima.

Nesta estrutura, para garantir a legitimidade dos dados inseridos nos blocos, as informações são validadas pelos participantes da rede por meio de um mecanismo de “consenso”¹⁸. Tal consenso é obtido por mecanismos específicos, destacando-se o denominado *proof of work*¹⁹, que demanda significativo poder de processamento computacional conectado à internet para sua efetivação²⁰.

Conforme afirma Formigoni Filho, Braga e Leal, a tecnologia blockchain possui quatro pilares centrais, tais quais: segurança das operações, descentralização do armazenamento, integridade dos dados e imutabilidade das transações²¹.

A segurança da tecnologia advém da forma como ocorre o armazenamento de informações, a partir da impossibilidade de modificação imperceptível, operando da seguinte forma: cada nova informação gerada e incluída na cadeia de blocos, torna-se mais seguro o sistema como um todo, em razão da necessidade de modificar todos os blocos subsequentes para efetuar qualquer

¹⁵ Rede Peer-to-Peer (2P2). São redes descentralizadas onde cada participante pode transmitir um pacote de dados para outro, que, ao recebê-lo, verifica sua autenticidade e o repassa a outros usuários da rede.

¹⁶ DIVINO, Sthéfano Bruno Santos. Smart Contracts: Conceitos, limitações, aplicabilidade e desafios. Ano 04, n° 6. ed. [S. l.]: RJLB, 2018. Disponível em: https://www.cidp.pt/revistas/rjlb/2018/6/2018_06_2771_2808.pdf. Acesso em: 26 dez. 2024.

¹⁷ DIVINO, Sthéfano Bruno Santos. Smart Contracts: Conceitos, limitações, aplicabilidade e desafios. Ano 04, n° 6. ed. [S. l.]: RJLB, 2018. Disponível em: https://www.cidp.pt/revistas/rjlb/2018/6/2018_06_2771_2808.pdf. Acesso em: 26 dez. 2024.

¹⁸ WRIGHT, Aaron; DE FILIPPI, Primavera. Decentralized Blockchain Technology and the Rise of Lex Cryptographia. Paris: Yeshiva University and Université Paris II, 2015. Disponível em: <https://ssrn.com/abstract=2580664>. Acesso em: 27 dez. 2024, p. 9.

¹⁹ O *Proof of Work* (Prova de Trabalho) é um mecanismo de consenso que valida transações em redes de blockchain, exigindo a resolução de problemas matemáticos complexos por mineradores, garantindo segurança e imutabilidade à cadeia de blocos.

²⁰ DIVINO, Sthéfano Bruno Santos. Smart Contracts: Conceitos, limitações, aplicabilidade e desafios. Ano 04, n° 6. ed. [S. l.]: RJLB, 2018. Disponível em: https://www.cidp.pt/revistas/rjlb/2018/6/2018_06_2771_2808.pdf. Acesso em: 26 dez. 2024.

²¹ FORMIGONI FILHO, José Reynaldo; BRAGA, Alexandre Mello; LEAL, Rodrigo Lima Verde. Tecnologia Blockchain: uma visão geral. 2017. Disponível em: <https://pt.slideshare.net/slideshow/tecnologia-blockchain-uma-viso-geral-cpqd/75998010#1>. Acesso em: 24 dez. 2024. p. 6.

alteração, sendo necessária uma grande quantidade de computadores para viabilizar qualquer tentativa de modificação²². Portanto, a blockchain não é uma rede única²³.

Tal segurança e autenticidade do blockchain advém da capacidade de manter os dados íntegros, uma vez que, se um dos blocos registrados na blockchain tiver adulterações, os demais blocos da rede rejeitarão o bloco corrompido²⁴.

Contudo, frisa-se que, nesta tecnologia, não há uma checagem acerca do conteúdo que ateste a precisão das informações de cada transação inscrita nos blocos, na medida que, a blockchain verifica e atesta os procedimentos formais e objetivos para fins de validar a transação a ser registrada, sem realizar uma análise do conteúdo de cada registro, com o intuito de verificar os dados inscritos.²⁵

Em suma, a blockchain oferece como aspecto a segurança e integridade dos dados, por meio de seu sistema descentralizado e imutável, que elimina a necessidade de intermediários, em razão da constante atualização dos dados de forma colaborativa entre as partes da rede, fortalecendo a segurança da informação, bem como assegura a autenticidade dos registros, embora a blockchain não realize verificação automática do conteúdo de cada informação.

2.1 OS PRINCÍPIOS FUNDAMENTAIS DA BLOCKCHAIN

A blockchain é uma tecnologia sustentada por características que a tornam uma ferramenta complexa e segura, como já dito, descentralização, segurança criptográfica, transparência e imutabilidade, que não somente definem sua estrutura técnica, mas também garantem a confiabilidade e a eficiência das operações realizadas em sua rede.

²² FORMIGONI FILHO, José Reynaldo; BRAGA, Alexandre Mello; LEAL, Rodrigo Lima Verde. Tecnologia Blockchain: uma visão geral. 2017. Disponível em: <https://pt.slideshare.net/slideshow/tecnologia-blockchain-uma-viso-geral-cpqd/75998010#1>. Acesso em: 25 dez. 2024. p. 10.

²³ DIDIER, Fredie; ALEXANDRIA DE OLIVEIRA, Rafael. O uso da tecnologia blockchain para arquivamento de documentos eletrônicos e negócios probatórios de acordo com a Lei de Liberdade Econômica. 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.34280/annep/2020.v1i1.7>. Acesso em: 26 dez. 2024, p. 52.

²⁴ WHITE, Cameron; MANORANJAN, Paul. *Blockchain-based image hashing for image authentication*. 2020. Disponível em: <https://arxiv.org/pdf/2004.06860>. Acesso em: 26 dez. 2024, p. 32.

²⁵ DIVINO, Sthéfano Bruno Santos. Smart Contracts: Conceitos, limitações, aplicabilidade e desafios. Ano 04, n° 6. ed. [S. l.]: RJLB, 2018. Disponível em: https://www.cidp.pt/revistas/rjlb/2018/6/2018_06_2771_2808.pdf. Acesso em: 26 dez. 2024.

Podemos resumi-las em cinco propriedades: descentralização, irreversibilidade, peer-to-peer, programação lógica e transparência²⁶. Tais fundamentos, basicamente, permitem que o blockchain opere como um registro distribuído e seguro, minimizando os riscos de fraude e adulteração de dados. Logo, cada princípio origina-se da construção da rede entre os participantes, e proteção criptográfica das informações registradas.

2.1.1. Descentralização

De acordo com Wright e Filippe, antes do desenvolvimento da blockchain, era impossível haver coordenação das atividades online sem um órgão centralizado, que atuasse para assegurar a validade e veracidade dos dados da rede, evitando adulterações²⁷. O problema foi resolvido a partir de uma tecnologia que força as informações que trafegam em uma rede de computadores a se tornarem mais transparentes e verificáveis, utilizando de matemática, pois, por essa rede, para realizar uma alteração, seria necessário um poder computacional significativo para resolverem os problemas matemáticos²⁸ e alterarem todo o sistema de maneira imperceptível.

Logo, a partir do protocolo de segurança da blockchain, as transações realizadas têm uma validade assegurada pelo dado mais de uma vez registrado num repositório descentralizado, proporcionando uma estrutura de coordenação de transações individuais, eliminando a necessidade de uma autoridade central ou confiável para validar e processar cada operação²⁹.

Assim, a blockchain não possui nenhum indivíduo ou órgão coordenando, mas sim uma rede que é mantida pelos próprios usuários, aquilo que Vaigandla,

²⁶ BARBOSA, Mafalda Miranda. Blockchain e responsabilidade Civil: inquietações em torno de uma realidade nova. Ano 1. ed. [S. l.]: Revista de Direito da Responsabilidade, 27 fev. 2019. Disponível em:

<https://revistadireitoresponsabilidade.pt/2019/blockchain-e-responsabilidade-civil-inquietacoes-em-torn-o-de-uma-realidade-nova-mafalda-miranda-barbosa/>. Acesso em: 04 jan. 2025, p. 5.

²⁷ WRIGHT, Aaron; DE FILIPPI, Primavera. Decentralized Blockchain Technology and the Rise of Lex Cryptographia. Paris: Yeshiva University and Université Paris II, 2015. Disponível em: <https://ssrn.com/abstract=2580664>. Acesso em: 04 jan. 2025, p. 6.

²⁸ WRIGHT, Aaron; DE FILIPPI, Primavera. Decentralized Blockchain Technology and the Rise of Lex Cryptographia. Paris: Yeshiva University and Université Paris II, 2015. Disponível em: <https://ssrn.com/abstract=2580664>. Acesso em: 04 jan. 2025, p. 7.

²⁹ WRIGHT, Aaron; DE FILIPPI, Primavera. Decentralized Blockchain Technology and the Rise of Lex Cryptographia. Paris: Yeshiva University and Université Paris II, 2015. Disponível em: <https://ssrn.com/abstract=2580664>. Acesso em: 04 jan. 2025, p. 7.

Siluveru, kesoju e Karne definem como “grupo de nós”³⁰, ou seja, rede de dados distribuídos e validados em consenso pelos agentes, operando de maneira descentralizada, diferentemente de um procedimento em sistema tradicional, que precisam que uma autoridade central valide as transações³¹.

Inclusive, a tecnologia chega a ser conceituada como um livro razão descentralizado, onde as transações são registradas de forma transparente e acessível a todos os participantes, onde cada um mantém uma cópia do livro-razão, com todas as transações, garantindo a replicação e a segurança dos dados³². Portanto, a blockchain surgiu com o potencial de descentralizar a forma como armazenamos dados e gerenciamos informações, capaz de reduzir o papel dos intermediários, atores regulatórios tradicionais em nossa sociedade³³.

2.1.2. Segurança e Criptografia

A segurança da blockchain é um elemento tão intrínseco à sua estrutura, que passou a fazer parte da sua qualificação quando foi apresentada pelo *The Economist* em 2015³⁴, apresentando a tecnologia como “the trust machine”, a máquina da confiança.

A confiança do blockchain é oriunda do processo de automação na verificação da validade e do registro das transações, uma vez que os usuários da rede não precisam confiar uns nos outros diretamente, em razão do mecanismo de verificação da validade dos atos entre as partes, sem necessidade de análise por um

³⁰ VAIGANDLA, Karthik Kumar; SILUVERU, Mounika; KESOJU, Madhavi; KARNE, RadhaKrishna. Review on Blockchain Technology: Architecture, Characteristics, Benefits, Algorithms, Challenges and Applications. Vol. 2023. ed. [S. l.]: Mesopotamian journal of Cybersecurity, 24 mar. 2023. Disponível em: <https://journals.mesopotamian.press/index.php/CyberSecurity/article/view/68/86>. Acesso em: 4 jan. 2025, p.77.

³¹ VAIGANDLA, Karthik Kumar; SILUVERU, Mounika; KESOJU, Madhavi; KARNE, RadhaKrishna. Review on Blockchain Technology: Architecture, Characteristics, Benefits, Algorithms, Challenges and Applications. Vol. 2023. ed. [S. l.]: Mesopotamian journal of Cybersecurity, 24 mar. 2023. Disponível em: <https://journals.mesopotamian.press/index.php/CyberSecurity/article/view/68/86>. Acesso em: 4 jan. 2025, p.77.

³² VAIGANDLA, Karthik Kumar; SILUVERU, Mounika; KESOJU, Madhavi; KARNE, RadhaKrishna. Review on Blockchain Technology: Architecture, Characteristics, Benefits, Algorithms, Challenges and Applications. Vol. 2023. ed. [S. l.]: Mesopotamian journal of Cybersecurity, 24 mar. 2023. Disponível em: <https://journals.mesopotamian.press/index.php/CyberSecurity/article/view/68/86>. Acesso em: 4 jan. 2025, p.77.

³³ WRIGHT, Aaron; DE FILIPPI, Primavera. Decentralized Blockchain Technology and the Rise of Lex Cryptographia. Paris: Yeshiva University and Université Paris II, 2015. Disponível em: <https://ssrn.com/abstract=2580664>. Acesso em: 04 jan. 2025, p. 1.

³⁴ Disponível em: <https://www.economist.com/leaders/2015/10/31/the-trust-machine>.

terceiro³⁵. A validade dos procedimentos nas plataformas de blockchain opera de maneira eficaz e rápida, por meio dos chamados mineradores³⁶, que impedem que transações suspeitas sejam registradas na cadeia de blocos³⁷.

Afinal, como já dito, uma vez registrada na cadeia de blocos, a transação torna-se quase permanente dentro do sistema, em razão da forma imutável da blockchain, a qual analisar-se-á *a posteriori*.

Frisa-se novamente que as informações de cada transação são distribuídas entre todos os usuários, eliminando perpetuação de informações inconsistentes, ou possíveis fraudes no sistema, uma vez que, se fosse para realizar uma única alteração, sem ser percebida, seria necessário alterar todos os registros em todas as redes de computadores pelo qual a informação foi lançada. A repetição das informações funciona como uma redundância de registros, sendo um incentivo para os indivíduos que confiam na segurança da blockchain.

Ainda, em razão da ausência de intermediários, como a rede limitada aos usuários, confia-se que os ativos não serão repassados a terceiros desconhecidos, para além de que os dados não serão processados de maneira desautorizada³⁸.

2.1.3. Transparência e rastreabilidade

A confiança e segurança estão diretamente relacionadas à transparência, visto que não é possível assegurar segurança em um procedimento que não compartilhe de forma clara e acessível seus métodos de atuação com os usuários. A ausência de conhecimento sobre a estrutura e o funcionamento de um sistema compromete a percepção de confiabilidade.

³⁵ ALI, Vizaad; NORMAN, Azah Anir; AZZUHRI, Saaidal Razalli Bin. Characteristics of Blockchain and Its Relationship With Trust. Volume 11. ed. [S. l.]: IEEE, 9 fev. 2023. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/10041154>. Acesso em: 5 jan. 2025, p. 8.

³⁶ Os “miners” ou “mineradores”, no contexto do blockchain, refere-se às entidades que utilizam poder computacional para validar transações e adicioná-las ao livro-razão digital.

³⁷ VAIGANDLA, Karthik Kumar; SILUVERU, Mounika; KESOJU, Madhavi; KARNE, RadhaKrishna. Review on Blockchain Technology: Architecture, Characteristics, Benefits, Algorithms, Challenges and Applications. Vol. 2023. ed. [S. l.]: Mesopotamian journal of Cybersecurity, 24 mar. 2023. Disponível em: <https://journals.mesopotamian.press/index.php/CyberSecurity/article/view/68/86>. Acesso em: 4 jan. 2025, p.77.

³⁸ VAIGANDLA, Karthik Kumar; SILUVERU, Mounika; KESOJU, Madhavi; KARNE, RadhaKrishna. Review on Blockchain Technology: Architecture, Characteristics, Benefits, Algorithms, Challenges and Applications. Vol. 2023. ed. [S. l.]: Mesopotamian journal of Cybersecurity, 24 mar. 2023. Disponível em: <https://journals.mesopotamian.press/index.php/CyberSecurity/article/view/68/86>. Acesso em: 5 jan. 2025, p.78.

Neste ínterim, a fim de proporcionar segurança a cada usuário, a blockchain propicia um perfil transparente para todos, num ambiente que as partes podem livremente acessar todas as ações realizadas, partindo da premissa que, cada bloco registrado na cadeia, possuirão uma cópia do livro-razão digital³⁹, que é o registro eletrônico descentralizado e imutável de transações, como previamente esclarecido.

Outrossim, a rastreabilidade das ações registradas advém do fato que as transações são validadas e armazenadas com um carimbo de data e hora, além de serem cronologicamente organizados na cadeia de blocos⁴⁰. Ou seja, todos os participantes da plataforma desenvolvida com base na blockchain, tem amplo acesso às informações, bem como a sua origem, permitindo o rastreamento das transações, e detecção da fonte de uma inconsistência no sistema⁴¹, se houver.

Por fim, de acordo com Wright e Filipe, pela a segurança e transparência da blockchain, os usuários têm acesso a moedas alternativas, mercados globais, sistemas de transações automatizadas, contratos digitais autoexecutáveis, ativos criptografados e protegidos, os quais operariam por procedimentos confiáveis e sem corrupção, e ainda, são processos isentos de preconceções que impedissem o uso livre, sabendo que a tecnologia é dotada de liberdade e autonomia, de forma que qualquer um, independentemente de nacionalidade, possua acesso⁴².

2.1.4. Imutabilidade

³⁹ ALI, Vizaad; NORMAN, Azah Anir; AZZUHRI, Saaidal Razalli Bin. Characteristics of Blockchain and Its Relationship With Trust. Volume 11. ed. [S. l.]: IEEE, 9 fev. 2023. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/10041154>. Acesso em: 5 jan. 2025.

⁴⁰ VAIGANDLA, Karthik Kumar; SILUVERU, Mounika; KESOJU, Madhavi; KARNE, RadhaKrishna. Review on Blockchain Technology: Architecture, Characteristics, Benefits, Algorithms, Challenges and Applications. Vol. 2023. ed. [S. l.]: Mesopotamian journal of Cybersecurity, 24 mar. 2023. Disponível em: <https://journals.mesopotamian.press/index.php/CyberSecurity/article/view/68/86>. Acesso em: 5 jan. 2025, p.78.

⁴¹ VAIGANDLA, Karthik Kumar; SILUVERU, Mounika; KESOJU, Madhavi; KARNE, RadhaKrishna. Review on Blockchain Technology: Architecture, Characteristics, Benefits, Algorithms, Challenges and Applications. Vol. 2023. ed. [S. l.]: Mesopotamian journal of Cybersecurity, 24 mar. 2023. Disponível em: <https://journals.mesopotamian.press/index.php/CyberSecurity/article/view/68/86>. Acesso em: 5 jan. 2025, p.77.

⁴² WRIGHT, Aaron; DE FILIPPI, Primavera. Decentralized Blockchain Technology and the Rise of Lex Cryptographia. Paris: Yeshiva University and Université Paris II, 2015. Disponível em: <https://ssrn.com/abstract=2580664>. Acesso em: 04 jan. 2025, p. 56.

As informações registradas nas redes de blockchain são mantidas em segurança pautadas na sua presunção da imutabilidade, advinda da sua organização algorítmica no armazenamento das informações, sabendo que o blockchain opera como um banco de dados descentralizados que permanecem criptograficamente protegidos, gerando uma segurança nas informações armazenadas⁴³. A imutabilidade advém da estrutura que resguarda os dados registrados, que, embora não seja totalmente imune a fraudes, a adulteração dessas informações é extremamente onerosa e, com os padrões computacionais atuais, torna-se praticamente inviável⁴⁴.

Ou seja, os dados protegidos pela segurança da blockchain, tornam-se imutáveis e perpétuos⁴⁵.

Conforme anterior exposto, os blocos registrados são ligados entre si por meio de criptografia formando uma rede peer-to-peer, pelo qual, cada novo bloco adicionado à cadeia contém dados que referenciam os blocos anteriores, criando uma ligação sequencial, onde as informações do novo bloco adicionado à rede são novamente validadas junto aos blocos anteriores, fortalecendo ainda mais a segurança do sistema. Neste cadeia de blocos para que uma informação inconsistente seja inserida na rede blockchain, seria necessário o controle de pelo menos 50% (cinquenta por cento) do poder computacional de todos os dispositivos conectados à rede⁴⁶. Afinal, para alterar um bloco, precisaria alterar todos os demais blocos subsequentes.

Acontece que, segundo Didier e Rafael Oliveira⁴⁷, as informações registradas em mais de seis blocos tornam-se tecnicamente imutáveis. Sob a análise

⁴³ FILIPPI, Primavera de; WRIGHT, Aaron. Blockchain and the law: the rule of code. Massachusetts: Harvard University Press, 2018. Acesso em: 27 dez. 2024, p. 10.

⁴⁴ DIDIER, Fredie; ALEXANDRIA DE OLIVEIRA, Rafael. O uso da tecnologia blockchain para arquivamento de documentos eletrônicos e negócios probatórios de acordo com a Lei de Liberdade Econômica. 2020. Disponível em:<https://doi.org/10.34280/annep/2020.v1i1.7>. Acesso em: 27 dez. 2024, p. 52.

⁴⁵ TALBOT, Michael. A brief description of blockchain: why it matters in the real world. [S. l.]: Veracity Tech Academy, 2018. Disponível em: <https://pt.everand.com/book/398227706/A-Brief-Description-of-Blockchain-Why-It-Matters-in-the-Real-World>. Acesso em: 27 dez. 2024.

⁴⁶ DIDIER, Fredie; ALEXANDRIA DE OLIVEIRA, Rafael. O uso da tecnologia blockchain para arquivamento de documentos eletrônicos e negócios probatórios de acordo com a Lei de Liberdade Econômica. 2020. Disponível em:<https://doi.org/10.34280/annep/2020.v1i1.7>. Acesso em: 27 dez. 2024, p. 52.

⁴⁷ DIDIER, Fredie; ALEXANDRIA DE OLIVEIRA, Rafael. O uso da tecnologia blockchain para arquivamento de documentos eletrônicos e negócios probatórios de acordo com a Lei de Liberdade Econômica. 2020. Disponível em:<https://doi.org/10.34280/annep/2020.v1i1.7>. Acesso em: 27 dez. 2024, p. 52.

do tempo, a cada dez minutos, um novo bloco é registrado na cadeia, de modo que, em uma hora, torna-se tecnicamente imutável. Portanto, as informações registradas em mais de seis blocos possuem, tecnicamente, uma inexequibilidade da sua alteração e as informações caracterizam-se como imutáveis. Apesar disso, cumpre evidenciar que inexistente imutabilidade absoluta⁴⁸.

A percepção de que as transações realizadas em blockchain são imutáveis decorre de sua estrutura de dados do tipo *append-only*⁴⁹, que indica a possibilidade de apenas adicionar informações ao banco de dados, sem a possibilidade de exclusão.

Todavia, teoricamente é possível reverter blocos de transações caso um número de computadores na rede decida atuar de forma colusiva⁵⁰. O procedimento de alteração do blockchain – ainda que possível, de acordo com Hileman e Rauchs – tal qual previamente exposto, é extremamente oneroso, e exigiria uma extensa rede de computadores, num lapso de tempo muito específico, isto é, enquanto não houvessem muitos blocos em cadeia que dificultasse a modificação, para que fosse possível relativizar a imutabilidade da tecnologia.

Ou seja, embora seja importante pontuar que a imutabilidade da blockchain não deve ser tida como absoluta, ainda que, a estrutura descentralizada e a criptografia utilizada no blockchain garantem um nível elevado de segurança e resistência à adulteração dos dados, devemos ter em mente que é uma prática complexa e onerosa.

Mas, ainda que remota e onerosa, a possibilidade teórica de reversão de blocos ainda existe, uma vez que, um sistema imutável absoluto é ilusório, e as transações em uma rede blockchain podem ser revertidas pelos participantes da rede em circunstâncias específicas.⁵¹

⁴⁸ HILEMAN, Garrick. RAUCHS, Michael. Global Blockchain Benchmarking Study. Cambridge: University of Cambridge: Judge Business School, 2017. Disponível em: <https://ssrn.com/abstract=3040224>. Acesso em: 27 dez. 2024, p. 17.

⁴⁹ *Append-only* é uma estrutura de dados em que as informações podem apenas ser adicionadas, sem possibilidade de alteração ou exclusão, garantindo a preservação do histórico completo de registros e maior rastreabilidade das operações realizadas.

⁵⁰ HILEMAN, Garrick. RAUCHS, Michael. Global Blockchain Benchmarking Study. Cambridge: University of Cambridge: Judge Business School, 2017. Disponível em: <https://ssrn.com/abstract=3040224>. Acesso em: 27 dez. 2024, p. 17.

⁵¹ HILEMAN, Garrick. RAUCHS, Michael. Global Blockchain Benchmarking Study. Cambridge: University of Cambridge: Judge Business School, 2017. Disponível em: <https://ssrn.com/abstract=3040224>. Acesso em: 27 dez. 2024, p. 17.

Apesar desta especificidade, a blockchain é uma tecnologia que permite a transferência de dados entre pessoas de forma segura, protegida, e (quase) imutável, visualizando por exemplo, a execução de moedas digitais e contratos digitais autoexecutáveis, ou seja, sem intervenção de terceiros, plataformas de comunicação, e ainda possibilitar o controle de propriedade digital⁵².

2.3 A APLICAÇÃO DA BLOCKCHAIN NO SISTEMA JURÍDICO E A ÓPTICA DO PODER JUDICIÁRIO

A blockchain é uma tecnologia que foi introduzida com Satoshi Nakamoto⁵³, popularmente conhecido como o responsável pela criação do Bitcoin⁵⁴, a primeira criptomoeda do mundo, que registra transações por meio de uma cadeia de assinaturas digitais, pelo qual, cada proprietário do bitcoin transfere a moeda para o próximo assinando digitalmente um *hash* da transação anterior e a chave pública do próximo proprietário, adicionando esses elementos ao final da moeda. E por fim, um recebedor pode verificar as assinaturas para validar a cadeia de propriedade⁵⁵.

O funcionamento da blockchain viabiliza uma ampla gama de aplicações, tais como a operacionalização de criptoativos, o registro e a autenticação de documentos, bem como a formalização de contratos inteligentes, os quais são armazenadas em blocos criptografados, sendo distribuídos de forma descentralizada ao longo de toda a rede⁵⁶.

⁵² WRIGHT, Aaron; DE FILIPPI, Primavera. Decentralized Blockchain Technology and the Rise of Lex Cryptographia. Artigo não publicado. Paris: Yeshiva University and Université Paris II, 2015, Disponível em: <https://ssrn.com/abstract=2580664>. Acesso em: 28. dez. 2024, p. 2.

⁵³ Satoshi Nakamoto é o pseudônimo utilizado pelo indivíduo ou grupo de indivíduos responsável pela criação do Bitcoin e pela introdução do conceito de blockchain, por meio da publicação do artigo "*Bitcoin: A Peer-to-Peer Electronic Cash System*" em 2008. Embora a identidade real permaneça desconhecida, Nakamoto é amplamente reconhecido como uma figura central no desenvolvimento das criptomoedas e da tecnologia descentralizada.

⁵⁴ Bitcoin é uma criptomoeda descentralizada criada em 2008, que utiliza a tecnologia blockchain para registrar transações de forma segura, transparente e imutável, funcionando como uma moeda digital ponto a ponto, permitindo transações sem a necessidade de intermediários, sendo considerada a primeira e mais conhecida criptomoeda do mundo.

⁵⁵ NAKAMOTO, Satoshi. Bitcoin: A Peer-to-Peer Electronic Cash System. Disponível em: <https://bitcoin.org/bitcoin.pdf>. Acesso em: 28 dez. 2024.

⁵⁶ SANTOS, Beatriz; SORMANI, Alexandre. Blockchain e Smart Contracts: Um estudo sobre o futuro certo do mercado jurídico frente às novas tecnologias. 2021. TCC (Bacharelado) - Curso de Direito da Fundação de Ensino Eurípides Soares da Rocha, São Paulo, 2021. Disponível em: <https://aberto.univem.edu.br/bitstream/handle/11077/2019/TC%20-%20Beatriz%20Santos.pdf>. Acesso em: 30 dez. 2024. , p. 12.

Ainda que o Bitcoin seja o uso mais famoso do blockchain, a tecnologia não se limita a esta aplicação. Pelo contrário, a essência da ferramenta vai muito além da criptomoeda, possuindo possibilidades processuais e informações, mediante suas propriedades singulares⁵⁷.

De acordo com Klaus Schwab, a tecnologia blockchain que utilizada para registrar transações financeiras realizadas com criptomoedas, permite uma aplicação futura ampla, englobando o registro de eventos e documentos variados, tais como nascimentos, óbitos, títulos de propriedade, certidões de casamento, diplomas acadêmicos, solicitações a seguradoras, prontuários médicos e até mesmo votos em processos eleitorais⁵⁸.

Logo, sabendo-se que a blockchain possibilita registro de documentos, é possível a sua utilização no ramo jurídico. Por exemplo, em processos tradicionais relacionados à autenticação e ao registro de documentos, tal qual os cartórios, a blockchain pode ser introduzida para que os documentos sejam registrados de maneira segura em um banco de dados descentralizado, acessível a qualquer momento e de qualquer lugar. Nesse sistema, a validação ocorreria apenas uma única vez, no ato do registro inicial, tornando desnecessárias autenticações subsequentes, e ainda, após o registro, os documentos permaneceriam disponíveis às partes, garantindo tanto a praticidade quanto a integridade das informações⁵⁹.

Ademais, no âmbito dos contratos, o qual será amplamente explorado *a posteriori*, a blockchain é capaz de formar uma plataforma direcionada à gestão de contratos e dados. Um exemplo claro são os contratos inteligentes, pelos quais é possível automatizar a execução de cláusulas contratuais, eliminando intermediários e reduzindo custos operacionais. Ainda, a tecnologia permite a criação de testamentos inteligentes, cuja imutabilidade jurídica assegura confiabilidade e elimina disputas quanto à autenticidade⁶⁰.

⁵⁷ Pilkington, F. X., & Zhegu, M. (2016). Digital transformations: An introduction. In *Research handbook on digital transformations*. Edward Elgar Publishing. Acesso em 31 dez. 2024, p. 19.

⁵⁸ SCHWAB, Klaus. *A Quarta Revolução Industrial*. São Paulo: Edipro, 2016. Disponível em: <https://pt.slideshare.net/slideshow/a-quarta-revolucao-industrial-klaus-schwabpdf/258956080#26>. Acesso em: 30 dez. 2024. p. 30.

⁵⁹ WANDERMUREM, Bruno. *Impacto do blockchain ao direito*, Jusbrasil, 2019. Disponível em <https://brunowandermurem.jusbrasil.com.br/artigos/726303601/impacto-do-blockchainao-direito>. Acesso dia: 01 jan. 2025.

⁶⁰ SILVEIRA, Gabryella Melo; SILVA, Marcio Roque dos Santos da; LUFT, Maria Conceição Melo Silva; DUARTE, Rodrigo Garcia. *Aplicações e possibilidades do blockchain: uma revisão sistemática da produção científica brasileira*. In: ISLA 2021 Proceedings Latin America, 9 ago. 2021. Disponível em: <https://aisel.aisnet.org/isla2021/15>. Acesso em: 3 jan. 2025, p. 6.

No campo da propriedade intelectual, Swan é clara acerca do uso da blockchain na proteção e registro de ideias dos autores. Afinal, existem ferramentas neste mesmo sentido, tal qual, a plataforma Monegraph⁶¹, a qual permite que artistas registrem suas criações utilizando o blockchain, utilizando funções de *hashing* para gerar um código único que comprova a existência da obra em um momento específico, garantindo uma fonte segura quanto à origem da obra⁶².

No que tange ao entendimento dos tribunais quanto a inclusão da tecnologia no ordenamento pátrio, uma pesquisa realizada em julho de 2022 nos tribunais brasileiros apontou que as referências à tecnologia blockchain ainda são pouco frequentes, e ainda assim, quando cita trata-se de ações relacionadas a criptomoedas, e não necessariamente a tecnologia blockchain em si. Por exemplo, na justiça federal, menciona-se o termo blockchain, apenas no contexto de sua função como tecnologia subjacente ao bitcoin, utilizado, no caso concreto, para fins de lavagem de dinheiro. Ao passo que, na justiça estadual, as referências à blockchain também estão majoritariamente associadas às criptomoedas⁶³.

Apesar disso, podemos citar o entendimento do STJ, na decisão da ministra Laurita Vaz, proferida no Habeas Corpus 690.511, que evidencia um aspecto relevante sobre a aceitação da blockchain como meio de prova no ordenamento jurídico brasileiro, apontando que, no caso concreto, que não havia nenhuma forma de certificação válida — seja por ata notarial, blockchain ou outro meio — que permitisse aferir a autenticidade do print apresentado pela ofendida⁶⁴. Ou seja, extraímos deste entendimento que, a mera utilização da tecnologia blockchain não é, por si só, garantia absoluta de autenticidade de uma prova digital, deixando claro que judiciário ainda mantém um olhar cauteloso quanto à aceitação

⁶¹ Monegraph é uma plataforma baseada em blockchain que permite a criação, distribuição e venda de ativos digitais, como obras de arte e conteúdos criativos, garantindo a propriedade e a autenticidade por meio de registros imutáveis.

⁶² SWAN, Melanie. *Blockchain: blueprint for a new economy*. 1. ed. Sebastopol: O'Reilly Media, 2015. Disponível em: https://www.academia.edu/44112222/Melanie_Swan_Blockchain_BLUEPRINT_FOR_A_NEW_ECONOMY. Acesso em: 02 jan de 2024, p. 37.

⁶³ BURATTO, Luciano. Panorama da blockchain no Judiciário. Consultor Jurídico, 20 ago. 2022. Disponível em: <https://www.conjur.com.br/2022-ago-20/luciano-buratto-panorama-blockchain-judiciario/>. Acesso em: 10 mar. 2025.

⁶⁴ BURATTO, Luciano. Panorama da blockchain no Judiciário. Consultor Jurídico, 20 ago. 2022. Disponível em: <https://www.conjur.com.br/2022-ago-20/luciano-buratto-panorama-blockchain-judiciario/>. Acesso em: 10 mar. 2025.

dessa tecnologia, exigindo que os meios probatórios sigam critérios rigorosos para serem considerados válidos.

Assim, embora as propriedades da tecnologia de registro e segurança, permitam uma espécie de reconfiguração da jurisdição tradicional, promovendo um modelo descentralizado de confiança através da execução de processos numa plataforma distribuída de processos, ainda precisa de tempo e adequação para ser utilizado. Apesar disso, importante registrar que o armazenamento imutável (ou quase) de registros em uma plataforma distribuída, a gestão unificada de ações judiciais de qualquer natureza, tais como, procedimentos cíveis, criminais e trabalhistas em um ambiente digital confiável, oferecendo maior agilidade e acessibilidade às partes envolvidas⁶⁵.

3 CONTRATOS INTELIGENTES

Os *smart contracts* ou em tradução literal, os contratos inteligentes surgiram a partir da década de 1990 para operar como uma espécie de protocolo de transação digital destinado a executar os termos de um acordo⁶⁶.

O ponto de partida desta tecnologia surge com Nick Szabo, um jurista criptógrafo que definiu o smart contract como um protocolo digital automatizado que realiza a execução dos termos de um contrato, através de uma inserção em hardware⁶⁷ e software⁶⁸, com o objetivo de reduzir custos operacionais⁶⁹.

⁶⁵ SILVEIRA, Gabryella Melo; SILVA, Marcio Roque dos Santos da; LUFT, Maria Conceição Melo Silva; DUARTE, Rodrigo Garcia. Aplicações e possibilidades do blockchain: uma revisão sistemática da produção científica brasileira. In: ISLA 2021 Proceedings Latin America, 9 ago. 2021. Disponível em: <https://aisel.aisnet.org/isla2021/15>. Acesso em: 3 jan. 2025, p. 6.

⁶⁶ TAHERDOOST, Hamed. Smart Contracts in Blockchain Technology: A Critical Review. *MDPI*, vol. 14, no. 2, 13 Feb. 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/info14020117>. Acesso em: 7 Jan. 2025, p. 3.

⁶⁷ Hardware é um conjunto de componentes físicos e tangíveis de um sistema computacional, como processadores, memórias, discos rígidos e dispositivos periféricos.

⁶⁸ Software é um conjunto de programas, instruções e sistemas operacionais que controlam e coordenam o funcionamento do hardware, permitindo a execução de tarefas específicas.

⁶⁹ CANTALI, Rodrigo Ustároz. *Smart contracts e direito contratual: primeiras impressões sobre suas vantagens e limites*. Revista Jurídica da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, v. 8, n. 3, p. 1529-1566, 2022. Disponível em: https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/7688945/mod_resource/content/1/2022_03_1529_1566%20-%20texto%20smart%20contracts.pdf. Acesso em: 08 jan. 2025, p. 3.

De acordo com Josh Stark⁷⁰, o conceito de smart contract pode ser apresentado de duas formas, os chamados códigos de contrato inteligente, e o contrato legal inteligente⁷¹. O código de contrato refere-se ao código armazenado, verificado em uma tecnologia blockchain, cuja capacidade dependerá da linguagem de programação utilizada na plataforma para elaborar o contrato. Enquanto que, o contrato legal inteligente, trata-se de um código que foi diretamente projetado para complementar ou substituir contratos tradicionais, ou seja, na citada modalidade não há uma dependência da tecnologia, mas da jurisdição e política das partes contratantes.

No presente trabalho, nossa análise volta-se para o contrato que depende da tecnologia, uma vez que, este funciona de maneira autoexecutável, e possui as propriedades da blockchain, objeto intrínseco deste estudo. Conforme dispõe Wright e De Filippe⁷², os contratos inteligentes são uma tecnologia que cresce rapidamente, inclusive dentro de famosas redes de blockchain, tal qual, Ethereum⁷³, Counterparty⁷⁴ e Mastercoin⁷⁵, que utilizam de linguagem de programação para formular contratos cada vez mais completos e autônomos.

Os autores completam que a tecnologia é capaz de criar contratos capazes de automaticamente verificar registros governamentais de domínio público, como por exemplo, num contexto de elaboração de testamento, uma plataforma tecnológica pode analisar os registros de óbito, bens do testamentário, impostos aplicáveis ao caso concreto, operando de forma independente⁷⁶. Assim, sabendo que a tecnologia possibilita a realização de uma transação autoexecutável, os envolvidos podem acordar livremente sem firmar um contrato tradicional.

⁷⁰ Josh Stark é chefe de Operações e Jurídico na Ledger Labs, a principal consultoria de tecnologia blockchain do Canadá.

⁷¹ STARK, John. Making Sense of Blockchain Smart Contracts. *CoinDesk*, 4 June 2016. Disponível em: www.coindesk.com/markets/2016/06/04/making-sense-of-blockchain-smart-contracts. Acesso em: 7 Jan. 2025.

⁷² WRIGHT, Aaron; DE FILIPPI, Primavera. Decentralized Blockchain Technology and the Rise of Lex Cryptographia. Paris: Yeshiva University and Université Paris II, 2015. Disponível em: <https://ssrn.com/abstract=2580664>. Acesso em: 07 jan. 2025, p. 11-12.

⁷³ Ethereum é uma plataforma descentralizada para contratos inteligentes e DApps, baseada em blockchain.

⁷⁴ Counterparty é um protocolo sobre a blockchain do Bitcoin para tokens e contratos inteligentes.

⁷⁵ Mastercoin é uma plataforma inicial para ativos digitais e contratos inteligentes no Bitcoin, agora Omni.

⁷⁶ WRIGHT, Aaron; DE FILIPPI, Primavera. Decentralized Blockchain Technology and the Rise of Lex Cryptographia. Paris: Yeshiva University and Université Paris II, 2015. Disponível em: <https://ssrn.com/abstract=2580664>. Acesso em: 07 jan. 2025, p. 11-12.

A tecnologia de um contrato desta modalidade, de maneira simplificada opera da seguinte forma: os *smart contracts* são desenvolvidos com base na lógica de programação "se x, então y", isto é, uma vez cumprida uma condição pré-estabelecida, a contraprestação correspondente será automaticamente executada⁷⁷. Por exemplo, imaginemos a venda de ingressos de um evento, o comprador ao realizar o pagamento (condição "x"), o *smart contract* verifica a transação e automaticamente emite e envia o ingresso digital para o comprador (contraprestação "y"). Para além de cumprir o objeto principal do contrato (a venda do ingresso), o contrato pode incluir automaticamente termos que impeçam a revenda não autorizada do ingresso, condição previamente definida pelo vendedor garantindo transparência e segurança tanto para os organizadores quanto para os consumidores.

Neste íterim, de acordo com Bashir⁷⁸, os *smart contracts* seguem o princípio conhecido como "*the code is law*⁷⁹", ou seja, aquilo que o código de programação definir, será feito. Desta forma, a execução opera de forma automatizada, sem interrupção, projetada para ser imune à influências externas, reforçando a percepção de maior segurança e confiança entre as partes envolvidas. Em suma, os contratos inteligentes podem ser conceituados contratos eletrônicos que realizam automaticamente o cumprimento e a execução de suas condições, sem dependência de intervenção humana. Assim sendo, um acordo digital autoexecutável e autoaplicável.⁸⁰

Tradicionalmente, para que um contrato tradicional possua eficácia, é necessário que este seja formal e materialmente válido, e ainda, passível de ser

⁷⁷ EFING, Antonio Carlos; SANTOS, Adrielly Pinho dos. Análise dos smart contracts à luz do princípio da função social dos contratos no direito brasileiro. *Direito e Desenvolvimento*, João Pessoa, v. 9, n. 2. dez. 2018. Disponível em: <https://periodicos.unipe.br/index.php/direitoedesenvolvimento/article/view/755/554>. Acesso em: 08 jan. 2025, p. 6.

⁷⁸ BASHIR, Imran. *Mastering blockchain: distributed ledgers, decentralization and smart contracts explained*. Packt: Birmigham, UK, 2017. Disponível em: https://users.cs.fiu.edu/~prabakar/cen5079/Common/textbooks/Mastering_Blockchain_2nd_Edition.pdf. Acesso em: 08. jan. 2025, p. 199.

⁷⁹ Em tradução literal: o código é a lei.

⁸⁰ WERBACH, Kevin; CORNELL, Nicolas. *Contracts ex machina*. *Duke Law Journal*, Durhan, v. 67, n. 2, p. 313-382, nov. 2017. Disponível em: <https://scholarship.law.duke.edu/dlj/vol67/iss2/2/>. Acesso em: 08 jan. 2025, p. 320.

executado em caso de descumprimento dos termos entre as partes, geralmente por um órgão centralizado, que neste contexto, trata-se do Poder Judiciário⁸¹.

Todavia, na ótica de um contrato inteligente, baseado num banco de dados distribuído como a blockchain, as partes podem determinar a ocorrência de um evento ou condição, sem depender de um intermediário, para garantir o cumprimento e execução das condições estabelecidas automaticamente⁸². Ou seja, um contrato inteligente é um conjunto de códigos que traduzem e reproduzem os termos de contratos tradicionais no ambiente digital⁸³, mas sem intermediadores.

Portanto, os contratos inteligentes eliminam a necessidade um terceiro de confiança das partes para executar o contrato, afinal, os próprios contratos se autoexecutam por meio de códigos, os quais são validados por uma rede blockchain contendo os registros dos termos e condições do contrato, viabilizando acordos entre partes que não possuam confiança prévia uns nos outros, suprimindo qualquer necessidade de contato direto entre os envolvidos ou mediação externa, eliminando ainda, custos operacionais relacionados⁸⁴.

Por fim, destaca-se que um contrato inteligente é uma espécie de contrato eletrônico com particularidades específicas, tal qual autoaplicabilidade, imutabilidade, transparência, confiabilidade e execução condicional.

3.1 ELEMENTOS DISTINTIVOS DOS CONTRATOS INTELIGENTES

Hodiernamente, os negócios jurídicos, bem como todos os atos humanos na sociedade contemporânea, estão em constante transformação devido às transformações promovidas pelas tecnologias emergentes. Nesse cenário, os *smart contracts* são uma inovação contratual que promove mudanças significativas na

⁸¹ TAHERDOOST, Hamed. Smart Contracts in Blockchain Technology: A Critical Review. *MDPI*, vol. 14, no. 2, 13 Feb. 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/info14020117>. Acesso em: 7 Jan. 2025, p. 4.

⁸² WRIGHT, Aaron; DE FILIPPI, Primavera. Decentralized Blockchain Technology and the Rise of Lex Cryptographia. Paris: Yeshiva University and Université Paris II, 2015. Disponível em: <https://ssrn.com/abstract=2580664>. Acesso em: 07 jan. 2025, p. 10.

⁸³ TAHERDOOST, Hamed. Smart Contracts in Blockchain Technology: A Critical Review. *MDPI*, vol. 14, no. 2, 13 Feb. 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/info14020117>. Acesso em: 7 Jan. 2025, p. 3.

⁸⁴ TAHERDOOST, Hamed. Smart Contracts in Blockchain Technology: A Critical Review. *MDPI*, vol. 14, no. 2, 13 Feb. 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/info14020117>. Acesso em: 7 Jan. 2025, p. 3.

forma de contratação e na execução das obrigações pactuadas, desafiando os paradigmas tradicionais do direito contratual⁸⁵.

As principais problemáticas na adoção dos smart contracts utilizando da blockchain se originaram na discussão da sua compatibilidade com o ordenamento jurídico brasileiro, bem como a interpretação judicial de cláusulas elaboradas em códigos computacionais, a efetividade das decisões judiciais em relação à execução desses códigos, a proteção de dados pessoais inseridos em sistemas blockchain, e a possibilidade de falhas de programação que possam gerar prejuízos às partes envolvidas⁸⁶.

Além disso, os contratos inteligentes divergem dos contratos tradicionais em inúmeros aspectos, visto que, o segundo depende de intermediários para assegurar sua execução e validade, enquanto que o primeiro é programados para executar automaticamente suas cláusulas, eliminando a necessidade de terceiros confiáveis, atuando automaticamente com base em códigos computacionais inseridos em redes blockchain, a partir de condições pré-estabelecidas, garantindo alta precisão na aplicação dos termos acordados, conforme vimos previamente. Embora pareça uma ferramenta eficiente, há peculiaridades na sua formação e estrutura, e principalmente, um ponto importante é que esta espécie contratual carece de regulamentação jurídica, e os smart contracts não apenas revolucionam a dinâmica contratual, bem como exigem uma reinterpretção dos princípios jurídicos tradicionais à luz de suas características tecnológicas.

3.1.1 Características dos contratos inteligentes

Os contratos inteligentes não foram inseridos formalmente no ordenamento jurídico brasileiro, sabendo que inexistente previsão legal que regule sua formação e eficácia. Ou seja, é uma espécie atípica, estando, portanto, sujeitos à

⁸⁵ EFING, Antonio Carlos; SANTOS, Adrielly Pinho dos. Análise dos smart contracts à luz do princípio da função social dos contratos no direito brasileiro. *Direito e Desenvolvimento*, João Pessoa, v. 9, n. 2. dez. 2018. Disponível em: <https://periodicos.unipe.br/index.php/direitoedesenvolvimento/article/view/755/554>. Acesso em: 11 jan. 2025, p. 3.

⁸⁶ EFING, Antonio Carlos; SANTOS, Adrielly Pinho dos. Análise dos smart contracts à luz do princípio da função social dos contratos no direito brasileiro. *Direito e Desenvolvimento*, João Pessoa, v. 9, n. 2. dez. 2018. Disponível em: <https://periodicos.unipe.br/index.php/direitoedesenvolvimento/article/view/755/554>. Acesso em: 11 jan. 2025, p. 3.

aplicação dos dispositivos legais gerais, mas partindo da análise das peculiaridades de cada caso concreto⁸⁷.

De acordo com Divino⁸⁸, os smart contracts têm pelo menos sete características, tais quais, forma eletrônica, transição e execução em hardware e software, maior chance de certeza de adimplemento, natureza condicional, autonomia, cumprimento obrigatório e execução automática, e desnecessidade de confiança entre as partes.

3.1.1.1 Forma eletrônica

No que tange à forma eletrônica dos contratos, conforme entendimento de Savelyev⁸⁹, embora os contratos clássicos possam assumir diferentes formas, como expresso ou oral, a partir do desenvolvimento do comércio eletrônico passou a haver um aumento substancial de acordos celebrados em formato eletrônico, sendo os exemplos mais evidentes os diversos contratos de aceitação por clique, os *clickwrap agreements*⁹⁰. No entanto, acordos celebrados no comércio eletrônico não necessariamente são uma espécie de contrato inteligente, uma vez, durante a transação ainda podem se utilizar de documentos físicos tradicionais, tais quais faturas, recibos ou certificados de entrega, especialmente quando tais contratos eletrônicos envolvem a compra de bens ou serviços fora do ambiente online.

Em contrapartida, os contratos inteligentes possuem necessariamente o formato eletrônico, em razão da sua natureza específica originada de manifestações digitais de ativos *offline*, cuja titularidade é registrada em blockchain. Ademais, a

⁸⁷ DIVINO, Sthéfano Bruno Santos. Smart Contracts: Conceitos, limitações, aplicabilidade e desafios. Ano 04, n° 6. ed. [S. l.]: RJLB, 2018. Disponível em: https://www.cidp.pt/revistas/rjlb/2018/6/2018_06_2771_2808.pdf. Acesso em: 15 jan. 2025.

⁸⁸ DIVINO, Sthéfano Bruno Santos. Smart Contracts: Conceitos, limitações, aplicabilidade e desafios. Ano 04, n° 6. ed. [S. l.]: RJLB, 2018. Disponível em: https://www.cidp.pt/revistas/rjlb/2018/6/2018_06_2771_2808.pdf. Acesso em: 15 jan. 2025.

⁸⁹ SAVELYEV, Alexander. Contract Law 2.0: Smart contracts as the beginning of the end of classic contract law. Information and Communications Technology Law. Vol. 26, n.2, p. 116-134, jan-abr. 2017. Disponível em: https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=2885241. Acesso em: 15 jan. 2015, p. 12.

⁹⁰ *Clickwrap agreements* são contratos eletrônicos nos quais o usuário manifesta seu consentimento aos termos e condições de um serviço ou produto digital ao clicar em um botão ou marcar uma caixa de seleção indicando "Eu concordo" ou similar.

execução dessa espécie contratual é vinculada a dados eletrônicos, e sem estes, o aspecto “inteligente”, isto é, auto executável não se concretiza⁹¹.

3.1.1.2 Transição e execução em hardware ou software

O atributo de transição e execução em hardware e software infere que os contratos são estruturados em algoritmos ou outras linguagens computacionais adequadas, em que para sua implementação, é indispensável a utilização de um *software* que permita a programação dos termos previamente acordados entre as partes e de um hardware que possibilite a execução efetiva do acordo eletrônico⁹².

Basicamente, pelo princípio “*code is law*” anteriormente citado, o código de computador contém as cláusulas contratuais, tanto que, Savelyev compreende que cada contrato inteligente, por sua natureza jurídica, também é um programa de computador, funcionando tanto como um documento com registro da relação contratual estabelecida, quanto um programa de computador programado a partir das especificidades da relação entre as partes⁹³.

3.1.1.3 Maior probabilidade de adimplemento

Os contratos inteligentes possuem uma maior probabilidade de adimplemento, figurando esta o terceiro aspecto de acordo com Divino⁹⁴. Na teoria, há redução ou exclusão das ambiguidades inerentes à linguagem natural permite que o sistema computacional execute os termos previamente estabelecidos de forma objetiva e precisa. Ou seja, a linguagem computacional oferece uma execução

⁹¹ SAVELYEV, Alexander. Contract Law 2.0: Smart contracts as the beginning of the end of classic contract law. Information and Communications Technology Law. Vol. 26, n.2, p. 116-134, jan-abr. 2017. Disponível em: https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=2885241. Acesso em: 15 jan. 2015, p. 12.

⁹² DIVINO, Sthéfano Bruno Santos. Smart Contracts: Conceitos, limitações, aplicabilidade e desafios. Ano 04, n° 6. ed. [S. l.]: RJLB, 2018. Disponível em: https://www.cidp.pt/revistas/rjlb/2018/6/2018_06_2771_2808.pdf. Acesso em: 15 jan. 2025.

⁹³ SAVELYEV, Alexander. Contract Law 2.0: Smart contracts as the beginning of the end of classic contract law. Information and Communications Technology Law. Vol. 26, n.2, p. 116-134, jan-abr. 2017. Disponível em: https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=2885241. Acesso em: 15 jan. 2015, p. 13.

⁹⁴ DIVINO, Sthéfano Bruno Santos. Smart Contracts: Conceitos, limitações, aplicabilidade e desafios. Ano 04, n° 6. ed. [S. l.]: RJLB, 2018. Disponível em: https://www.cidp.pt/revistas/rjlb/2018/6/2018_06_2771_2808.pdf. Acesso em: 15 jan. 2025.

direta dos termos contratuais, os quais não estão sujeitos a interpretações de terceiros ou de jurisdições externas, sendo o próprio código programado o elemento que atua como a instância decisória final na execução do pacto acordado.

Sendo assim, pautado na precisão das linguagens de programação, as falhas e incongruências associadas à interpretação imprevisível de cláusulas contratuais por uma das partes do contrato seriam teoricamente sanadas. Lembrando que, ainda que possam existir ambiguidades em linguagens de programação, são bem menores em comparação com a interpretação tradicional, já que um computador reconhece menos termos do que um ser humano pode interpretar⁹⁵.

3.1.1.4 Natureza condicional

A natureza condicional é uma característica central nos contratos inteligentes, afinal, as declarações condicionais são um elemento indispensável para seu funcionamento.

A dinâmica condicional opera sob uma lógica simples, pelo qual, os contratos possuem condições estabelecidas de forma prévia, permitindo que, uma vez ocorrido o evento especificado, o código execute automaticamente a ação correspondente. Assim, para efetivar a eficácia desse modelo contratual, as condições devem ser detalhadas, a fim de antecipar as diversas situações que possam surgir durante a execução do contrato, tendo em vista que o contrato autoexecutável somente realiza de maneira estrita as ações para as quais foi programado⁹⁶.

3.1.1.5 Autoexecutoriedade

⁹⁵ SAVELYEV, Alexander. Contract Law 2.0: Smart contracts as the beginning of the end of classic contract law. Information and Communications Technology Law. Vol. 26, n.2, p. 116-134, jan-abr. 2017. Disponível em: https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=2885241. Acesso em: 15 jan. 2015, p. 14.

⁹⁶ DIVINO, Sthéfano Bruno Santos. Smart Contracts: Conceitos, limitações, aplicabilidade e desafios. Ano 04, n° 6. ed. [S. l.]: RJLB, 2018. Disponível em: https://www.cidp.pt/revistas/rjlb/2018/6/2018_06_2771_2808.pdf. Acesso em: 16. jan. 2025, p. 20.

A autonomia ou auto executoriedade dos contratos inteligentes, é extraída de que uma vez formado o contrato, a sua execução subsequente dispensará a vontade das partes, de terceiros ou avaliações humanas ou qualquer ação de cumprimento. Na realidade, o próprio programa de computador verifica todas as condições, transfere os ativos e realiza registros na base de dados blockchain sobre as transações⁹⁷. Inclusive, é por intermédio desta característica que o smart contract elimina a necessidade de medidores para tornar as condições contratuais eficazes e executáveis.

Outrossim, o contrato, objeto de discussão deste trabalho, realiza operações “autossuficientes”, o que não é a mesma coisa da autonomia, conforme dispõe Savelyev – embora ambas características estejam intimamente relacionadas, a autossuficiência possui um objeto distinto, pois, nesse caso o contrato inteligente não depende de instituições jurídicas para existir, ou seja, não necessita de nenhuma jurisdição ou terceiro para que se realize a execução, tampouco necessita de um conjunto de normas legais, sejam elas supletivas ou obrigatórias, para complementá-lo, tal exemplifica-se com contratos tradicionais, que em caso de lacunas, norteiam-se pela legislação para saná-las⁹⁸.

Em outros termos, o objeto do acordo pode ser executado hiperativamente em caso de inadimplemento de uma condição previamente estabelecida⁹⁹, o que é capaz de apresentar um desafio significativo para a regulamentação jurídica contemporânea, tendo em vista que são sistemas autônomos, com regras próprias definidas no código computacional, frequentemente transcendentais aos limites impostos pelas legislações tradicionais.

3.1.1.6 Dispensabilidade de confiança

⁹⁷ SAVELYEV, Alexander. Contract Law 2.0: Smart contracts as the beginning of the end of classic contract law. Information and Communications Technology Law. Vol. 26, n.2, p. 116-134, jan-abr. 2017. Disponível em: https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=2885241. Acesso em: 15 jan. 2015, p. 15.

⁹⁸ SAVELYEV, Alexander. Contract Law 2.0: Smart contracts as the beginning of the end of classic contract law. Information and Communications Technology Law. Vol. 26, n.2, p. 116-134, jan-abr. 2017. Disponível em: https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=2885241. Acesso em: 15 jan. 2015, p. 15/16.

⁹⁹ DIVINO, Sthéfano Bruno Santos. Smart Contracts: Conceitos, limitações, aplicabilidade e desafios. Ano 04, n° 6. ed. [S. l.]: RJLB, 2018. Disponível em: https://www.cidp.pt/revistas/rjlb/2018/6/2018_06_2771_2808.pdf. Acesso em: 11. jan. 2025, p. 21.

Finalmente, nesta modalidade contratual seriam dispensadas a confiança entre as partes, devido a sua exectoriedade automática. Todavia, frisa-se que, a confiança não é eliminada completamente de uma só vez, afinal, os termos do contrato decorrem da vontade dos usuários, que autenticam as solicitações e gerenciam as consequências decorrentes da relação contratual¹⁰⁰, ou seja, a condição de cada cláusula é estabelecida pelos indivíduos.

Inclusive, Clack¹⁰¹ frisa que um contrato elaborado com blockchain elimina a necessidade de confiança entre os envolvidos devido à natureza quase imutável da tecnologia, uma vez que sabendo que nenhuma das partes pode influenciar na sua execução, o desempenho contratual está garantido. Entretanto, o fato de "algo" se conectar à blockchain ou gravar dados em um bloco não significa que esse "algo" seja ou se torne sem necessidade de confiança por completo, pois nenhuma característica é absoluta.

3.1.2 Formação dos contratos inteligentes

A formação de um contrato, partindo do conceito tripartite de Pontes de Miranda, se norteia pelos planos da existência, validade e eficácia¹⁰². Nesse sentido, para entender a validade e eficácia dos smart contracts, *a priori* é primordial a compreensão da sua formação, ou seja, os elementos que fazem o contrato de fato existir juridicamente.

De acordo com Tartuce, um contrato é formado pela união de duas ou mais vontades convergentes, sem prejuízo de outros elementos, sendo indispensável o consenso entre as partes para sua existência¹⁰³. Para além disso,

¹⁰⁰ DIVINO, Sthéfano Bruno Santos. Smart Contracts: Conceitos, limitações, aplicabilidade e desafios. Ano 04, nº 6. ed. [S. l.]: RJLB, 2018. Disponível em: https://www.cidp.pt/revistas/rjlb/2018/6/2018_06_2771_2808.pdf. Acesso em: 11. jan. 2025, p. 22.

¹⁰¹ CLACK, Christopher D.; BAKSHI, Vikram A.; BOER, Lee. Smart Contract Templates: foundations, design landscape and reseach directions. The Company Research Repository (CoRR), 2016, p. 3. Disponível em: https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=3038406. Acesso em: 15 jan. 2025, p. 8.

¹⁰² PONTES DE MIRANDA, Francisco Cavalcanti. Tratado de Direito Privado. 4. ed. São Paulo: Revista dos Tribunais, 1984, t. I, p. XX.

¹⁰³ TARTUCE, Flávio. Manual de direito civil: volume único. 5. ed. rev., atual. e ampl. Rio de Janeiro: Forense; São Paulo: Método, 2015, p. 479. Acesso em 25. jan. 2025, 142.

Junqueira de Azevedo elenca como elementos gerais de todos os negócios jurídicos o agente e a forma¹⁰⁴.

Sob a análise de um contrato inteligente, Cantali entende que em um smart contract, a figura dos agentes não seria propriamente representada por pessoais, mas sim chaves privadas criptografadas que as representam. Consequentemente, na ausência de agentes, em tese não haveria um contrato. No entanto, um ponto crucial é que a tecnologia e a criptografia não são autônomas, uma vez que há atuação de indivíduos por trás de sua formação; logo, há sujeitos na relação. Para tornar mais claro, Cantali realiza uma analogia com a assinatura digital, que funciona como uma "identidade virtual", servindo como mecanismo de autenticação e meio de identificação de atos realizados por meios eletrônicos¹⁰⁵. Ou seja, há atividade humana por trás da tecnologia.

No que tange à forma, os smart contracts representam um avanço em relação aos contratos tradicionais, pois possuem uma linguagem única, a linguagem em código de computador¹⁰⁶, que reduz subjetividades na inserção de cláusulas por cada parte, uma vez que, um contrato celebrado no ambiente virtual, estruturado em códigos computacionais matemáticos, apresenta como vantagem sua elevada precisão e lógica, permitindo uma maior previsibilidade quanto às condições e consequências do negócio jurídico¹⁰⁷, oferecendo ainda, maior segurança dos termos estabelecidos.

Todavia, importa esclarecer que sua formação não é limitada ao simples fato de estarem no meio eletrônico, ou seja, a presença em um ambiente digital não garante, por si só, a validade do contrato nem a produção dos seus efeitos¹⁰⁸.

¹⁰⁴ AZEVEDO, Antônio Junqueira de. Negócio jurídico: existência, validade e eficácia. 4. ed., atual. de acordo com o novo Código Civil (Lei n.º 40.406, de 10-1-2002). São Paulo: Saraiva, 2002, p. 31-32. Acesso em 25. jan. 2025, p. 234.

¹⁰⁵ CANTALI, Rodrigo Ustároz. Smart contracts e direito contratual: primeiras impressões sobre suas vantagens e limites. Revista Jurídica Luso-Brasileira (RJLB), Ano 8, nº 3, 2022, p. 15. Disponível em: https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/7688945/mod_resource/content/1/2022_03_1529_1566%20-%20texto%20smart%20contracts.pdf. Acesso em 23. jan. 2025.

¹⁰⁶ CANTALI, Rodrigo Ustároz. Smart contracts e direito contratual: primeiras impressões sobre suas vantagens e limites. Revista Jurídica Luso-Brasileira (RJLB), Ano 8, nº 3, 2022, p. 18. Disponível em: https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/7688945/mod_resource/content/1/2022_03_1529_1566%20-%20texto%20smart%20contracts.pdf. Acesso em 23. jan. 2025.

¹⁰⁷ RECH, Matheus Bortoluz. Smart Contracts: formação e aplicabilidade no Direito português. 2024. Dissertação (Mestrado em Direito e Ciências Jurídicas – Especialidade em Direito Civil) – Faculdade de Direito, Universidade de Lisboa, Lisboa, 2024, p. 67. Disponível em: <https://repositorio.ulisboa.pt/bitstream/10400.5/96398/1/Disserta%c3%a7%c3%a3o%20Matheus%20Bortoluz%20Rech.pdf>. Acesso em 23. jan. 2025.

¹⁰⁸ RECH, Matheus Bortoluz. Smart Contracts: formação e aplicabilidade no Direito português. 2024. Dissertação (Mestrado em Direito e Ciências Jurídicas – Especialidade em Direito Civil) – Faculdade

Retomando o consenso trazido por Tartuce quanto à necessidade de agentes, o que é polêmico no caso dos contratos inteligentes, em razão da sua autoexecutoriedade, e suposta ausência de indivíduos, Cantoli afirma que se ambas as partes leem e compreendem os termos escritos em códigos de computador, a linguagem computacional não é um problema ao consenso de ambas¹⁰⁹. Afinal, uma vez que as partes submetem suas chaves criptografadas e concordam com os termos para concluir o contrato, demonstram comprometimento e a confirmação com os termos, o que assemelha-se a fase inicial de um contrato tradicional com a concordância dos envolvidos¹¹⁰.

Isto posto, os smart contracts possuem os mesmos elementos de formação de contratos clássicos e tradicionais, ainda que em moldes eletrônicos e com inovações que se adequam à evolução tecnológica do mundo. A principal distinção entre a espécie tradicional e o contrato inteligente é a forma que assumem, vez que, enquanto os contratos tradicionais são redigidos no formato escrito, os smart contracts são elaborados em código computacional e operam no meio eletrônico¹¹¹.

3.2 APLICABILIDADE DOS CONTRATOS INTELIGENTES

A ausência de previsão legal destinada ou que faça referência a tecnologias como os smart contracts gera problemáticas quanto à sua validade, uma vez que, embora existam garantias de segurança inerentes a própria tecnologia, podem haver lacunas na execução, justamente em razão da inexistência de lei

de Direito, Universidade de Lisboa, Lisboa, 2024, p. 67. Disponível em: <https://repositorio.ulisboa.pt/bitstream/10400.5/96398/1/Disserta%20a7%20a3o%20Matheus%20Bortoluz%20Rech.pdf>. Acesso em 23. jan. 2025.

¹⁰⁹ CANTALI, Rodrigo Ustároz. Smart contracts e direito contratual: primeiras impressões sobre suas vantagens e limites. *Revista Jurídica Luso-Brasileira (RJLB)*, Ano 8, nº 3, 2022, p. 18. Disponível em: https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/7688945/mod_resource/content/1/2022_03_1529_1566%20-%20texto%20smart%20contracts.pdf. Acesso em 23. jan. 2025.

¹¹⁰ CANTALI, Rodrigo Ustároz. Smart contracts e direito contratual: primeiras impressões sobre suas vantagens e limites. *Revista Jurídica Luso-Brasileira (RJLB)*, Ano 8, nº 3, 2022, p. 19. Disponível em: https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/7688945/mod_resource/content/1/2022_03_1529_1566%20-%20texto%20smart%20contracts.pdf. Acesso em 23. jan. 2025.

¹¹¹ RECH, Matheus Bortoluz. Smart Contracts: formação e aplicabilidade no Direito português. 2024. Dissertação (Mestrado em Direito e Ciências Jurídicas – Especialidade em Direito Civil) – Faculdade de Direito, Universidade de Lisboa, Lisboa, 2024, p. 67. Disponível em: <https://repositorio.ulisboa.pt/bitstream/10400.5/96398/1/Disserta%20a7%20a3o%20Matheus%20Bortoluz%20Rech.pdf>. Acesso em 23. jan. 2025, 65.

capaz saná-las. Apesar disso, de acordo com Werbach e Cornell¹¹², os contratos inteligentes serão aplicados na mesma circunstância que um contrato tradicional, sujeitando-se, portanto, ao direito contratual geral.

Os desenvolvedores mais otimistas acreditam que a segurança e registro imutável do contrato inteligente, sanaria problemáticas de disputas judiciais, conforme analisado previamente a característica de cumprimento e execução imperativos dos contratos. Mas, Werbach e Cornell afirmam que o Poder Judiciário passaria por uma mudança substancial caso precisasse analisar disputas relativas a interpretação de contratos baseados em blockchain, para analisar a definição antecipada dos termos contratuais por meio de códigos de software. Logo, na visão dos autores, os contratos inteligentes podem acabar apenas transferindo os problemas de interpretação que já podem existir nos contratos tradicionais, em vez de solucioná-los¹¹³.

À vista disso, os smart contracts apesar de suas vantagens e inovações, possuem dificuldades práticas e teóricas, o que demandará análise jurídica e normatização específica, mesmo que as abordagens tradicionais possam ser adaptadas ao novo contexto tecnológico.

3.2.1 Validade e eficácia

Como sabido, o ordenamento jurídico não prevê uma norma destinada aos contratos eletrônicos, tampouco aos contratos inteligentes, aplicando-se portanto, as condições da validade do negócio jurídico e as normas gerais no Código Civil, bem como a legislação relacionada à proteção de dados, comércio eletrônico e segurança digital.

¹¹² WERBACH, Kevin; CORNELL, Nicolas. Contracts Ex Machina. *Duke Law Journal*, v. 67, n. 2, p. 313–382, 2017. Disponível em: <https://scholarship.law.duke.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=3913&context=dlj>. Acesso em: 26 jan. 2025, p. 364.

¹¹³ WERBACH, Kevin; CORNELL, Nicolas. Contracts Ex Machina. *Duke Law Journal*, v. 67, n. 2, p. 313–382, 2017. Disponível em: <https://scholarship.law.duke.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=3913&context=dlj>. Acesso em: 26 jan. 2025, p. 365.

A validade da contratação eletrônica está intrinsecamente ligada com os princípios da equivalência funcional e da neutralidade tecnológica¹¹⁴. O princípio da equivalência jurídica visa garantir que os contratos eletrônicos terão os mesmos efeitos jurídicos dos contratos tradicionais, a fim de que um registro digital cumpra as mesmas funções do papel¹¹⁵, operando semelhantemente ao princípio da instrumentalidade das formas, previsto no art. 188 do Código de Processo Civil¹¹⁶, prevendo que independe de forma determinada, salvo os casos expressos em lei, uma vez que o tratamento de dados tenha cumprido sua finalidade, será considerado válido.

Logo, não haveria óbice aos contratos inteligentes serem reconhecidos como contratos, tais quais os tradicionais, tendo em vista que não há previsão legal de uma forma específica a ser seguida com um critério de validade, conforme veremos.

No que se refere ao princípio da neutralidade jurídica, aduz-se que as normas jurídicas devem ser formuladas de maneira neutra, permitindo sua adequação às novas modalidades que forem surgindo, incluindo novas tecnologias, sendo essencial que possuam caráter perene, de modo a garantir sua continuidade e evitar a necessidade de constantes modificações, o que poderia gerar insegurança jurídica e divergências interpretativas¹¹⁷.

Ou seja, as normas legais não poderiam criar obstáculos às inovações, pelo contrário, pois a sociedade e a tecnologia estão em constante mudança e avanço, sendo indispensável portanto, que os diplomas normativos possam ser

¹¹⁴ SOUSA, Lays Sales. Uma análise da validade dos smart contracts no direito brasileiro. 2018. Monografia (Graduação em Direito) — Faculdade de Direito, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2018. Disponível em: https://repositorio.ufc.br/bitstream/riufc/33934/1/2018_tcc_issousa.pdf. Acesso em: 26 jan. 2025, p. 49.

¹¹⁵ COELHO, Fábio Ulhoa. Curso de direito comercial: direito de empresa. 23. ed. rev. e atual. São Paulo: Saraiva, 2011, V. III. Disponível em: https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/1745047/mod_resource/content/1/Manual%20de%20Direito%20Comercial%20-%20Fabio%20Ulhoa%20Coelho.pdf. Acesso em: 26 jan. 2025, p. 23.

¹¹⁶ CPC. Art. 188. Os atos e os termos processuais independem de forma determinada, salvo quando a lei expressamente a exigir, considerando-se válidos os que, realizados de outro modo, lhe preenchem a finalidade essencial.

¹¹⁷ SOUSA, Lays Sales. Uma análise da validade dos smart contracts no direito brasileiro. 2018. Monografia (Graduação em Direito) — Faculdade de Direito, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2018. Disponível em: https://repositorio.ufc.br/bitstream/riufc/33934/1/2018_tcc_issousa.pdf. Acesso em: 31 jan. 2025, p. 51.

adequados às evoluções, a fim de manter a segurança jurídica em diferentes contextos sociais.

O Código Civil, por sua vez, determina os requisitos de validade do negócio jurídico em seu art. 104¹¹⁸, onde para que seja válido um ato, é necessário preencher os requisitos de agente capaz; objeto lícito, possível e determinado; forma prevista ou não defesa em lei.

O agente capaz é aquele capaz de manifestar sua vontade e praticar todos os atos jurídicos, com base nas determinações do Código Civil acerca da capacidade civil, prevista no capítulo um da parte geral do referido código. No caso dos smart contracts, *a priori*, o acesso aos dados das partes fica restrito à instituição ou empresa responsável pelo blockchain no qual ele está inserido, numa espécie de pseudoanonimato¹¹⁹, no entanto, a verificação da capacidade da parte é permitida, em razão da possibilidade de compartilhamento e descentralização da informação entre terceiros, ou seja, a informação do contrato não é secreta.

A verificação do usuário, bem como sua capacidade, pode ser realizada no momento da transação, onde o registro é realizado por meio de criptografia, garantindo a certificação digital do negócio¹²⁰. Na blockchain, os usuários que utilizam chaves públicas podem ser identificados por seus registros na rede, viabilizando o rastreamento de suas atividades¹²¹.

O requisito do objeto ilícito funciona tal qual qualquer outro negócio jurídico, uma vez que, um contrato inteligente para ser válido, não pode ter objeto ilegal em suas transações. E por fim, os smart contracts estão em conformidade com o requisito final de validade determinado pelo Código Civil, que é a forma prescrita

¹¹⁸ CC. Art. 104. A validade do negócio jurídico requer: I - agente capaz; II - objeto lícito, possível, determinado ou determinável; III - forma prescrita ou não defesa em lei.

¹¹⁹ SOUSA, Lays Sales. Uma análise da validade dos smart contracts no direito brasileiro. 2018. Monografia (Graduação em Direito) — Faculdade de Direito, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2018. Disponível em: https://repositorio.ufc.br/bitstream/riufc/33934/1/2018_tcc_issousa.pdf. Acesso em: 31 jan. 2025, p. 52.

¹²⁰ SOUSA, Lays Sales. Uma análise da validade dos smart contracts no direito brasileiro. 2018. Monografia (Graduação em Direito) — Faculdade de Direito, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2018. Disponível em: https://repositorio.ufc.br/bitstream/riufc/33934/1/2018_tcc_issousa.pdf. Acesso em: 31 jan. 2025, p. 53.

¹²¹ SIGRIST, Igor Moreira. *Análise da aplicabilidade e validade dos smart contracts no ordenamento jurídico brasileiro*. 2022. Trabalho de Graduação Interdisciplinar. Universidade Presbiteriana Mackenzie, São Paulo, 2022. Disponível em: <https://adelpha-api.mackenzie.br/server/api/core/bitstreams/0391c1de-3bfb-44c1-83dd-52b9979dc868/content>. Acesso em: 31 jan. 2025, p. 38.

ou não defesa em lei, visto que, não há forma específica exigida em lei, bem como, não é uma prática legalmente vedada, desde que seu objeto esteja de acordo com o ordenamento jurídico.

Isto posto, os contratos inteligentes não possuem obstáculos para serem atos dotados de validade, ainda que sejam contratos redigidos em linguagem de programação, caso estejam em conformidade aos requisitos legais basilares do negócio jurídico serão capazes de produzir efeitos tal qual qualquer ato no ordenamento jurídico.

3.2.2 Vulnerabilidades

Os smart contracts são atos que possuem uma facilidade de serem produzidos, visto que a própria rede viabiliza a criação e o desenvolvimento de contratos, com aplicações descentralizadas por meio da tecnologia blockchain¹²², assim, existem amplas possibilidades de aplicação dos contratos em diversos setores de serviços, podendo inclusive, ser utilizado por pessoas físicas. Todavia, há controvérsias que merecem uma atenção especial do usuário, tais quais vulnerabilidade na linguagem de código, inflexibilidade e irreversibilidade e elevado custeio.

A vulnerabilidade do código decorre do fato que os softwares são suscetíveis a ataques, considerando que todo código é possível de ter *bugs*¹²³, pelo qual, segundo Elza Milk, sabendo a execução do contrato é delegada por códigos de computador, a verificação da ausência de *bugs* é indispensável, pois nem sempre serão transações simples¹²⁴, onde a atenção na operabilidade dos códigos é uma medida para a segurança e confiabilidade do contrato.

¹²² SIGRIST, Igor Moreira. *Análise da aplicabilidade e validade dos smart contracts no ordenamento jurídico brasileiro*. 2022. Trabalho de Graduação Interdisciplinar. Universidade Presbiteriana Mackenzie, São Paulo, 2022. Disponível em: <https://adelpha-api.mackenzie.br/server/api/core/bitstreams/0391c1de-3bfb-44c1-83dd-52b9979dc868/content>. Acesso em: 1 fev. 2025, p. 33.

¹²³ *Bugs* são falhas ou erros no desenvolvimento de software que causam comportamentos inesperados ou indesejados em programas de computador.

¹²⁴ MIK, Elza. Smart contracts: terminology, technical limitations and real world complexity. *Law, Innovation and Technology*, v. 9, n. 2, p. 281. 2017. Disponível em: <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/17579961.2017.1378468?journalCode=rli20>. Acesso em: 01 fev. 2025, 11.

A irreversibilidade e inflexibilidade, ainda que seja uma vantagem da blockchain como um todo, em relação a flexibilidade dos contratos, se mostra como um problema, pois os contratos podem precisar de ajustes, integração de novos termos e condições, e nesse contexto, num contrato inteligente seria necessário que as partes desenvolvessem uma nova codificação e elaborassem um novo contrato para restabelecer o *status quo*, o que implica custos adicionais na reformulação¹²⁵, gerando um processo mais oneroso às partes do que seria num aditivo contratual tradicional.

Ademais, veremos posteriormente que a irreversibilidade dos contratos inteligentes entram em conflito direto com a proteção dos dados dos usuários, especialmente no que tange aos direitos assegurados pela Lei Geral de Proteção de Dados. A LGPD garante aos titulares de dados pessoais, entre outros direitos, a possibilidade de retificação, anonimização ou eliminação de seus dados, mas como poderia anonimizar ou eliminar informações de um contrato irreversível é a dúvida que permanece, e é nesse ponto que os contratos inteligentes geram mais um embate com o ordenamento jurídico.

Apesar das problemáticas supracitadas, o fato é que os smart contracts são uma nova tecnologia dinâmica, e em constante alteração, de forma que é possível que os desenvolvedores encontrem soluções e oportunizem plena utilização dessa espécie contratual, e um exemplo disso, é a experiência com contratos digitais, tal qual as assinaturas baseadas em criptografia de chave pública¹²⁶, embora inicialmente não tivessem valor legal por si só, passaram a ser reconhecidas após a implementação de medidas de segurança, como a criptografia e a certificação digital, que demonstram que a legislação pode evoluir para viabilizar o uso dessas novas ferramentas sem comprometer a segurança e os direitos dos usuários.

¹²⁵ SIGRIST, Igor Moreira. *Análise da aplicabilidade e validade dos smart contracts no ordenamento jurídico brasileiro*. 2022. Trabalho de Graduação Interdisciplinar. Universidade Presbiteriana Mackenzie, São Paulo, 2022. Disponível em: <https://alpha-api.mackenzie.br/server/api/core/bitstreams/0391c1de-3bfb-44c1-83dd-52b9979dc868/content>. Acesso em: 1 fev. 2025, p. 35-38.

¹²⁶ WERBACH, Kevin; CORNELL, Nicolas. *Contracts Ex Machina*. *Duke Law Journal*, v. 67, n. 2, p. 313–382, 2017. Disponível em: <https://scholarship.law.duke.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=3913&context=dlj>. Acesso em: 01 fev. 2025, p. 378.

3.2.3 Implementação dos contratos inteligentes

Os contratos inteligentes, operados sob estrutura baseada em blockchain, funcionam a partir da utilização de chaves criptográficas pelos participantes da rede, pelas quais, cada usuário possui uma chave pública, que atua de forma análoga a um número de conta bancária, e uma chave privada, comparável a uma senha pessoal ou código PIN. Deste modo, as transações realizadas nesse ambiente são chamadas de tokens, e estão vinculadas a uma descrição que condiciona sua execução à apresentação da respectiva chave privada, assegurando a autenticidade e a autorização do titular da operação¹²⁷.

Uma exemplificação dessa modalidade contratual pode ser observada na celebração de um contrato entre uma montadora de veículos, uma revendedora e um fornecedor de peças automotivas, cujas cláusulas objetivas estejam devidamente criptografadas e registradas em blockchain. Neste caso, à medida que um veículo passa pelas etapas de montagem, as informações são automaticamente codificadas e inseridas na cadeia de blocos (ou seja, a blockchain), permitindo que todos os integrantes da rede tenham acesso a esses dados. Dessa forma, tanto a revendedora quanto o fornecedor conseguem acompanhar, em tempo real, a previsão de disponibilidade do veículo para venda, bem como as futuras necessidades de reposição de peças por parte da montadora¹²⁸. Desta feita, a organização entre as partes, bem como a execução e o registro de informações organizam-se quase automaticamente.

Ademais, os smart contracts possuem inúmeras funcionalidades, tais como no setor financeiro, no qual os contratos inteligentes são empregados para automatizar processos de empréstimos, transferências de ativos e pagamentos, possibilitando maior celeridade e segurança nas transações.

¹²⁷ CARVALHO, Carla Arigony de; ÁVILA, Lucas Veiga. A tecnologia blockchain aplicada aos contratos inteligentes. *Revista Em Tempo*, Marília, v. 18, p. 156–176, 2019. Disponível em: <https://revista.univem.edu.br/emtempo/article/view/3210>. Acesso em: 15 mar. 2025, p. 12.

¹²⁸ CARVALHO, Carla Arigony de; ÁVILA, Lucas Veiga. A tecnologia blockchain aplicada aos contratos inteligentes. *Revista Em Tempo*, Marília, v. 18, p. 156–176, 2019. Disponível em: <https://revista.univem.edu.br/emtempo/article/view/3210>. Acesso em: 15 mar. 2025, p. 12.

De acordo com Melanie Swan¹²⁹, a blockchain no setor financeiro é capaz de modernizar o ecossistema bancário, permitindo transações financeiras e de câmbio direto entre instituições sem a necessidade de intermediários, como ocorre pela Ripple¹³⁰ que é uma plataforma que possibilita pagamentos rápidos e seguros entre indivíduos e instituições financeiras, para fins de demonstrar a possibilidade de avanço com o uso de tecnologia que permita uma redução nos custos operacionais e uma ampliação na eficiência, na medida que o sistema tecnológico permite transferências diretas entre bancos regionais, facilitando as transações de câmbio e pagamentos internacionais¹³¹.

Ainda, no campo da cadeia de suprimentos, tais contratos permitem o monitoramento em tempo real do percurso de mercadorias, com cláusulas programadas para liberar pagamentos apenas quando as entregas são confirmadas. Por exemplo, no agronegócio, há a possibilidade de rastreamento de produtos ao longo da cadeia de suprimentos, por meio de contratos inteligentes, que são capazes de automatizar processos de verificação, tal qual a confirmação da recepção de mercadorias, para fins de reduzir fraudes e assegurando a conformidade regulatória¹³². Tal sistema também pode otimizar a eficiência operacional em indústrias farmacêuticas e de alimentos, as quais, a rastreabilidade e a transparência são imprescindíveis para garantir a segurança e a confiança dos consumidores

Finalmente, na óptica do ramo da saúde, a aplicação de blockchain engloba desde o armazenamento seguro de registros médicos eletrônicos, o *electronic medical records* (EMRs)¹³³, até a criação de novas moedas digitais

¹²⁹ Melanie Swan é PhD, MBA, e pesquisadora Associada no Centro de Tecnologias Blockchain da University College London e Líder de Pesquisa na DIYgenomics. Disponível em: <https://www.melanieswan.com/>. Acesso em: 02 de jan 2024.

¹³⁰ Ripple é uma tecnologia digital que funciona como uma rede de pagamento descentralizada e uma criptomoeda (XRP), desenvolvida pela Ripple Labs, a plataforma tem como objetivo facilitar transações financeiras globais em tempo real, com baixos custos e alta eficiência, atendendo especialmente instituições financeiras.

¹³¹ SWAN, Melanie. *Blockchain: blueprint for a new economy*. 1. ed. Sebastopol: O'Reilly Media, 2015. Disponível em: https://www.academia.edu/44112222/Melanie_Swan_Blockchain_BLUEPRINT_FOR_A_NEW_ECONOMY. Acesso em: 02 jan de 2024, p. 11-12.

¹³² MELOTTI, Leonardo Marcondes Domingues; BASSO, Micheli; CRUVINEL, Guilherme Ferreira Araújo; DO NASCIMENTO, Renan Custódio. Utilização do Sistema Blockchain e sua Rastreabilidade no Agronegócio. Salvador: UFBA, 2 maio 2023. Disponível em: <https://periodicos.ufba.br/index.php/nit/article/view/50864/29344>. Acesso em: 3 jan. 2025, p. 12.

¹³³ EMRs (Electronic Medical Records) são registros digitais de informações de saúde dos pacientes, usados por profissionais médicos para armazenar, gerenciar e compartilhar dados clínicos de forma segura e eficiente.

voltadas para a saúde, como o Healthcoin¹³⁴. Um contrato inteligente no sistema de EMRs opera no registro e controle dos dados dos pacientes na inclusão dos dados destes de forma simplificada, permitindo ainda que os próprios pacientes tenham controle exclusivo no acesso dos seus dados através de senhas privadas, sendo solucionados os problemas de interoperabilidade, possibilitando que registros de saúde sejam compartilhados entre sistemas distintos sem comprometer a privacidade dos dados sensíveis¹³⁵

Pontua-se que, as utilização dos contratos inteligentes são inúmeras, e não se restringem aos exemplos apresentados, visto que, por exemplo, em áreas como o setor imobiliário, a utilização de contratos inteligentes permitem a automatização da transferência de propriedade após o cumprimento de condições específicas, ou ainda, os contratos inteligentes, bem como a própria blockchain, são uma tecnologia capaz de auxiliar no registro e autenticação de documentos públicos no setor administrativo, criando um sistema veloz, e reduzindo a inclusão manual de informações.

No Brasil, podemos apontar como um exemplo prático, a plataforma denominada “*OriginalMy*”¹³⁶, que atua no registro de provas de autenticidade, viabiliza a assinatura digital de contratos, realiza a verificação de identidade dos usuários e possibilita o reconhecimento de direitos autorais, tudo isso por meio da tecnologia blockchain e certificação digital. Frisa-se, que os serviços oferecidos pela referida plataforma apresentam custos significativamente inferiores quando comparados aos praticados por cartórios e registros públicos convencionais¹³⁷.

No que tange ao aspecto autoexecutório e automático do smart contract, há como exemplo claro, o projeto denominado *OpenLaw*¹³⁸, originada de uma parceria entre instituições dos Estados Unidos e da Suíça, a qual disponibiliza aos advogados modelos contratuais padronizados, organizados em uma base de

¹³⁴ Healthcoin é uma plataforma baseada em blockchain que recompensa comportamentos saudáveis com tokens, incentivando a prevenção de doenças e promovendo a troca de dados de saúde de forma segura e descentralizada.

¹³⁵ SWAN, Melanie. *Blockchain: blueprint for a new economy*. 1. ed. Sebastopol: O'Reilly Media, 2015. Disponível em: https://www.academia.edu/44112222/Melanie_Swan_Blockchain_BLUEPRINT_FOR_A_NEW_ECONOMY. Acesso em: 02 jan de 2024, p. 59.

¹³⁶ Original my. Disponível em: <https://originalmy.com/>. Acesso em: 15. mar. 2025.

¹³⁷ CARVALHO, Carla Arigony de; ÁVILA, Lucas Veiga. A tecnologia blockchain aplicada aos contratos inteligentes. *Revista Em Tempo*, Marília, v. 18, p. 156–176, 2019. Disponível em: <https://revista.univem.edu.br/emtempo/article/view/3210>. Acesso em: 15 mar. 2025, p. 12.

¹³⁸ OpenLaw. Disponível em: <https://www.openlaw.com/>. Acesso em: 15. mar. 2025.

dados¹³⁹. Os modelos são formatos pré-constituídos de contratos, pelo qual, os profissionais utilizantes da plataforma podem simplesmente adaptar o conteúdo do contrato conforme a demanda do caso concreto, utilizando, para tanto, a tecnologia blockchain como meio de validação e execução automatizada, a partir das cláusulas previamente estabelecidas.

Todavia, há notáveis plataformas de contratos inteligentes tais quais, a Ethereum, já mencionada previamente, foi uma das pioneiras nesse processo, permitindo a criação de contratos inteligentes e descentralização de aplicações de forma ampla. Além dela, existem outras plataformas que desempenham papéis importantes no desenvolvimento de contratos inteligentes, como a Solana¹⁴⁰, a Tron¹⁴¹, a Cardano¹⁴², a Polkadot¹⁴³, a Tezos¹⁴⁴, a EOSio¹⁴⁵, a Avalanche¹⁴⁶, e a Casper¹⁴⁷, cada qual com características distintas, e enfoques específicos em áreas variadas, enquanto preservam a funcionalidade essencial dos contratos inteligentes. Tais plataformas permitem, inclusive, que os contratos sejam atualizados e modificados conforme as necessidades do usuário, além de oferecerem a possibilidade de escolha da linguagem de programação que melhor se adequa às demandas do projeto, ampliando as possibilidades de personalização e flexibilidade no uso dessa tecnologia.

4 DA CONFORMIDADE DOS CONTRATOS INTELIGENTES COM A LEI GERAL DE PROTEÇÃO DE DADOS

A relação entre a blockchain e a chamada Lei Geral de Proteção de Dados, instituída pela Lei nº 13.709 de 14 de agosto de 2018 é complexa e multifacetada, uma vez que, por um lado há uma legislação que busca garantir aos

¹³⁹ CARVALHO, Carla Arigony de; ÁVILA, Lucas Veiga. A tecnologia blockchain aplicada aos contratos inteligentes. Revista Em Tempo, Marília, v. 18, p. 156–176, 2019. Disponível em: <https://revista.univem.edu.br/emtempo/article/view/3210>. Acesso em: 15 mar. 2025, p. 14.

¹⁴⁰ Solana. Disponível em: <https://solana.com/pt>. Acesso em 15. mar. 2025.

¹⁴¹ Tron. Disponível em: <https://tron.ind.br/>. Acesso em 15. mar. 2025.

¹⁴² Cardano. Disponível em: <https://cardano.org/>. Acesso em 15 mar. 2025.

¹⁴³ Polkadot. Disponível em: <https://polkadot.com/>. Acesso em 15 mar. 2025.

¹⁴⁴ Tezos. Disponível em: <https://tezos.com/>. Acesso em 15. mar. 2025.

¹⁴⁵ EOS. Disponível em: <https://developers.eos.io/welcome/v2.1/smart-contract-guides/index>. Acesso em 15. mar. 2025.

¹⁴⁶ Avalanche. Disponível em: <https://www.avax.network/>. Acesso em 15. mar. 2025.

¹⁴⁷ Casper. Disponível em: <https://docs.casper.network/concepts/smart-contracts>. Acesso em 15 mar. 2025.

titulares o controle sobre seus dados pessoais, incluindo direitos como acesso, correção e exclusão dessas informações, e por outro, a tecnologia blockchain se fundamenta na descentralização e na imutabilidade dos registros, o que significa que, uma vez inseridos, os dados não podem ser alterados ou removidos.

A adequação do uso da blockchain no direito brasileiro, especialmente nos contratos inteligentes aqui analisados, é uma questão complexa, especialmente à luz do art. 18, incisos III e VI, da Lei Geral de Proteção de Dados¹⁴⁸ que assegura aos titulares dos dados os direitos de retificação e exclusão de suas informações pessoais. Entretanto, a característica de imutabilidade da tecnologia blockchain dificulta a implementação desses direitos, criando um aparente conflito entre a rigidez estrutural da blockchain e os preceitos estabelecidos pela LGPD. Apesar disso, a blockchain pode ser uma aliada na proteção de dados por proporcionar um ambiente mais rastreável, seguro e transparente aos usuários.

4.1 LEI GERAL DE PROTEÇÃO DE DADOS

A proteção da privacidade está expressamente prevista na Constituição Federal de 1988 como um direito fundamental, assegurando de forma geral, a inviolabilidade da intimidade, da vida privada, da honra e da imagem dos indivíduos, nos termos do artigo 5º, inciso X.

A partir da expansão da internet e desenvolvimento de novas tecnologias, acompanhado a evolução das relações sociais e comerciais no ambiente virtual, a privacidade digital tornou-se uma questão cada vez mais relevante no cenário jurídico, principalmente a partir da regulamentação das leis específicas, tais quais o Marco Civil da Internet, por meio da Lei nº 12.965/2014 e da Lei Geral de Proteção de Dados Pessoais pela promulgação da Lei nº 13.709/2018, que estabeleceu princípios e diretrizes para o tratamento de dados pessoais no Brasil de forma específica¹⁴⁹.

¹⁴⁸ Lei 13.709 de 2018. Art. 18. O titular dos dados pessoais tem direito a obter do controlador, em relação aos dados do titular por ele tratados, a qualquer momento e mediante requisição: III - correção de dados incompletos, inexatos ou desatualizados; VI - eliminação dos dados pessoais tratados com o consentimento do titular, exceto nas hipóteses previstas no art. 16 desta Lei;

¹⁴⁹ SOUZA, Nicolle Bêta de; ACHA, Fernanda Rosa. A proteção de dados como direito fundamental: uma análise a partir da Emenda Constitucional 115/2022. *Revista Ibero-Americana de Humanidades, Ciências e Educação - REASE*, São Paulo, v. 8, n. 09, set. 2022. Disponível em: <https://periodicorease.pro.br/rease/article/view/6822/2667>. Acesso em: 23 fev. 2025, p. 667.

A LGPD disciplina o tratamento de dados pessoais em qualquer relação que envolve a coleta, armazenamento, uso e compartilhamento de informações, tomando como fundamentos basilares a transparência, segurança e autodeterminação informativa; a norma estabelece direitos e deveres tanto para os titulares dos dados quanto para os agentes de tratamento, a fim de assegurar a proteção da liberdade, da privacidade e do livre desenvolvimento da pessoa natural, consolidando a tutela dos dados pessoais no ordenamento jurídico brasileiro.

A importância, bem como a necessidade de uma norma direcionada a proteção de dados pessoais e sensíveis, advém das rápidas e constantes transformações nos meios digitais, que redefiniram profundamente as relações sociais, tornando a conectividade uma realidade global e imediata¹⁵⁰. Nesse contexto, os dados pessoais, se silente a regulamentação e proteção adequada, permanecem vulneráveis com o compartilhamento extensivo de informações no ambiente virtual.

Nessa conjuntura, visando inibir o tratamento lesivo de dados pessoais dos usuários, a legislação estabelece diretrizes para a coleta e o armazenamento de dados pessoais dos usuários no território nacional, sejam eles nacionais ou estrangeiros, sendo exigido, como regra geral, o consentimento do titular para realização do tratamento. Em linhas gerais, o consentimento consiste em uma manifestação livre, informada e inequívoca do titular, por meio da qual há autorização para o tratamento de seus dados pessoais para uma finalidade específica, podendo ser concedido de forma expressa ou verbal.

Finalmente, a proteção de dados também possui relevante impacto econômico, não sendo uma benesse restrita ao usuário, visto que, ao adotar políticas públicas voltadas à segurança da informação, o Estado fortalece a confiança no ambiente digital, e proporciona maior previsibilidade e estabilidade para investidores, empresas e empreendedores¹⁵¹ que queiram operar no país, logo, pela garantia da proteção de dados pessoais constrói-se um ambiente propício para a

¹⁵⁰ SOUZA, Nicolle Bêta de; ACHA, Fernanda Rosa. A proteção de dados como direito fundamental: uma análise a partir da Emenda Constitucional 115/2022. *Revista Ibero-Americana de Humanidades, Ciências e Educação - REASE*, São Paulo, v. 8, n. 09, set. 2022. Disponível em: <https://periodicorease.pro.br/rease/article/view/6822/2667>. Acesso em: 23 fev. 2025, p. 669.

¹⁵¹ SOUZA, Nicolle Bêta de; ACHA, Fernanda Rosa. A proteção de dados como direito fundamental: uma análise a partir da Emenda Constitucional 115/2022. *Revista Ibero-Americana de Humanidades, Ciências e Educação - REASE*, São Paulo, v. 8, n. 09, set. 2022. Disponível em: <https://periodicorease.pro.br/rease/article/view/6822/2667>. Acesso em: 23 fev. 2025, p. 672.

transparência no fluxo de informações e para a segurança das transações, ambiente este, que é favorável para desenvolvimento econômico e tecnológico.

4.1.1 Exclusão e retificação de dados pessoais na LGPD

O direito à exclusão, bloqueio ou eliminação de dados pessoais desnecessários ou tratados inadequadamente é estabelecido nos incs. IV e VI do art. 18¹⁵² da Lei Geral de Proteção de Dados, assegurando ao titular dos dados o direito de solicitar, a qualquer momento e mediante requisição, a exclusão de seus dados pessoais tratados com base em seu consentimento, salvo nas hipóteses previstas no art. 16 do mesmo texto normativo.

Na prática, tal direito resguarda ao usuário que tenha fornecido seus dados a um determinado ente. Por exemplo, ao se cadastrar em um aplicativo, o usuário tem respaldo legal para requerer a exclusão de seus dados posteriormente, caso o titular não deseje mais o armazenamento ou uso de suas informações, poderá solicitar a exclusão gratuita dos dados, e a empresa responsável pelo tratamento dos dados deve fornecer informações claras sobre as consequências da negativa de consentimento. Ainda, no momento que o tratamento de dados cumprir sua finalidade, e o armazenamento de informações deixar de ser necessário, a própria empresa responsável deve realizar a remoção, ainda que sem requerimento do titular.

No entanto, a implementação desse direito não é uma tarefa fácil quando confrontada com a tecnologia blockchain, em razão um dos principais atributos desse sistema ser a imutabilidade dos elementos registrados, o que impede qualquer alteração ou exclusão das informações uma vez que são adicionadas à cadeia de blocos. Isto é, embora tal característica garanta integridade e segurança às transações realizadas na blockchain, há um evidente conflito com o direito dos titulares de retificar ou excluir seus dados pessoais pela rigidez da tecnologia.

¹⁵² Art. 18. O titular dos dados pessoais tem direito a obter do controlador, em relação aos dados do titular por ele tratados, a qualquer momento e mediante requisição: IV - anonimização, bloqueio ou eliminação de dados desnecessários, excessivos ou tratados em desconformidade com o disposto nesta Lei; VI - eliminação dos dados pessoais tratados com o consentimento do titular, exceto nas hipóteses previstas no art. 16 desta Lei;

Apesar disso, destacar que o direito à exclusão de dados não é absoluto, uma vez que, conforme o art. 16 da LGPD¹⁵³, há exceções que permitem a manutenção dos dados pelo controlador, mesmo diante de um pedido de exclusão. A primeira exceção refere-se ao cumprimento de obrigação legal ou regulatória, isto é, se houver uma determinação normativa que exija a retenção dos dados por um período específico, a empresa não poderá removê-los, um exemplo disso ocorre no setor bancário, onde informações financeiras precisam ser armazenadas por um prazo determinado para fins de auditoria e conformidade regulatória.

Outra hipótese em que a exclusão não se mostra obrigatória às empresas, é quando os dados forem utilizados para estudos por órgãos de pesquisa, desde que seja garantida, sempre que possível, a anonimização das informações. Outrossim, a lei permite que os dados sejam mantidos caso tenham sido transferidos a terceiros de maneira legítima, respeitando os requisitos legais para o tratamento de dados. Por fim, resta autorizada a conservação dos dados é permitida quando utilizados exclusivamente pelo controlador, desde que estejam anonimizados e inacessíveis a terceiros.

4.1.2 A importância do consentimento no tratamento de dados

A lei geral de proteção de dados é um marco na proteção da privacidade no Brasil, mas ainda carece de disposições específicas sobre tecnologias emergentes, tais quais a blockchain e os smart contracts, ou mesmo tecnologias semelhantes.

Sabendo que não há, ainda, normativas claras para o tratamento de dados em tecnologias como a blockchain, logo, a elaboração de uma norma legal nesse sentido é um elemento necessário para assegurar a segurança jurídica e a efetiva proteção dos direitos dos usuários e das partes envolvidas. Para isso, é fundamental que legisladores e órgãos reguladores atuem de forma conjunta na criação de normas que contemplem as particularidades de tecnologias como a

¹⁵³ Art. 16. Os dados pessoais serão eliminados após o término de seu tratamento, no âmbito e nos limites técnicos das atividades, autorizada a conservação para as seguintes finalidades: I - cumprimento de obrigação legal ou regulatória pelo controlador; II - estudo por órgão de pesquisa, garantida, sempre que possível, a anonimização dos dados pessoais; III - transferência a terceiro, desde que respeitados os requisitos de tratamento de dados dispostos nesta Lei; ou IV - uso exclusivo do controlador, vedado seu acesso por terceiro, e desde que anonimizados os dados.

blockchain, bem como de outras tecnologias disruptivas, garantindo sua conformidade com o ordenamento jurídico e promovendo um ambiente mais seguro para sua aplicação¹⁵⁴.

No que tange ao tratamento de dados pessoais, considerando a ausência de normativas específicas para tecnologias inovadoras, busca-se a adequação da lei geral de proteção de dados.

O tratamento de dados pessoais – sejam em coleta, geração, recebimento, organização, uso, acesso, reprodução, transmissão, compartilhamento, processamento, arquivamento, armazenamento, exclusão, análise, controle, alteração, comunicação, transferência, divulgação ou extração de dados – é relacionado aos dados que precisam de um procedimento específico, tais quais, os dados sensíveis que carecem de uma cautela maior.

Os dados pessoais são quaisquer informações que se refiram a uma pessoa natural identificada ou identificável, como nome, data de nascimento, origem, endereço ou número de telefone, ou seja, qualquer dado que, isoladamente ou em conjunto com outros, permita a individualização de um indivíduo¹⁵⁵. Os dados sensíveis, por sua vez, segundo o artigo 5º, inciso II¹⁵⁶, da LGPD, estão associados a dados como origem racial ou étnica, crença religiosa, posicionamento político e vinculação a sindicatos ou a entidades de natureza religiosa, filosófica ou política, além de informações relacionadas à saúde, vida sexual, características genéticas ou biométricas, desde que estejam vinculadas a uma pessoa natural.

Nesse contexto, sabendo que o consentimento do usuário é elemento indispensável no tratamento de dados, a cláusula de consentimento deve ser apresentada de forma clara e detalhada, de modo que interpretações

¹⁵⁴ KONESCKI, Luciano Gevaerd. Smart contracts: tecnologias disruptivas e a regulamentação dos contratos inteligentes no direito brasileiro. 2023. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Direito) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2023. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/248819/TCC%20-%20Luciano%20Gevaerd%20-%20vers%c3%a3o%20final.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 3 mar. 2025, p. 48.

¹⁵⁵ VIEIRA, William Santos. Desafios da LGPD: Imutabilidade da Blockchain Pública e Tratamento de Dados Pessoais pela Base Legal de Consentimento. 2022. Monografia Jurídica (Trabalho de Curso II) – Pontifícia Universidade Católica de Goiás, Escola de Direito, Negócios e Comunicação, Goiânia, 2022. Disponível em: <https://repositorio.pucgoias.edu.br/jspui/bitstream/123456789/5402/1/WILLIAM%20SANTOS%20VIEIRA.pdf>. Acesso em: 3 mar. 2025, p. 23.

¹⁵⁶ Art. 5º Para os fins desta Lei, considera-se: II - dado pessoal sensível: dado pessoal sobre origem racial ou étnica, convicção religiosa, opinião política, filiação a sindicato ou a organização de caráter religioso, filosófico ou político, dado referente à saúde ou à vida sexual, dado genético ou biométrico, quando vinculado a uma pessoa natural;

excessivamente amplas sejam evitadas, prevenindo, assim, qualquer vício de consentimento¹⁵⁷, incluindo nas tecnologias como a blockchain, onde é direito do titular obter informações claras acerca do processamento das informações.

No contexto dos contratos inteligentes, a inserção e tratamento dos dados do usuário, tão somente pode ocorrer também a partir da clareza e detalhamento das cláusulas de consentimento, uma vez que o direito do titular saber da natureza da tecnologia, bem como, as implicações do registro de informações de forma imutável – e quais procedimentos irão solucionar tal imutabilidade. À vista disso, os usuários precisam estar totalmente cientificados dos termos acordados antes da celebração do contrato, uma vez que, não permite alterações nas informações registradas após sua execução, como vimos, seria necessária a criação de um novo contrato para incluir novas cláusulas ou alterar interpretações.

Ou seja, o consentimento para os contratos inteligentes, e qualquer tecnologia operada por blockchain, é primordial tanto para os dados do titular, quando pela respectiva utilização nas cláusulas contratuais estabelecidas, uma vez que, na ausência de autorização, além da violação à legislação, ainda há o risco de interpretações equivocadas ou ambiguidades nos contratos, de forma a cláusulas de consentimento não é apenas uma medida de segurança jurídica, mas também uma forma de assegurar o respeito aos direitos fundamentais dos indivíduos no ambiente digital.

O principal problema do tratamento de dados nos contratos inteligentes está na revogação do consentimento, onde o titular dos dados pessoais tem o direito de revogar sua autorização a qualquer momento, de forma simples e gratuita¹⁵⁸, como define expressamente o § 5º do art. 8 da LGPD, através de uma manifestação

¹⁵⁷ VIEIRA, William Santos. Desafios da LGPD: Imutabilidade da Blockchain Pública e Tratamento de Dados Pessoais pela Base Legal de Consentimento. 2022. Monografia Jurídica (Trabalho de Curso II) – Pontifícia Universidade Católica de Goiás, Escola de Direito, Negócios e Comunicação, Goiânia, 2022. Disponível em: <https://repositorio.pucgoias.edu.br/jspui/bitstream/123456789/5402/1/WILLIAM%20SANTOS%20VIEIRA.pdf>. Acesso em: 3 mar. 2025, p. 24.

¹⁵⁸ Art. 8º O consentimento previsto no inciso I do art. 7º desta Lei deverá ser fornecido por escrito ou por outro meio que demonstre a manifestação de vontade do titular. § 5º O consentimento pode ser revogado a qualquer momento mediante manifestação expressa do titular, por procedimento gratuito e facilitado, ratificados os tratamentos realizados sob amparo do consentimento anteriormente manifestado enquanto não houver requerimento de eliminação, nos termos do inciso VI do caput do art. 18 desta Lei.

expressa, gerando como efeito da revogação a interrupção no tratamento de seus dados sempre que julgar necessário¹⁵⁹.

Nos contratos inteligentes, considerando a sua operacionalização através da blockchain, que é uma tecnologia rígida e irreversível, como vimos exhaustivamente, a revogação do consentimento se mostra um desafio, uma vez que um contrato inteligente é registrado na blockchain, este não pode ser alterado ou excluído, restando prejudicado o direito de revogar o consentimento de forma simples.

4.2 DA UTILIZAÇÃO DA TECNOLOGIA COMO ALIADA À LEI GERAL DE PROTEÇÃO DE DADOS

Os smart contracts, retomando nosso estudo, é uma espécie de contrato eletrônico caracterizado por autoaplicabilidade, imutabilidade, transparência, confiabilidade e execução condicional, demonstrando potencial de revolucionar diversas indústrias, no entanto, a sua aplicação prática depende da superação de desafios técnicos, operacionais e regulatórios que ainda limitam sua implementação efetiva¹⁶⁰, a partir da adequação com a legislação de proteção dos usuários.

Embora não possamos ignorar a presença de obstáculos dessa modalidade contratual em adequação com o direito, é importante lembrar que os contratos digitais são capazes de garantir que o compartilhamento e o uso dos dados ocorram apenas mediante consentimento expresso do titular, por meio de uma função automatizada, pelo qual a tecnologia pode ser utilizada como uma ferramenta que opere a favor da legislação existente, propiciando a proteção de dados dos usuários.

¹⁵⁹ VIEIRA, William Santos. Desafios da LGPD: Imutabilidade da Blockchain Pública e Tratamento de Dados Pessoais pela Base Legal de Consentimento. 2022. Monografia Jurídica (Trabalho de Curso II) – Pontifícia Universidade Católica de Goiás, Escola de Direito, Negócios e Comunicação, Goiânia, 2022. Disponível em: <https://repositorio.pucgoias.edu.br/jspui/bitstream/123456789/5402/1/WILLIAM%20SANTOS%20VIEIRA.pdf>. Acesso em: 3 mar. 2025, p. 24.

¹⁶⁰ KONESCKI, Luciano Gevaerd. Smart contracts: tecnologias disruptivas e a regulamentação dos contratos inteligentes no direito brasileiro. 2023. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Direito) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2023. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/248819/TCC%20-%20Luciano%20Gevaerd%20-%20vers%c3%a3o%20final.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 4 mar. 2025, p. 34.

Afinal, o modelo distribuído da blockchain possibilita que os titulares exerçam maior controle sobre sua identidade e o compartilhamento de seus dados pessoais, visto que essas informações são divulgadas de maneira consentida, e dentre os indivíduos da rede, e nenhum terceiro. E isso, nada mais é do que o conceito de “*self-sovereign identity*”¹⁶¹, a chamada SSI, que já existem diferentes versões em desenvolvimento, todas fundamentadas na descentralização proporcionada pela blockchain¹⁶², nesse caso, diferentemente dos modelos tradicionais de armazenamento, em que entidades centralizadas gerenciam e arquivam dados dos usuários, a SSI utiliza tecnologias descentralizadas para assegurar que os titulares das informações decidam como, quando e com quem compartilham seus dados.

Para além disso, é possível proporcionar uma verificação das informações pelos próprios usuários, sem a necessidade de um servidor central, são chamadas *verifiable credentials*, isto é, credenciais criptográficas interoperáveis e verificáveis, que são emitidas e atestam a autenticidade do registro, garantindo maior segurança e confiabilidade ao sistema, gerando uma autonomia aos titulares. Inclusive, é possível a utilização da blockchain nas identidades digitais, possibilitando a verificação, autorização e gestão das informações pessoais de maneira segura e confiável, contribuindo para a diminuição de fraudes relacionadas à identidade¹⁶³.

A tecnologia pode se mostrar como uma aliada da legislação de proteção de dados mais uma vez, se pensarmos que atualmente, identificar com precisão quais empresas e órgãos públicos armazenam dados pessoais da população é uma tarefa complexa, tornando ainda mais difícil saber como os dados são tratados, em razão da extensa quantidade de empresas físicas e online existentes. Consequentemente, as identidades dos indivíduos ficam excessivamente expostas e

¹⁶¹ Self-Sovereign Identity (Identidade Autossobrerana) é um modelo de identidade digital descentralizado no qual o indivíduo tem total controle sobre seus próprios dados pessoais, podendo gerenciá-los e compartilhá-los sem depender de uma autoridade central.

¹⁶² SELEIRO, Talita Aguiar. Controle de dados pessoais: a Identidade Blockchain como ferramenta de proteção de dados pessoais. 2020. Monografia (Bacharelado em Direito) – Universidade Federal de Ouro Preto, Escola de Direito, Turismo e Museologia, Ouro Preto, 2020. Disponível em: https://monografias.ufop.br/bitstream/35400000/2764/2/MONOGRAFIA_ControlDadosPessoais.pdf. Acesso em: 3 mar. 2025, p. 44.

¹⁶³ SELEIRO, Talita Aguiar. Controle de dados pessoais: a Identidade Blockchain como ferramenta de proteção de dados pessoais. 2020. Monografia (Bacharelado em Direito) – Universidade Federal de Ouro Preto, Escola de Direito, Turismo e Museologia, Ouro Preto, 2020. Disponível em: https://monografias.ufop.br/bitstream/35400000/2764/2/MONOGRAFIA_ControlDadosPessoais.pdf. Acesso em: 3 mar. 2025, p. 45.

suscetíveis a riscos, dificultando, por exemplo, a rastreabilidade da origem de um vazamento de informações¹⁶⁴. Os smart contracts podem mitigar esse problema ao permitir um controle automatizado sobre os dados armazenados e acessados, garantindo que apenas usuários autorizados possam interagir com as informações dentro dos limites estabelecidos pelo contrato digital, e anteriormente consentindo pelos indivíduos.

Ademais, a partir do registro seguro dos acessos e dados num site que utiliza a blockchain, a apuração de dados seria facilitada, e qualquer atividade fora do regular poderia ser acessada, para fins de realização de auditorias e responsabilização¹⁶⁵ em caso de inobservância dos preceitos da norma que protege o tratamento de dados pessoais.

Conforme estabelece o art. 46 da LGPD¹⁶⁶, devem ser adotadas medidas de segurança capazes de proteger os dados pessoais dos usuários do acesso de terceiros não autorizados, bem como, todas as formas de tratamento inadequado ou ilícito, exemplificando a destruição, perda, alteração, e comunicação dos dados, e neste ponto a blockchain pode ser utilizada sem interrupções, por meio de da segurança em criptografia é possível impedir acessos não autorizados, assim como possíveis brechas que levem a violações de segurança.

Neste ínterim, a tecnologia pode proporcionar controle e autonomia sobre dados pessoais dos usuários¹⁶⁷.

Veremos que embora a inalterabilidade da tecnologia impeça a remoção dos dados, há alternativas viáveis para reduzir tais problemas, como a adoção de

¹⁶⁴ ALVES, Pedro Henrique. et al. Desmistificando Blockchain: Conceitos e Aplicações. In: MACIEL, Cristiano; VITERBO, José (Orgs). "Computação e Sociedade", Sociedade Brasileira de Computação. 2018. Disponível em: <http://www-di.inf.pucrio.br/~kalinowski/publications/AlvesLNRLK20.pdf>. Acesso em: 5 mar. 2025, p. 18.

¹⁶⁵ SPAZAPAN, Karlla Lorrainy Lopes de Barros; CEREZER, Maritza Vestana. Proteção de dados em redes descentralizadas: Blockchain e a Lei Geral de Proteção de Dados Pessoais (LGPD). Congresso Internacional de Direito Aplicado, 5., 2024, Santa Maria. Anais [...]. Santa Maria: Insigne Acadêmica, 2024. Disponível em: <https://insigneacademica.com.br/ojs/index.php/anaisdocida/article/view/82/92>. Acesso em: 25 fev. 2025, p. 94.

¹⁶⁶ Art. 46. Os agentes de tratamento devem adotar medidas de segurança, técnicas e administrativas aptas a proteger os dados pessoais de acessos não autorizados e de situações acidentais ou ilícitas de destruição, perda, alteração, comunicação ou qualquer forma de tratamento inadequado ou ilícito.

¹⁶⁷ SELEIRO, Talita Aguiar. Controle de dados pessoais: a Identidade Blockchain como ferramenta de proteção de dados pessoais. 2020. Monografia (Bacharelado em Direito) – Universidade Federal de Ouro Preto, Escola de Direito, Turismo e Museologia, Ouro Preto, 2020. Disponível em: https://monografias.ufop.br/bitstream/35400000/2764/2/MONOGRRAFIA_ControlDadosPessoais.pdf. Acesso em: 3 mar. 2025, p. 45.

técnicas como o *hashing* dos dados ou o armazenamento *off-chain*, em que se registram apenas referências criptográficas¹⁶⁸.

O uso do *hashing* e do armazenamento *off-chain* são estratégias que buscam conciliar a tecnologia blockchain com a proteção de dados pessoais, pelo qual, o *hashing* transforma informações em códigos únicos e irreversíveis, dificultando a identificação direta dos titulares dos dados, enquanto que o armazenamento *off-chain* mantém os dados sensíveis fora da blockchain, registrando apenas referências criptográficas que permitem verificar a integridade das informações sem expô-las diretamente, possibilitando a exclusão dos dados.

No entanto, ressalta-se que medidas alternativas, tal qual o *hashing* e do armazenamento *off-chain*, não asseguram o anonimato absoluto dos dados pessoais, nem impedem sua possível reidentificação do titular usuário, visto que, a *blockchain* adota a pseudonimização¹⁶⁹, técnica que converte os dados pessoais em códigos únicos por meio de *hashes*. Assim, partindo da previsão de anonimização na Lei Geral de Proteção de Dados, em seu art. 12¹⁷⁰, pelo qual são exigidas adaptações e regulamentações que viabilizem sua implementação sem comprometer os direitos fundamentais à privacidade e à proteção de dados.

4.3 DA (DES)CONFORMIDADE DOS CONTRATOS INTELIGENTES COM A LEI GERAL DE PROTEÇÃO DE DADOS

A tecnologia, em linhas gerais, se usada corretamente, pode gerar incontáveis vantagens aos usuários, configurando-se como um instrumento relevante e aliado do direito brasileiro., tal como vimos que os smart contracts, e a

¹⁶⁸ SPAZAPAN, Karlla Lorrainy Lopes de Barros; CEREZER, Maritza Vestana. Proteção de dados em redes descentralizadas: Blockchain e a Lei Geral de Proteção de Dados Pessoais (LGPD). Congresso Internacional de Direito Aplicado, 5., 2024, Santa Maria. Anais [...]. Santa Maria: Insigne Acadêmica, 2024. Disponível em: <https://insigneacademica.com.br/ojs/index.php/anaisdocida/article/view/82/92>. Acesso em: 25 fev. 2025, p. 96.

¹⁶⁹ SPAZAPAN, Karlla Lorrainy Lopes de Barros; CEREZER, Maritza Vestana. Proteção de dados em redes descentralizadas: Blockchain e a Lei Geral de Proteção de Dados Pessoais (LGPD). Congresso Internacional de Direito Aplicado, 5., 2024, Santa Maria. Anais [...]. Santa Maria: Insigne Acadêmica, 2024. Disponível em: <https://insigneacademica.com.br/ojs/index.php/anaisdocida/article/view/82/92>. Acesso em: 25 fev. 2025, p. 96.

¹⁷⁰ Art. 12. Os dados anonimizados não serão considerados dados pessoais para os fins desta Lei, salvo quando o processo de anonimização ao qual foram submetidos for revertido, utilizando exclusivamente meios próprios, ou quando, com esforços razoáveis, puder ser revertido.

blockchain como um todo, ao serem implementadas podem auxiliar na proteção de dados pessoais e autonomia dos usuários.

Ocorre que, enquanto citamos um ou dois benefícios direitos na implementação da blockchain para proteção de dados pessoais, por outro lado subsistem inúmeros desafios que obstruem sua plena conformidade com o ordenamento jurídico nacional, o que inclui os contratos inteligentes que têm tal tecnologia como sua base. Podemos listar os problemas mais evidentes e emblemáticos em relação às razões que impedem a adequação da tecnologia com a LGPD, tornando seu exercício no país quase que irreal se não houverem adequações.

Contudo, a realidade é que as disposições da lei geral de proteção de dados não são inovações previstas exclusivamente no Brasil, em nível internacional, diversas jurisdições têm adotado marcos regulatórios para garantir a proteção dos dados pessoais dos indivíduos. A União Europeia consolidou o tema com o Regulamento Geral sobre a Proteção de Dados (GDPR), que impõe normas rigorosas para o tratamento de informações e estabelece penalidades severas em caso de descumprimento¹⁷¹. Ademais, países como Japão, Canadá e Austrália também implementaram leis específicas que visam assegurar a transparência e a segurança no tratamento dos dados pessoais, refletindo uma tendência global em prol da privacidade digital.

Sendo assim, a verdade é que uma tecnologia notória como a blockchain, ainda que existam imbrólios em relação aos preceitos da LGPD, não possui uma aplicabilidade intrinsecamente contrária à proteção dos dados pessoais. Ou seja, embora sua característica de imutabilidade apresente desafios para a efetivação de direitos previstos aos titular de dados pessoais, como a retificação e a exclusão de informações, a blockchain incorpora mecanismos de segurança, transparência e rastreabilidade que podem, de fato, reforçar a proteção dos dados que não poderiam ser ignorados.

¹⁷¹ European Union. (2016). Regulation (EU) 2016/679 of the European Parliament and of the Council of 27 April 2016 on the protection of natural persons with regard to the processing of personal data and on the free movement of such data, and repealing Directive 95/46/EC (General Data Protection Regulation). Official Journal of the European Union. Disponível em: <https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2016/679/oj>. Acesso em: 13 mar. 2025.

Dessa forma, a análise de debate jurídico em torno da tecnologia deve ser proposta para promover inovações normativas e técnicas, permitindo a harmonização entre os benefícios oferecidos pela tecnologia e os preceitos fundamentais da privacidade, a fim de transformá-la em uma aliada para salvaguardar a legislação. Todavia, tendo em vista que os problemas da blockchain subsistem na conformidade com a norma, podemos citar quatro problemáticas, tais quais: a impossibilidade de controle de dados, a imutabilidade de dados e a necessidade de anonimização, a revogação do consentimento e a transferência internacional de dados.

4.3.1.1 Da impossibilidade de controle de dados

Os administradores da blockchain, via de regra, não controlam os dados que serão inseridos na cadeia de blocos, tampouco seu conteúdo, sendo um sistema genérico, a tecnologia registra qualquer espécie de documentos e transações¹⁷². Logo, não há pré-validação de um registro para identificar se há um dado sensível ou não inserido. Na óptica dos contratos inteligentes, tal ausência de controle pode gerar implicações diretas na conformidade com a LGPD, especialmente no que se refere à responsabilidade pelo tratamento dos dados pessoais, tendo em vista que os contratos operam de forma automatizada e descentralizada, é difícil identificar quem deve ser considerado o controlador ou operador dos dados, dificultando a atribuição de deveres e responsabilidades previstos na legislação.

Além do mais, pela natureza descentralizada da tecnologia, estamos diante de uma ausência de controle centralizado e único das informações, fato este que prejudica a atuação da Autoridade Nacional de Proteção de Dados, a ANPD, prevista no art. 55-A¹⁷³ da LGPD, que é o órgão da administração pública federal responsável por zelar pela proteção de dados pessoais e por regulamentar e fiscalizar o cumprimento da legislação. Ou seja, a descentralização cria um cenário

¹⁷² REBELO, Maria Paulo. Os desafios do RGPD perante as novas tecnologias blockchain. *Revista de Bioética y Derecho*, v. 46, p. 117-131, 2019. Disponível em: <https://scielo.isciii.es/pdf/bioetica/n46/1886-5887-bioetica-46-00117.pdf>. Acesso em: 5 mar. 2025, p. 9.

¹⁷³ Art. 55-A. Fica criada a Autoridade Nacional de Proteção de Dados (ANPD), autarquia de natureza especial, dotada de autonomia técnica e decisória, com patrimônio próprio e com sede e foro no Distrito Federal.

em que a ANPD não poderia atuar de forma direta e controlar a tecnologia, de modo que, precisaria adaptar seu modelo regulatório para abranger tecnologias emergentes, como a blockchain, que operam em um ambiente distribuído e autônomo.

4.3.1.2 Imutabilidade de dados e a necessidade de anonimização

A imutabilidade da blockchain impede a exclusão ou modificação de informações registradas, o que entra em conflito direto com o direito à retificação e exclusão de dados pessoais, amarrados nos inc. IV e VI do art. 18 da LGPD. De acordo com Rebelo, toda informação partilhada na rede, sabendo que é replicada por todos os usuários, torna a eliminação de uma informação quase impossível, afinal, os dados registrados na blockchain tendem a ser permanentes, imutáveis e inacessíveis a qualquer forma de alteração ou exclusão.

Outrossim, no tange à anonimização dos dados dos titulares, a blockchain opera essencialmente com a chamada pseudonimização, que é uma técnica de proteção de dados que substitui informações identificáveis por identificadores artificiais, como códigos ou *hashes*, dificultando a associação direta dos dados a um indivíduo específico, ou seja, os dados armazenados não são diretamente identificáveis. Todavia, ainda podem ser vinculados ao titular por meio de cruzamento de informações, o que impede o anonimato absoluto, exigido para evitar a reidentificação dos indivíduos pelo inc. IV do art. 18 da LGPD. Desta feita, a utilização da tecnologia no tratamento de dados necessita de soluções complementares, como o armazenamento *off-chain*¹⁷⁴ e diretrizes regulatórias específicas, na tentativa de garantir uma adequação plena da legislação.

4.3.1.3 Revogação do consentimento e término do tratamento de dados

A problemática da imutabilidade dos dados se estende para além da exclusão e anonimização dos registros, uma vez que, no art. 18, inciso IX¹⁷⁵ da

¹⁷⁴ A *off-chain*, conforme discutiremos posteriormente, são transações que ocorrem fora da blockchain principal, geralmente através de soluções de blocos ou redes independentes.

¹⁷⁵ Art. 18. IX - revogação do consentimento, nos termos do § 5º do art. 8º desta Lei.

LGPD, há ao titular o direito à interrupção no tratamento dos seus dados, a partir da revogação do seu consentimento para manipulação das informações. Basicamente, é direito do titular que seja cessado o tratamento de dados, a partir de várias circunstâncias, tais quais, a) quando a finalidade que levou ao tratamento é alcançada, b) o titular retire seu consentimento; c) o tratamento de dados deixe de ser necessário; e d) quando há razões legítimas para cessar o tratamento ou a razão é ilícita.

Neste ínterim, novamente, em razão da rigidez da tecnologia, a eliminação dos registros com o surgimento das citadas possibilidades seria quase impraticável, pelo qual, o contrato inteligente operado por blockchain, via de regra, não operaria conforme a legislação. Afinal, como sabemos, para ocorrer uma alteração num registro de blockchain, que possibilitasse a exclusão ou anonimização de dados registrados, especialmente quando ocorre a revogação do consentimento pelo titular, seria um ato que precisaria ser realizado em um lapso de tempo muito específico, enquanto não houvesse muitos blocos registrados, e ainda, utilizando de um enorme poder computacional para tal.

Nesse contexto, Rebelo questiona se seria necessário – e acrescento, possível – o completo desaparecimento das informações do mundo real e digital, ou bastaria a aplicação de técnicas que as tornem criptografadas de forma irreversível, ou tornassem irreconhecíveis os dados registrados, sabendo que, a blockchain foi projetada precisamente para garantir a imutabilidade dos registros¹⁷⁶.

4.3.1.4 Transferência internacional de dados

A natureza global e descentralizada da tecnologia blockchain permite que registros de dados pessoais sejam processados e armazenados em múltiplos países, conforme a localização de todos os usuários da rede, sem a existência de um controle centralizado. Em contrapartida, a lei geral de proteção de dados veda a transferência internacional de dados, salvo nos casos específicos previstos em seu

¹⁷⁶ REBELO, Maria Paulo. Os desafios do RGPD perante as novas tecnologias blockchain. *Revista de Bioética y Derecho*, v. 46, p. 117-131, 2019. Disponível em: <https://scielo.isciii.es/pdf/bioetica/n46/1886-5887-bioetica-46-00117.pdf>. Acesso em: 6 mar. 2025, p. 10.

art. 33¹⁷⁷, pelo qual, a falta de previsibilidade sobre a localização dos dados e a ausência de intermediários responsáveis pelo seu tratamento criam um cenário de insegurança jurídica, extraindo-se, portanto, mais um obstáculo na adequação à legislação de dados pátria.

Apesar disso, relembremos que a própria tecnologia proporciona uma autonomia dos usuários para permitir que determinem quem pode acessar seus dados e sob quais condições, reforçando o princípio da autodeterminação informativa. Ademais, a natureza transparente e imutável da blockchain assegura que as transações e alterações nos dados sejam registradas de forma permanente, proporcionando um histórico auditável e confiável das interações, e problemáticas de transferência internacional de informações podem vir a ser mitigadas se determinado um controle prévio na produção do contrato inteligente, que possui indivíduos determinados, e não permite acesso a terceiros desautorizados.

4.4 MECANISMOS PARA A CONFORMIDADE DOS CONTRATOS INTELIGENTES COM A LEI GERAL DE PROTEÇÃO DE DADOS

Em face dos desafios relacionados à adequação da tecnologia blockchain e, por conseguinte, dos contratos inteligentes, sob a óptica dos preceitos da lei geral de proteção de dados, são necessárias alternativas que viabilizem o uso da tecnologia sem ofensa à legislação, tampouco o direito dos titulares. Nesse sentido, diversas propostas estão sendo desenvolvidas com o objetivo de mitigar o impasse entre os avanços tecnológicos e as exigências legais, buscando um equilíbrio que

¹⁷⁷ Art. 33. A transferência internacional de dados pessoais somente é permitida nos seguintes casos: I - para países ou organismos internacionais que proporcionem grau de proteção de dados pessoais adequado ao previsto nesta Lei; II - quando o controlador oferecer e comprovar garantias de cumprimento dos princípios, dos direitos do titular e do regime de proteção de dados previstos nesta Lei, na forma de: a) cláusulas contratuais específicas para determinada transferência; b) cláusulas-padrão contratuais; c) normas corporativas globais; d) selos, certificados e códigos de conduta regularmente emitidos; III - quando a transferência for necessária para a cooperação jurídica internacional entre órgãos públicos de inteligência, de investigação e de persecução, de acordo com os instrumentos de direito internacional; IV - quando a transferência for necessária para a proteção da vida ou da incolumidade física do titular ou de terceiro; V - quando a autoridade nacional autorizar a transferência; VI - quando a transferência resultar em compromisso assumido em acordo de cooperação internacional; VII - quando a transferência for necessária para a execução de política pública ou atribuição legal do serviço público, sendo dada publicidade nos termos do inciso I do caput do art. 23 desta Lei; VIII - quando o titular tiver fornecido o seu consentimento específico e em destaque para a transferência, com informação prévia sobre o caráter internacional da operação, distinguindo claramente esta de outras finalidades; ou IX - quando necessário para atender as hipóteses previstas nos incisos II, V e VI do art. 7º desta Lei.

permita a implementação segura e legal da blockchain e seus desdobramentos no tratamento de dados pessoais.

No contexto dos contratos inteligentes, que operam por uma tecnologia configurada como *transactional data*, que trata dos dados gerados a partir das transações realizadas dentro da própria blockchain, incluindo detalhes como valores transferidos, remetente, destinatário, carimbo de data e hora, e outras informações relacionadas à operação. Ou seja, é um registro de informações interno à própria tecnologia. Neste caso, uma possível solução seria armazená-los em um banco de dados *off-chain* editável e criptografado, garantindo a conformidade com a LGPD e possibilitando a exclusão de informações sem comprometer a blockchain¹⁷⁸.

Ou seja, em vez de um registro interno (e imutável) dentro da tecnologia, a *off-chain* operaria como um banco de dados separado, de forma que, ao armazenar os dados pessoais fora da cadeia de blocos, seria possível garantir o cumprimento do direito do titular de corrigir ou excluir suas informações quando estas forem objeto de tratamento¹⁷⁹, vez que não estariam dentro de uma cadeia de blocos irreversível.

No entanto, o problema nessa alternativa se opera especialmente quanto à integridade e autenticidade dos registros, exigindo a nomeação de entidades responsáveis para a edição da cadeia de blocos conforme regras preestabelecidas, e ainda, elementos fundamentais da blockchain, como a descentralização *peer-to-peer*, podem ser afetadas para viabilizar sua compatibilização com a legislação. De forma mais detalhada, caso as informações pudessem ser alteradas, a característica fundamental de segurança e a integridade do registro das informações, validada e monitorada por todos os participantes da rede blockchain, seriam comprometidas.

Uma nova alternativa seria armazenar os dados pessoais em um banco encriptado, inserindo apenas o *hash* desse banco na blockchain, assegurando a

¹⁷⁸ REBELO, Maria Paulo. Os desafios do RGPD perante as novas tecnologias blockchain. Revista de Bioética y Derecho, v. 46, p. 117-131, 2019. Disponível em: <https://scielo.isciii.es/pdf/bioetica/n46/1886-5887-bioetica-46-00117.pdf>. Acesso em: 6 mar. 2025, p. 9.

¹⁷⁹ CAMARGO, Renan Guilherme. Alinhamento entre a Blockchain e a Lei Geral de Proteção de Dados Pessoais. 2021. Trabalho de Conclusão de Curso (Curso Superior de Tecnologia em Segurança da Informação) – Faculdade de Tecnologia de Americana, Americana, SP, 2021. Disponível em: http://ric.cps.sp.gov.br/bitstream/123456789/12765/1/20212S_Renan%20Guilherme%20Camargo_OD1428.pdf. Acesso em: 6 mar. 2025, p. 15.

integridade das informações sem expô-las diretamente no *ledger*¹⁸⁰, ou seja, o livro razão da blockchain. Em outras palavras, em vez de armazenar os dados pessoais diretamente na blockchain, é inserido apenas o "hash"¹⁸¹ desse banco de dados na cadeia de blocos, logo, a integridade das informações é assegurada, pois qualquer alteração nos dados originais geraria um hash diferente, permitindo a verificação da autenticidade e integridade do conteúdo, e os dados permanecem protegidos e inacessíveis sem a chave de descryptografia.

Ademais, para além do armazenamento *off-chain*, que consiste no uso de uma *sidechain*, ou "cadeia lateral", que é uma blockchain independente que opera paralelamente à blockchain principal, numa uma espécie cadeia complementar, adicionando novos recursos sem a necessidade de criar uma blockchain totalmente nova, com o objetivo de melhorar sua velocidade e aspectos relacionados à privacidade¹⁸². Nessa possibilidade, quando a informação precisar ser alterada ou excluída, é possível reindexar o hash para outro bloco, onde os dados já estarão corrigidos, ou removê-lo completamente da cadeia, eliminando qualquer referência e tornando-os inacessíveis¹⁸³, ou seja, haveria a possibilidade de excluir totalmente ou de adequar o dado.

Destarte, há viabilidades capazes de conciliar a imutabilidade e a transparência características da blockchain com os direitos de privacidade e proteção de dados pessoais previstos pela legislação, partindo do uso de técnicas como o armazenamento off-chain, a inserção de hashes na blockchain e a implementação de sidechains, uma vez que, são alternativas para os dados pessoais não permaneçam expostos diretamente na tecnologia que impede a sua

¹⁸⁰ REBELO, Maria Paulo. Os desafios do RGPD perante as novas tecnologias blockchain. Revista de Bioética y Derecho, v. 46, p. 117-131, 2019. Disponível em: <https://scielo.isciii.es/pdf/bioetica/n46/1886-5887-bioetica-46-00117.pdf>. Acesso em: 6 mar. 2025, p. 9.

¹⁸¹ O "hash" é uma representação criptográfica única e compacta do conteúdo do banco de dados.

¹⁸² CAMARGO, Renan Guilherme. Alinhamento entre a Blockchain e a Lei Geral de Proteção de Dados Pessoais. 2021. Trabalho de Conclusão de Curso (Curso Superior de Tecnologia em Segurança da Informação) – Faculdade de Tecnologia de Americana, Americana, SP, 2021. Disponível em: http://ric.cps.sp.gov.br/bitstream/123456789/12765/1/20212S_Renan%20Guilherme%20Camargo_OD1428.pdf. Acesso em: 6 mar. 2025, p. 15.

¹⁸³ CAMARGO, Renan Guilherme. Alinhamento entre a Blockchain e a Lei Geral de Proteção de Dados Pessoais. 2021. Trabalho de Conclusão de Curso (Curso Superior de Tecnologia em Segurança da Informação) – Faculdade de Tecnologia de Americana, Americana, SP, 2021. Disponível em: http://ric.cps.sp.gov.br/bitstream/123456789/12765/1/20212S_Renan%20Guilherme%20Camargo_OD1428.pdf. Acesso em: 6 mar. 2025, p. 15.

ulterior modificação e exclusão, ao mesmo tempo em que asseguram sua integridade e rastreabilidade.

Há mais uma alternativa, denominada Prova de Conhecimento Zero – *Zero-Knowledge Proof* – que consiste em um método de registro no qual apenas a transação em si é publicamente divulgada na blockchain, sem que os dados, os sujeitos ou o objeto da transação sejam expostos, mostra-se como um mecanismo eficaz de anonimização, que inclusive, já foi reconhecida pelo Parlamento Europeu¹⁸⁴, e poderia ser adequado para a anonimização de dados prevista na LGPD¹⁸⁵, bem como para assegurar o cumprimento do princípio da minimização de dados, possibilitando que transações sejam validadas sem a necessidade de revelar informações sensíveis dos titulares.

Portanto, há possibilidades de que sejam desenvolvidos mecanismos concretos que acarretem na plena harmonização da tecnologia com a legislação, pelo qual, a figura do contrato inteligente, ou mesmo um contrato exclusivamente eletrônico possua validade e eficácia sem que seus termos sejam questionados por um possível descumprimento da lei geral de proteção de dados, e os obstáculos sejam sanados, para que o smart contract se transforme numa tecnologia disruptiva com a transformação do direito contratual tradicional, tal qual já está fazendo, a partir do surgimento de inúmeros debates e discussão quanto a sua atualização e viabilidade no mundo jurídico de cada país, vez que, desafia as estruturas convencionais e propõe um novo paradigma para a realização de negócios jurídicos.

No fim, estamos diante de uma oportunidade de contratos autoexecutáveis e descentralizados, pelo qual, a tecnologia não apenas oferece maior agilidade e segurança nas transações, bem como pode redefinir as relações contratuais, promovendo uma nova era no qual a confiança é distribuída e o cumprimento dos acordos é garantido por meio de códigos e algoritmos, ao invés de intermediários tradicionais.

¹⁸⁴ KREY, Vinicius Gabriel. Impactos das legislações de proteção de dados pessoais à tecnologia blockchain. 2021. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Ciências Jurídicas e Sociais) – Faculdade de Direito, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2021. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/239816/001139417.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 15 mar. 2025, p. 62.

¹⁸⁵ Art. 5º Para os fins desta Lei, considera-se: III - dado anonimizado: dado relativo a titular que não possa ser identificado, considerando a utilização de meios técnicos razoáveis e disponíveis na ocasião de seu tratamento; XI - anonimização: utilização de meios técnicos razoáveis e disponíveis no momento do tratamento, por meio dos quais um dado perde a possibilidade de associação, direta ou indireta, a um indivíduo;

4.4.1 Extinção de contratos inteligentes sob a óptica da LGPD

A finalização de um contrato no âmbito jurídico brasileiro é um direito inerente às partes contratantes, sobretudo diante da preservação da autonomia privada e do equilíbrio das relações obrigacionais. De acordo com Tartuce, a rescisão é um gênero que comporta a divisão de duas espécies: a resolução, que ocorre pela extinção do contrato por descumprimento, e a rescisão, que é a dissolução por vontade bilateral ou unilateral das partes, em contextos admissíveis por lei, de forma expressa ou implícita, e ambas as hipóteses desenvolvem-se no plano da eficácia contratual¹⁸⁶, ou seja, uma vez rescindido ou resolvido, o contrato anteriormente firmado tem seus efeitos encerrados.

Ademais, no que tange à extinção contratual, em linhas gerais, esta pode decorrer do cumprimento da obrigação; a morte de um dos contratantes também pode gerar o fim do pacto, bem como fatos anteriores ou posteriores à celebração contratual que impossibilitem o cumprimento da obrigação firmada¹⁸⁷.

O presente trabalho não se volta à análise dos institutos de resolução e extinção contratual, contudo, mediante a análise da adequação dos smart contracts com a possibilidade de exclusão, retificação e anonimização de dados dos usuários, em cumprimento da LGPD, cabe a análise sobre a aplicação dos institutos supracitados na modalidade automatizada e tecnológica do contrato.

De acordo com Efing e Santos, a possibilidade de anulação de um contrato inteligente que contenha vícios é objeto de controvérsia do ponto de vista técnico, mesmo diante de eventual determinação judicial, em razão da natureza desses instrumentos, que consistem em códigos computacionais dotados de autoexecutabilidade e força obrigatória. Assim, uma vez verificadas as condições previamente estabelecidas pelas partes, o sistema automaticamente executa os termos pactuados, sem possibilidade de reversão¹⁸⁸.

¹⁸⁶ TARTUCE, Flávio. Manual de direito civil: volume único. 5. ed. rev., atual. e ampl. Rio de Janeiro: Forense; São Paulo: Método, 2015, p. 479. Acesso em 16. mar. 2025, 497.

¹⁸⁷ TARTUCE, Flávio. Manual de direito civil: volume único. 5. ed. rev., atual. e ampl. Rio de Janeiro: Forense; São Paulo: Método, 2015, p. 479. Acesso em 16. mar. 2025, 498-506.

¹⁸⁸ EFING, Antonio Carlos; SANTOS, Adrielly Pinho dos. Análise dos smart contracts à luz do princípio da função social dos contratos no direito brasileiro. *Direito e Desenvolvimento*, João Pessoa, v. 9, n. 2, p. 49–64, ago./dez. 2018. Disponível em:

Todavia, frisa-se que, a extinção contratual, tal como ocorre nas hipóteses de inadimplemento, arrependimento ou rescisão, bem como, a anulação de um contrato não implica necessariamente no desaparecimento do contrato firmado tradicionalmente, e esta compreensão pode se estender ao contrato inteligente registrado em blockchain. Afinal, um contrato ora rescindido ou extinto, não torna inexistente a relação que ali existiu, fato este, sob a óptica do smart contract, os dados e registros poderiam permanecer preservados na cadeia de blocos, ainda que juridicamente não produzam mais efeitos, sem que houvesse violações da legislação vigente.

Apesar disso, uma observação imprescindível é quanto aos dados sensíveis das partes, que, muitas vezes, são colocados na qualificação dos contratos. Razão pela qual tais dados não poderiam permanecer expostos na vulnerabilidade da rede online, pois, embora a blockchain que ampara os contratos inteligentes possua segurança como característica, devemos considerar que esta é também descentralizada. Ou seja, as informações distribuem-se em várias redes, e falhas no sistema e erros são uma possibilidade que jamais deve ser descartada.

Neste contexto, uma solução que viabiliza a conciliação entre a imutabilidade técnica da blockchain e os efeitos jurídicos da extinção contratual, pode ocorrer primeiramente por meio da inserção de registros complementares ou metadados que atestem o encerramento da eficácia do contrato, sem necessidade de sua exclusão, mas registrando o lapso temporal pelo qual o respectivo contrato teve seus efeitos cessados, e as razões da finalização deste. De modo que, a blockchain demonstra ser, mais uma vez, uma aliada na averbação de informações.

Ou seja, o contrato inteligente registrado na blockchain, embora seja mantido público e ativo, em razão da impossibilidade de exclusão, com a criação de registros complementares que informem, de maneira transparente e verificável, o momento da cessação dos efeitos do contrato e as razões que motivaram sua finalização, não haveriam problemáticas às partes, e o contrato teria seus efeitos cessados em diante, afinal, o contrato em linhas gerais, expressa a vontade das partes e opera efeitos sob elas. Logo, surgindo uma causa que cesse os efeitos

contratuais, assim como num contrato comum, não haveria óbice a finalização de um contrato inteligente.

Outrossim, numa possibilidade do contrato perder seus efeitos por uma causa pré-determinada, tal qual o cumprimento da obrigação ou o lapso temporal, em razão da autoexecutoriedade dos smart contracts, se for inserida a cláusula que esclarecer as condições que o contrato perderá os seus efeitos, a concretização da cessação dos efeitos contratuais pode ser operada automaticamente.

Em contrapartida, quanto aos dados pessoais das partes do contrato, a solução é tanto as supracitadas modalidades de *sidechain* e *off chain*, discutidas no tópico anterior. Assim, os dados pessoais das partes são registrados num sistema lateral que, havendo necessidade, podem ser deletados ou retificados, ao passo que, o registro do contrato na blockchain manteria os dados das partes anonimizados, de modo que, os contratos, ainda que resilidos ou extintos, ainda tivessem o registro da relação contratual que uma vez produziu efeitos.

Afinal, lembremos que, de acordo com art. 12 da LGPD¹⁸⁹, os dados anonimizados não são tidos como dados pessoais, vez que, não possuem caráter facilmente identificável dos indivíduos. Desta forma, o registro de dados que passaram pelo processo de anonimização na cadeia imutável da blockchain não violaria a proteção de dados pessoais, e a tecnologia estaria em conformidade com a legislação neste aspecto.

Por fim, relembremos que direito à exclusão de dados não é absoluto, nos termos do art. 16 da LGPD¹⁹⁰, pelo qual, nessas hipóteses os contratos poderiam manter os dados registrados. Todavia, tais hipóteses são em condições específicas, que uma vez finalizadas, o direito do usuário na exclusão dos dados ainda subsiste, portanto, a alternativa de uma *off chain* ou *side chain* registrada sob mesma chave criptográfica da blockchain principal contendo os dados pessoais e sensíveis do usuários, possibilitando sua alteração e exclusão, ainda é o caminho mais viável

¹⁸⁹ Art. 12. Os dados anonimizados não serão considerados dados pessoais para os fins desta Lei, salvo quando o processo de anonimização ao qual foram submetidos for revertido, utilizando exclusivamente meios próprios, ou quando, com esforços razoáveis, puder ser revertido.

¹⁹⁰ Art. 16. Os dados pessoais serão eliminados após o término de seu tratamento, no âmbito e nos limites técnicos das atividades, autorizada a conservação para as seguintes finalidades: I - cumprimento de obrigação legal ou regulatória pelo controlador; II - estudo por órgão de pesquisa, garantida, sempre que possível, a anonimização dos dados pessoais; III - transferência a terceiro, desde que respeitados os requisitos de tratamento de dados dispostos nesta Lei; ou IV - uso exclusivo do controlador, vedado seu acesso por terceiro, e desde que anonimizados os dados.

demonstrado para solver uma problemática de compatibilização entre norma e tecnologia.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A tecnologia blockchain exprime um marco disruptivo na era digital, uma vez que promove um paradigma na forma como as informações são registradas, armazenadas e validadas. A descentralização, a transparência e a imutabilidade, que figuram como seus principais atributos, conferem segurança e confiabilidade aos dados nela inseridos, tornando-a uma alternativa para garantir a autenticidade de registros em diferentes áreas do conhecimento, incluindo o direito contratual digital e a proteção de dados pessoais.

Tais atributos, na óptica contratual, possibilitam a formação de uma plataforma direcionada à gestão de contratos e dados, como ocorre com os contratos inteligentes que possuem cláusulas contratuais cuja execução é automatizada, sem a necessidade de intervenção de terceiros. Ademais, a blockchain permite a criação de testamentos inteligentes, cuja imutabilidade assegura confiabilidade e elimina disputas quanto à autenticidade¹⁹¹ Dessa forma, quando empregada de maneira adequada e em conformidade com os preceitos normativos vigentes, a tecnologia funciona como um instrumento de apoio ao Direito, contribuindo para a modernização das relações jurídicas, a eficiência dos processos e a segurança das informações.

A problemática se origina do fato de que, na era de proteção de dados, que surgiu como resultado da utilização massiva de dados e dos riscos e impactos negativos associados a esse fenômeno, diversas legislações e regulamentações voltadas à proteção de dados pessoais foram implementadas e aprimoradas ao longo dos últimos anos em âmbito global, como é o caso da Lei Geral de Proteção de Dados.

Assim sendo, a mesma estrutura inovadora da blockchain é um obstáculo para sua plena implementação no âmbito jurídico, especialmente no que concerne à

¹⁹¹ SILVEIRA, Gabryella Melo; SILVA, Marcio Roque dos Santos da; LUFT, Maria Conceição Melo Silva; DUARTE, Rodrigo Garcia. Aplicações e possibilidades do blockchain: uma revisão sistemática da produção científica brasileira. In: ISLA 2021 Proceedings Latin America, 9 ago. 2021. Disponível em: <https://aisel.aisnet.org/isla2021/15>. Acesso em: 3 jan. 2025, p. 6.

sua compatibilidade com as citadas normativas de proteção de dados. Afinal, a imutabilidade dos registros inviabiliza o exercício de direitos fundamentais garantidos pela LGPD, principalmente na exclusão de dados, para além do fato de que, a ausência de uma autoridade centralizadora em decorrência da descentralização de informações, dificulta a identificação dos agentes responsáveis pelo tratamento dos dados, criando um ambiente de insegurança jurídica quanto à sua fiscalização e eventual responsabilização.

Tal problemática se estende aos contratos inteligentes, visto que, embora essa modalidade contratual possa vir a tornar uma evolução no campo do direito contratual, introduzindo um novo modelo de negociação e execução automatizada de cláusulas contratuais, tendo em vista que é uma tecnologia programada em blockchain, e elaborada com base em código computacional, também possui a imutabilidade como característica, o que não condiz com os princípios fundamentais do direito contratual tradicional. Afinal, a irreversibilidade das operações, decorrente da imutabilidade da blockchain, impede a revisão contratual, assim como, a falta de flexibilidade na modificação dos termos contratuais contrasta com a dinâmica das relações jurídicas, nas quais a autonomia da vontade e a boa-fé objetiva demandam certa maleabilidade na execução dos contratos.

Outrossim, partindo do ponto vista da proteção de dados pessoais, a automação e descentralização dos smart contracts criam entraves adicionais à conformidade com a Lei Geral de Proteção de Dados, uma vez que, o tratamento de informações pessoais dentro de tal modalidade contratual impossibilita a exclusão, retificação, e anonimização de informações, impedindo portanto, a sua aplicação plena em razão dos impasses com os princípios e disposições normativas.

Não obstante, o ordenamento jurídico não pode permanecer alheio às inovações e à evolução dos institutos jurídicos tradicionais, de forma que, ainda que a natureza descentralizada e imutável da blockchain, e conseqüentemente, dos contratos inteligentes mostrem-se como barreiras à efetivação de direitos fundamentais dos titulares de dados, *a priori*, há soluções pela própria tecnologia blockchain que viabilizem a proteção de dados pessoais, desde que utilizadas estratégias adequadas.

A verdade é que, o modelo distribuído da blockchain possibilita que os usuários exerçam maior controle sobre sua identidade e o compartilhamento de seus

dados pessoais, dado que, viabiliza o controle das informações e dados, que são divulgados de maneira consentida, e dentre os indivíduos da rede, onde o titular estará certificado que não haverá compartilhamento ou tratamento dos seus dados por terceiros não autorizados, além de ser possível rastrear a origem de cada informação.

Ademais, a imutabilidade da tecnologia não é um elemento que condena e impede totalmente a sua integração no ordenamento, há soluções tecnológicas que são capazes de solver o emblemático problema de exclusão de dados da estrutura rígida da blockchain, propiciando a conformidade dos contratos inteligentes com a LGPD neste aspecto. Dentre tais estratégias, destaca-se o *armazenamento off-chain*, que possibilita que dados pessoais sejam armazenados externamente, enquanto apenas seus registros criptografados são mantidos na blockchain, garantindo a efetividade do direito à exclusão e retificação de dados do titular, sem comprometer a integridade do sistema.

No que se refere à extinção dos contratos inteligentes, tendo em vista a estrutura da tecnologia, a qual impede a exclusão ou modificação do contrato após o registro. No entanto, não significa que os efeitos jurídicos do contrato não possam ser encerrados, afinal, a extinção contratual, seja por resilição, inadimplemento, arrependimento ou cumprimento do objeto pode ser garantida com a inserção de metadados ou blocos subsequentes que indiquem de forma clara e transparente o momento e as razões da cessação da eficácia contratual, de modo que não haveriam problemáticas para reconhecer juridicamente a extinção destes, mesmo que mantenham-se ativos e públicos.

Destarte apesar de os contratos inteligentes, a princípio, não estejam plenamente em conformidade com a lei geral de proteção de dados, não é impossível existirem adaptações para garantir um equilíbrio entre segurança, inovação e proteção de dados pessoais, e uma vez adequados ao ordenamento, sem comprometer os princípios essenciais da proteção de dados pessoais, os smart contracts surgem como uma modalidade contratual tecnológica funcionando como um instrumento de segurança, transparência e eficiência.

Portanto, a conformidade dos contratos inteligentes com a LGPD, e os princípios contratuais tradicionais ainda não é uma realidade plena, todavia pode ser alcançada mediante adaptações regulatórias e aprimoramentos técnicos, permitindo

que essa inovação seja utilizada de forma compatível com a proteção dos dados pessoais, principalmente, considerando a autonomia que a tecnologia oferece ao usuário no controle das suas informações, pelo qual, o titular de dados seria a autoridade soberana que monitora as próprias informações.

No presente momento, o principal desafio reside na conciliação entre o avanço tecnológico e o ordenamento jurídico, de forma a garantir que a legislação não impeça o progresso da inovação, e da mesma medida, que o desenvolvimento tecnológico se opere em conformidade com parâmetros normativos que assegurem a tutela dos direitos fundamentais relacionados à proteção de dados pessoais. A tecnologia e o direito não precisam, e nem devem permanecer em lados opostos, é possível que ambas se consolidem como instrumentos complementares na promoção da segurança informacional e da proteção de dados pessoais, a partir de adaptação de ambos os lados, na medida uma adaptação acertada numa tecnologia não prejudica sua finalidade, bem como, não obstaculiza a proteção da privacidade e de dados.

Conquanto haja a possibilidade de adaptação, às discussões sobre a conformidade da blockchain e dos contratos inteligentes com a legislação de proteção de dados ainda são escassos, e exigem aprofundamento técnico e jurídico futuro. Assim, ainda subsiste a necessidade de formulação de análises técnicas formais que permitam a harmonização entre progresso tecnológico e proteção de dados pessoais, uma vez que, da mesma forma que nenhuma inovação pode se sobrepor aos direitos fundamentais, nenhuma regulamentação deve coibir o avanço tecnológico.

REFERÊNCIAS

- ALI, Vizaad; NORMAN, Azah Anir; AZZUHRI, Saaidal Razalli Bin. *Characteristics of Blockchain and Its Relationship With Trust*. IEEE, 9 fev. 2023. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/10041154>. Acesso em: 5 jan. 2025.
- ALVES, Paulo Henrique; LAIGNER, Rodrigo; NASSER, Rafael; ROBICHEZ, Gustavo; LOPES, Hélio; KALINOWSKI, Marcos. *Desmistificando Blockchain: Conceitos e Aplicações*. In: MACIEL, Cristiano; VITERBO, José (Orgs). *Computação e Sociedade*. Sociedade Brasileira de Computação. 2018. Disponível em: <http://www-di.inf.pucrio.br/~kalinowski/publications/AlvesLNRLK20.pdf>. Acesso em: 5 mar. 2025.
- AZEVEDO, Antônio Junqueira de. *Negócio jurídico: existência, validade e eficácia*. 4. ed. atual. de acordo com o novo Código Civil (Lei n.º 40.406, de 10-1-2002). São Paulo: Saraiva, 2002, p. 31-32. Acesso em 25 jan. 2025.
- BARBOSA, Mafalda Miranda. *Blockchain e responsabilidade Civil: inquietações em torno de uma realidade nova*. Revista de Direito da Responsabilidade, 27 fev. 2019. Disponível em: <https://revistadireitoresponsabilidade.pt/2019/blockchain-e-responsabilidade-civil-inquietacoes-em-torno-de-uma-realidade-nova-mafalda-miranda-barbosa/>. Acesso em: 25 dez. 2024.
- BASHIR, Imran. *Mastering blockchain: distributed ledgers, decentralization and smart contracts explained*. Packt: Birmingham, UK, 2017. Disponível em: https://users.cs.fiu.edu/~prabakar/cen5079/Common/textbooks/Mastering_Blockchain_2nd_Edition.pdf. Acesso em: 08 jan. 2025.
- BRASIL. Constituição (1988). Constituição da República Federativa do Brasil de 1988. Brasília, DF: Presidência da República, 2016. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Constituicao/Constituicao.htm. Acesso em: 23 fev. 2025.
- BRASIL. Lei nº 13.709, de 14 de agosto de 2018. Lei Geral de Proteção de Dados Pessoais (LGPD). Brasília, DF: Presidente da república, 2018. Disponível em: www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2015-2018/2018/lei/l13709.htm. Acesso em: 23 fev. 2025.
- BRASIL. Lei nº 10.406, de 10 de janeiro de 2002. Institui o Código Civil. Brasília, DF: Presidente da República: 2002. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/2002/l10406compilada.htm. Acesso em: 24 mar. 2025.
- BURATTO, Luciano. *Panorama da blockchain no Judiciário*. Consultor Jurídico, 20 ago. 2022. Disponível em:

<https://www.conjur.com.br/2022-ago-20/luciano-buratto-panorama-blockchain-judiciario/>. Acesso em: 10 mar. 2025.

CAMARGO, Renan Guilherme. *Alinhamento entre a Blockchain e a Lei Geral de Proteção de Dados Pessoais*. 2021. Trabalho de Conclusão de Curso (Curso Superior de Tecnologia em Segurança da Informação) – Faculdade de Tecnologia de Americana, Americana, SP, 2021. Disponível em: http://ric.cps.sp.gov.br/bitstream/123456789/12765/1/20212S_Renan%20Guilherme%20Camargo_OD1428.pdf. Acesso em: 6 mar. 2025.

CANTALI, Rodrigo Ustároz. *Smart contracts e direito contratual: primeiras impressões sobre suas vantagens e limites*. Revista Jurídica da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, v. 8, n. 3, p. 1529-1566, 2022. Disponível em: https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/7688945/mod_resource/content/1/2022_03_1529_1566%20-%20texto%20smart%20contracts.pdf. Acesso em: 08 jan. 2025.

CARVALHO, Carla Arigony de. ÁVILA, Lucas Veiga. *A tecnologia blockchain aplicada aos contratos inteligentes*. Revista Em Tempo, Marília, v. 18, p. 156–176, 2019. Disponível em: <https://revista.univem.edu.br/emtempo/article/view/3210>. Acesso em: 15 mar. 2025.

CLACK, Christopher D.; BAKSHI, Vikram A.; BOER, Lee. *Smart Contract Templates: foundations, design landscape and reseach directions*. The Company Research Repository (CoRR), 2016, p. 3. Disponível em: https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=3038406. Acesso em: 15 jan. 2025.

COELHO, Fábio Ulhoa. Curso de direito comercial: direito de empresa. 23. ed. rev. e atual. São Paulo: Saraiva, 2011. Disponível em: https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/1745047/mod_resource/content/1/Manual%20de%20Direito%20Comercial%20-%20Fabio%20Ulhoa%20Coelho.pdf. Acesso em: 26 jan. 2025.

DIDIER, Fredie; ALEXANDRIA DE OLIVEIRA, Rafael. *O uso da tecnologia blockchain para arquivamento de documentos eletrônicos e negócios probatórios de acordo com a Lei de Liberdade Econômica*. 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.34280/annep/2020.v1i1.7>. Acesso em: 26 dez. 2024.

EFING, Antonio Carlos; SANTOS, Adrielly Pinho dos. *Análise dos smart contracts à luz do princípio da função social dos contratos no direito brasileiro*. Direito e Desenvolvimento, João Pessoa, v. 9, n. 2. dez. 2018. Disponível em: <https://periodicos.unipe.br/index.php/direitoedesenvolvimento/article/view/755/554>. Acesso em: 08 jan. 2025.

FILIPPI, Primavera de; WRIGHT, Aaron. *Blockchain and the law: the rule of code*. Massachusetts: Harvard University Press, 2018. Acesso em: 27 dez. 2024.

DIVINO, Sthéfano Bruno Santos. *Smart Contracts: Conceitos, limitações, aplicabilidade e desafios*. RJLB, 2018. Disponível em: https://www.cidp.pt/revistas/rjlb/2018/6/2018_06_2771_2808.pdf. Acesso em: 26 dez. 2024.

FORMIGONI FILHO, José Reynaldo; BRAGA, Alexandre Mello; LEAL, Rodrigo Lima Verde. *Tecnologia Blockchain: uma visão geral*. 2017. Disponível em: <https://pt.slideshare.net/slideshow/tecnologia-blockchain-uma-viso-geral-cpqd/75998010#1>. Acesso em: 24 dez. 2024.

HILEMAN, Garrick. RAUCHS, Michael. *Global Blockchain Benchmarking Study*. Cambridge: University of Cambridge: Judge Business School, 2017. Documento técnico. Disponível em: <https://ssrn.com/abstract=3040224>. Acesso em: 27 dez. 2024.

KONESCKI, Luciano Gevaerd. *Smart contracts: tecnologias disruptivas e a regulamentação dos contratos inteligentes no direito brasileiro*. 2023. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Direito) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2023. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/248819/TCC%20-%20Luciano%20Gevaerd%20-%20vers%c3%a3o%20final.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 3 mar. 2025.

KREY, Vinicius Gabriel. *Impactos das legislações de proteção de dados pessoais à tecnologia blockchain*. 2021. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Ciências Jurídicas e Sociais) – Faculdade de Direito, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2021. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/239816/001139417.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 15 mar. 2025.

MELOTTI, Leonardo Marcondes Domingues; BASSO, Micheli; CRUVINEL, Guilherme Ferreira Araújo; NASCIMENTO, Renan Custódio do. *Utilização do sistema blockchain e sua rastreabilidade no agronegócio*. Salvador: UFBA, 2 maio 2023. Disponível em: <https://periodicos.ufba.br/index.php/nit/article/view/50864/29344>. Acesso em: 3 jan. 2025.

MIK, Elza. *Smart contracts: terminology, technical limitations and real world complexity*. Law, Innovation and Technology, v. 9, n. 2, p. 281. 2017. Disponível em: <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/17579961.2017.1378468?journalCode=rli20>. Acesso em: 01 fev. 2025.

NAKAMOTO, Satoshi. *Bitcoin: A Peer-to-Peer Electronic Cash System*. Disponível em: <https://bitcoin.org/bitcoin.pdf>. Acesso em: 28 dez. 2024.

PILKINGTON, F. X.; ZHEGU, M. *Digital transformations: An introduction*. In *Research handbook on digital transformations*. Edward Elgar Publishing. Acesso em 31 dez. 2024.

PONTES DE MIRANDA, Francisco Cavalcanti. *Tratado de Direito Privado*. 4. ed. São Paulo: Revista dos Tribunais, 1984, t. I, p. XX.

REBELO, Maria Paulo. *Os desafios do RGPD perante as novas tecnologias blockchain*. *Revista de Bioética y Derecho*, v. 46, p. 117-131, 2019. Disponível em: <https://scielo.isciii.es/pdf/bioetica/n46/1886-5887-bioetica-46-00117.pdf>. Acesso em: 5 mar. 2025.

RECH, Matheus Bortoluz. *Smart Contracts: formação e aplicabilidade no Direito português*. 2024. Dissertação (Mestrado em Direito e Ciências Jurídicas – Especialidade em Direito Civil) – Faculdade de Direito, Universidade de Lisboa, Lisboa, 2024, p. 67. Disponível em: <https://repositorio.ulisboa.pt/bitstream/10400.5/96398/1/Disserta%c3%a7%c3%a3o%20Matheus%20Bortoluz%20Rech.pdf>. Acesso em 23. jan. 2025.

SAVELYEV, Alexander. *Contract Law 2.0: Smart contracts as the beginning of the end of classic contract law*. *Information and Communications Technology Law*. Vol. 26, n.2, p. 116-134, jan-abr. 2017. Disponível em: https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=2885241. Acesso em: 15 jan. 2015.

SANTOS, Beatriz; SORMANI, Alexandre. *Blockchain e Smart Contracts: Um estudo sobre o futuro certo do mercado jurídico frente às novas tecnologias*. 2021. TCC (Bacharelado) - Curso de Direito da Fundação de Ensino Eurípides Soares da Rocha, São Paulo, 2021. Disponível em: <https://aberto.univem.edu.br/bitstream/handle/11077/2019/TC%20-%20Beatriz%20Santos.pdf>. Acesso em: 30 dez. 2024.

SCHWAB, Klaus. *A Quarta Revolução Industrial*. São Paulo: Edipro, 2016. Disponível em: <https://ria.ufrn.br/jspui/handle/123456789/1826>. Acesso em: 30 dez. 2024.

SELEIRO, Talita Aguiar. *Controle de dados pessoais: a Identidade Blockchain como ferramenta de proteção de dados pessoais*. 2020. Monografia (Bacharelado em Direito) – Universidade Federal de Ouro Preto, Escola de Direito, Turismo e Museologia, Ouro Preto, 2020. Disponível em: https://monografias.ufop.br/bitstream/35400000/2764/2/MONOGRAFIA_ContrôleDadosPessoais.pdf. Acesso em: 3 mar. 2025.

SILVEIRA, Gabryella Melo; SILVA, Marcio Roque dos Santos da; LUFT, Maria Conceição Melo Silva; DUARTE, Rodrigo Garcia. *Aplicações e possibilidades do blockchain: uma revisão sistemática da produção científica brasileira*. In: ISLA 2021 Proceedings Latin America, 9 ago. 2021. Disponível em: <https://aisel.aisnet.org/isla2021/15>. Acesso em: 3 jan. 2025.

SIGRIST, Igor Moreira. *Análise da aplicabilidade e validade dos smart contracts no ordenamento jurídico brasileiro*. 2022. Trabalho de Graduação Interdisciplinar. Universidade Presbiteriana Mackenzie, São Paulo, 2022. Disponível em:

<https://adelpha-api.mackenzie.br/server/api/core/bitstreams/0391c1de-3bfb-44c1-83dd-52b9979dc868/content>. Acesso em: 31 jan. 2025.

SOUSA, Lays Sales. *Uma análise da validade dos smart contracts no direito brasileiro*. 2018. Monografia (Graduação em Direito) — Faculdade de Direito, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2018. Disponível em: https://repositorio.ufc.br/bitstream/riufc/33934/1/2018_tcc_Issousa.pdf. Acesso em: 26 jan. 2025.

SOUZA, Nicolle Bêta de; ACHA, Fernanda Rosa. *A proteção de dados como direito fundamental: uma análise a partir da Emenda Constitucional 115/2022*. Revista Ibero-Americana de Humanidades, Ciências e Educação - REASE, São Paulo, v. 8, n. 09, set. 2022. Disponível em: <https://periodicorease.pro.br/rease/article/view/6822/2667>. Acesso em: 23 fev. 2025.

SPAZAPAN, Karlla Lorrainy Lopes de Barros; CEREZER, Maritza Vestana. *Proteção de dados em redes descentralizadas: Blockchain e a Lei Geral de Proteção de Dados Pessoais (LGPD)*. Congresso Internacional de Direito Aplicado, 5., 2024, Santa Maria. Santa Maria: Insigne Acadêmica, 2024. Disponível em: <https://insigneacademica.com.br/ojs/index.php/anaisdocida/article/view/82/92>. Acesso em: 25 fev. 2025.

STARK, John. *Making Sense of Blockchain Smart Contracts*. CoinDesk, 4 Jun 2016. Disponível em: www.coindesk.com/markets/2016/06/04/making-sense-of-blockchain-smart-contract. Acesso em: 7 Jan. 2025.

SWAN, Melanie. *Blockchain: blueprint for a new economy*. 1. ed. Sebastopol: O'Reilly Media, 2015. Disponível em: https://www.academia.edu/44112222/Melanie_Swan_Blockchain_BLUEPRINT_FOR_A_NEW_ECONOMY. Acesso em: 2 jan de 2024.

TAHERDOOST, Hamed. *Smart Contracts in Blockchain Technology: A Critical Review*. MDPI, vol. 14, no. 2, 13 Feb. 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/info14020117>. Acesso em: 7 Jan. 2025.

TALBOT, Michael. *A brief description of blockchain: why it matters in the real world*. Livro eletrônico. Veracity Tech Academy, 2018. Disponível em: <https://pt.everand.com/book/398227706/A-Brief-Description-of-Blockchain-Why-It-Matters-in-the-Real-World>. Acesso em: 27 dez. 2024.

TARTUCE, Flávio. *Manual de direito civil: volume único*. 5. ed. rev., atual. e ampl. Rio de Janeiro: Forense; São Paulo: Método, 2015, p. 479. Acesso em 25. jan. 2025.

VAIGANDLA, Karthik Kumar; SILUVERU, Mounika; KESOUJU, Madhavi; KARNE, RadhaKrishna. *Review on Blockchain Technology: Architecture, Characteristics, Benefits, Algorithms, Challenges and Applications*. Vol. 2023. ed. [S. l.]:

Mesopotamian journal of Cybersecurity, 24 mar. 2023. Disponível em: <https://journals.mesopotamian.press/index.php/CyberSecurity/article/view/68/86>. Acesso em: 4 jan. 2025.

VIEIRA, William Santos. *Desafios da LGPD: Imutabilidade da Blockchain Pública e Tratamento de Dados Pessoais pela Base Legal de Consentimento*. 2022. Monografia Jurídica (Trabalho de Curso II) – Pontifícia Universidade Católica de Goiás, Escola de Direito, Negócios e Comunicação, Goiânia, 2022. Disponível em: <https://repositorio.pucgoias.edu.br/jspui/bitstream/123456789/5402/1/WILLIAM%20SANTOS%20VIEIRA.pdf>. Acesso em: 3 mar. 2025.

WANDERMUREM, Bruno. *Impacto do blockchain ao direito*. Jusbrasil, 2019. Disponível em <https://brunowandermurem.jusbrasil.com.br/artigos/726303601/impacto-do-blockchain-ao-direito>. Acesso dia: 1 jan. 2025.

WERBACH, Kevin; CORNELL, Nicolas. *Contracts ex machina*. Duke Law Journal, Durhan, v. 67, n. 2, p. 313-382, nov. 2017. Disponível em: <https://scholarship.law.duke.edu/dlj/vol67/iss2/2/>. Acesso em: 8 jan. 2025.

WRIGHT, Aaron; DE FILIPPI, Primavera. *Decentralized Blockchain Technology and the Rise of Lex Cryptographia*. Paris: Yeshiva University and Université Paris II, 2015. Disponível em: <https://ssrn.com/abstract=2580664>. Acesso em: 27 dez. 2024.

WHITE. Cameron; MANORANJAN. Paul. *Blockchain-based image hashing for image authentication*. 2020. Disponível em: <https://arxiv.org/pdf/2004.06860>. Acesso em: 26 dez. 2024.