

PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DE MINAS GERAIS  
Programa de Pós-Graduação em Direito

Fernando Ribas Araújo

**O PROBLEMA DO CONSENTIMENTO EM SMART CONTRACTS**

Belo Horizonte

2024

Fernando Ribas Araújo

## **O PROBLEMA DO CONSENTIMENTO EM SMART CONTRACTS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Direito da Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Direito.

Orientador: Prof. Adriano Stanley Rocha Souza

Área de Concentração: Democracia, Autonomia Privada e Regulação

Linha de Pesquisa: Função Social e Função Econômica das Instituições Jurídicas

Belo Horizonte

2024

FICHA CATALOGRÁFICA

Elaborada pela Biblioteca da Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais

A663p

Araújo, Fernando Ribas

O problema do consentimento em smart contracts / Fernando Ribas  
Araújo. Belo Horizonte, 2024.

122 f.: il.

Orientador: Adriano Stanley Rocha Souza

Dissertação (Mestrado) - Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais.  
Programa de Pós-Graduação em Direito

1. Contratos - Inovações tecnológicas. 2. Contrato eletrônico - Aspectos jurídicos. 3. Tecnologia e direito. 4. Blockchains (Base de dados) - Aspectos jurídicos. 5. Consentimento (Direito). 6. Consentimento (segurança da informação). 7. Direito civil. I. Souza, Adriano Stanley Rocha. II. Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais. Programa de Pós-Graduação em Direito. III. Título.

SIB PUC MINAS

CDU: 347.44

Fernando Ribas Araújo

## **O PROBLEMA DO CONSENTIMENTO EM SMART CONTRACTS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Direito da Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Direito.

Área de Concentração: Democracia, Autonomia Privada e Regulação

Linha de Pesquisa: Função Social e Função Econômica das Instituições Jurídicas

---

Prof. Dr. Adriano Stanley Rocha Souza – PUC Minas (Orientador)

---

Prof. Dr. Eduardo Goulart Pimenta – PUC Minas (Examinador)

---

Profa. Dra. Claudia Mara de Almeida Rabelo Viegas – UNA (Examinadora)

Belo Horizonte, 17 de abril de 2024

## **AGRADECIMENTOS**

Sinto uma imensa gratidão por todas as pessoas que tornaram possível a realização de um trabalho acadêmico, que nunca é feito individualmente.

Primeiramente, devo meu mais sincero agradecimento aos meus pais, pilares sólidos de incentivo e inspiração. Eles nutriram em mim, com dedicação, a resiliência e a aspiração para alcançar os mais nobres objetivos de vida, de trabalho e acadêmicos.

Expresso também profunda gratidão ao meu orientador, Prof. Dr. Adriano Stanley Rocha Souza. Sua atuação como guia aliada à liberdade que me concedeu para explorar um tema tão desafiador foram componentes vitais que enriqueceram o estudo e minha jornada pessoal.

Não posso deixar de expressar minha sincera gratidão aos meus amigos e colegas de profissão que me incentivaram e que me ajudaram a conciliar meus compromissos profissionais com a dedicação necessária para o presente estudo.

A todos que, de diversas maneiras, contribuíram para a realização deste objetivo, minha mais profunda gratidão. Cada palavra de encorajamento, cada gesto de apoio, foram essenciais para a concretização deste importante passo em minha trajetória acadêmica e profissional.

*The best way to predict the future is to invent it.*  
*Alan Kay*

## RESUMO

A evolução tecnológica tem provocado revoluções em variadas esferas como a econômica, política, social, jurídica e filosófica. Nesse contexto, o desenvolvimento do blockchain é emblemático e traz diversas visões de forma a criticar o sistema financeiro, propondo um novo padrão, principalmente econômico, do mundo se organizar, a fim de não depender da suposta ingerência do Estado naquele momento de crise, empoderando os agentes das transações objetivando proporcionar agilidade, redução dos custos de transação, autoexecução, autoverificabilidade e transparência nas transações. Os smart contracts, instrumentalizados pela tecnologia blockchain, em suma, são protocolos informáticos que permitem que um dispositivo execute as prestações de forma autônoma, logo, sem a necessidade de intermediários verificadores com promessa de rapidez, previsibilidade, automação e autotutela. No entanto, a rápida ascensão dessa tecnologia instiga reflexões sobre suas implicações jurídicas. Dessa forma, o presente trabalho buscou analisar as repercussões dos smart contracts à luz do consentimento, adotando uma abordagem qualitativa e o método hipotético-dedutivo, através de análise bibliográfica, jurisprudencial e legislativa. Buscou-se apresentar o conceito e funcionamento da tecnologia blockchain; analisar a problemática do conceito, características, enquadramento jurídico, potenciais e limites do smart contracts; a relação dos smart contracts à problemática do consentimento; potenciais soluções para mitigação dos limites apresentados. Conclui-se que, em que pese o smart contract ainda necessite de maior assentamento jurídico e prático, estes possuem o potencial de revolucionar os processos transacionais, com opções para mitigar suas limitações, mediante utilização diligente por parte dos usuários, considerando suas características intrínsecas.

**Palavras-chave:** Smart Contracts. Direito Civil. Contratos. Consentimento. Blockchain.

## ABSTRACT

Technological advancements have incited revolutions across various domains including economic, political, social, legal, and philosophical spheres. In this context, the emergence of blockchain technology is emblematic, offering diverse perspectives that critique the financial system and propose a new paradigm for global organization. This paradigm aims to mitigate assumed state interference during crisis times, thereby empowering transaction agents to enhance speed, reduce transaction costs, and ensure self-execution, self-verification, and transparency. Smart contracts, facilitated by blockchain technology, essentially are computer protocols enabling devices to execute agreements autonomously, thus eliminating the need for intermediary verification and promising speed, predictability, automation, and self-protection. However, the swift rise of this technology prompts contemplation regarding its legal implications. This work endeavored to scrutinize the repercussions of smart contracts in light of consent, adopting a qualitative approach and a hypothetical-deductive method, through bibliographic, jurisprudential, and legislative analysis. The objective was to elucidate the concept and operation of blockchain technology; examine the issues concerning the definition, features, legal framing, potentials, and limitations of smart contracts; explore the relationship of smart contracts with the issue of consent; and propose potential solutions to mitigate the identified limitations. It is concluded that despite smart contracts requiring further legal and practical grounding, they harbor the potential to revolutionize transactional processes. Options to alleviate their limitations can be realized through diligent utilization by users, bearing in mind their intrinsic attributes.

**Keywords:** Smart Contracts. Private Law. Contracts. Consent. Blockchain.



## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>8</b>
<b>2 O BLOCKCHAIN.....</b>	<b>16</b>
<b>2.1 Contextualização e Funcionamento da Tecnologia Blockchain.....</b>	<b>16</b>
<b>2.2 A Classificação e Evolução da Tecnologia Blockchain.....</b>	<b>22</b>
<b>3 SMART CONTRACTS.....</b>	<b>32</b>
<b>3.1 Contextualização: Aspectos Históricos e Tecnológicos dos Smart Contracts.....</b>	<b>32</b>
<b>3.2 A problemática conceitualização de smart contracts.....</b>	<b>35</b>
<b>3.3 O Funcionamento dos Smart Contracts.....</b>	<b>40</b>
<b>3.4 Tipos de smart contracts.....</b>	<b>46</b>
<b>3.5 Exemplos Práticos do Funcionamento de Smart Contracts.....</b>	<b>48</b>
<b>3.6 Os limites dos smart contracts.....</b>	<b>55</b>
<b>4 O CONSENTIMENTO E OS SMART CONTRACTS.....</b>	<b>62</b>
<b>4.1 O Código é a Lei? A <i>Lex Cryptographia</i>.....</b>	<b>62</b>
<b>4.2 Por que escolher os Smart Contracts? Razões Econômicas.....</b>	<b>64</b>
<b>4.3 O Consentimento e os Smart Contracts.....</b>	<b>68</b>
<b>4.4 Soluções em Potencial.....</b>	<b>77</b>
4.4.1 <i>Templates</i> ou Modelos.....	79
4.4.2 Contratos Ricardianos e Smart Contracts Híbridos.....	81
4.4.3 Oráculos.....	84
4.4.4 Kill Switch ou Botão de Desligar.....	85
4.4.5 <i>Judge as a Service</i> (JasS) e Soluções de Conflito Online.....	88
4.4.6 Regulamentação.....	91
<b>5 CONCLUSÃO.....</b>	<b>93</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A rápida progressão das ferramentas tecnológicas, particularmente na última década, tem impulsionado mudanças notáveis no estilo de vida individual, influenciando várias dimensões da existência, tais como as esferas social, comportamental, política, econômica, comercial, familiar, comunicativa, recreativa, financeira e bancária, para mencionar algumas. A tecnologia tem sido uma solução para questões anteriormente complicadas nestes setores, enquanto simultaneamente origina oportunidades e obstáculos em um universo progressivamente interligado e digital.

O início da tecnologia Blockchain é atribuído a um texto (*whitepaper*) de autoria de Satoshi Nakamoto, publicado em 2008, pseudônimo do criador do Bitcoin, que descreve um sistema de promoção e verificação de trocas que poderia tornar dispensável o intermediário, podendo, pois, prover um mercado confiável e descentralizado de transações e registros eletrônicos.

O referido artigo partiu de uma irresignação latente concernente à subordinação de políticas econômicas irresponsáveis e do comércio na internet de instituições financeiras que atuam como terceiros confiáveis no processamento de movimentações financeiras eletrônicas, diante das vulnerabilidades decorrentes e recorrentes de um sistema baseado na confiança tradicional, apresentando o funcionamento da tecnologia blockchain como uma proposta para a solução do dilema do gasto duplo.

Idealizado por Nick Szabo na década de 1990 e utilizando-se do encontro com a tecnologia blockchain, os *smart contracts* estão sendo utilizados para memorizar, via software, totalmente ou parcialmente transações em que as partes contratam arranjos dinâmicos e que são potencialmente mais difíceis de serem burlados e/ou inadimplidos. Em regra, a execução das prestações é efetivada sem qualquer ação ou omissão dos contratantes, isto é, os termos acordados são basicamente autoexecutáveis.

No cenário contemporâneo, cada vez mais digital, emerge uma nova fronteira de investigações científicas que se debruçam sobre a intersecção entre tecnologia e direito com uma metamorfose significativa em várias facetas jurídicas, impulsionada primariamente pela digitalização de processos. Um dos reflexos mais notáveis reside na transição dos contratos para o domínio digital, com uma atenção especial voltada para contratos de adesão.

A digitalização não somente transportou a formalização contratual para o mundo virtual, mas instigou uma profunda reflexão sobre como as nuances do mundo digital interagem com os princípios jurídicos estabelecidos. Como será apresentado no presente estudo, a migração de

acordos para o ambiente digital, e a subsequente interação com as nuances de uma globalização incessante, já tem suscitado um diálogo robusto a fim de conciliar o respectivo avanço tecnológico e o ordenamento tradicional.

No entanto, mesmo com o processo digitalização irreversivelmente em andamento, a essência dessas modalidades contratuais ainda é profundamente enraizada nas premissas do mundo físico e tradicional. Isso é evidenciado principalmente pela persistência de elementos jurídicos tradicionais, como a articulação de termos em linguagem natural, a garantia de opções de revogabilidade e a incorporação de uma terceira parte imparcial, como o Poder Judiciário, por exemplo, para tentar conciliar e/ou decidir, assim como para modular os efeitos contratuais. A continuidade desses elementos clássicos sinaliza a complexidade e, talvez, a resistência intrínseca do domínio jurídico à onda de digitalização, destacando a necessidade de uma análise jurídica mais aprofundada e adaptada a esta nova realidade digital.

Nesse sentido, o advento dos smart contracts promete transcender as fronteiras tradicionais, promovendo uma execução de termos automatizada, eficiente, transparente e segura, eliminando a necessidade de intermediários e, em tese, reduzindo os riscos de inadimplência e fraude. A evolução tecnológica inaugura modalidades inovadoras de contratação, reconfigurando as concepções tradicionais de Consentimento e Autonomia Privada. Operando por meio de protocolos autoexecutáveis codificados na tecnologia blockchain, os smart contracts asseguram a implementação automática das estipulações contratuais, uma vez que as condições previamente acordadas sejam satisfeitas, potencialmente eliminando a necessidade de intermediários confiáveis. Utilizando-se do encontro com a tecnologia blockchain, os *smart contracts* são utilizados para memorizar, via software, totalmente ou parcialmente transações em que as partes contratam arranjos dinâmicos e que são potencialmente mais difíceis de serem burlados e/ou inadimplidos. Em regra, a execução das prestações é efetivada, absoluta ou parcialmente, sem ação ou omissão dos contratantes e de terceiros, isto é, o contrato é basicamente autoexecutável.

Os smart contracts, embora inovadores e promissores em muitos aspectos, trazem consigo desafios particulares no que tange à manifestação de consentimento. O rigor técnico e a automatização que caracterizam esses termos autoexecutáveis levantam questões sobre a capacidade das partes de compreender plenamente os termos codificados e as consequências jurídicas que podem advir. Além disso, a irreversibilidade e a imutabilidade associadas à tecnologia blockchain também suscitam preocupações sobre a flexibilidade e a possibilidade de revisão ou rescisão dos contratos em casos de vício de consentimento ou mudanças imprevistas de circunstâncias.

Em um contexto global progressivamente acelerado e permeado pela digitalização, observa-se uma evolução da visão de consentimento, como, por exemplo, de maneira como os termos de uso de aplicativos e plataformas são concebidos e aceitos. Frequentemente, os usuários se veem compelidos a consentir tacitamente com extensos e complexos termos legais para acessar os serviços e funcionalidades oferecidos pelas referidas plataformas. Tal consentimento, muitas vezes, é concedido sem uma compreensão clara e consciente do conteúdo e das implicações jurídicas embutidas nesses termos, evidenciando uma tendência de aceitação superficial e automatizada, que vai além da mera concordância formal com as condições estabelecidas para a utilização de recursos tecnológicos.

No âmbito dos smart contracts, em que os protocolos digitais autônomos tomam decisões em nome dos usuários, as consequências desse tipo de consentimento podem ser imprevisíveis e profundamente impactantes, variando conforme as especificidades e variáveis do contexto no qual o respectivo protocolo digital é aplicado. Da mesma forma, sob uma perspectiva otimista, os smart contracts poderão oferecer substancial economia dos custos de transação em negócios jurídicos pela desnecessidade, por exemplo, do intermediário confiável e do judiciário para fazer valer os termos de compromissos firmados em transações internacionais.

Esses desafios demandarão uma análise meticulosa no decorrer da pesquisa. Questões como a formação da relação jurídica sob a perspectiva do consentimento, a dificuldade de interpretar intenções além do texto codificado, e o impacto adverso na avaliação individualizada e particularizada de cada caso são aspectos que necessitarão de uma exploração densa.

Em qualquer sociedade, o contrato manifesta-se como um instrumento jurídico destinado a solucionar um problema de confiança mútua em transações estendidas no tempo. Todavia, as complexidades envolvidas na formação, cumprimento e execução dos contratos não apresentam uniformidade transnacional. Dilemas que podem encontrar solução através dos smart contracts, podem catalisar uma transformação substancial a depender da conjectura que a sociedade vive, influenciada pelas peculiaridades de seu mercado consumidor, estrutura governamental e ambiente corporativo.

Por outro lado, o conceito de consentimento tem sido um pilar fundamental nas transações com repercussão jurídicas desde os primórdios do Direito Civil. Historicamente, o consentimento tem sido visto como uma manifestação da autonomia individual, permitindo às partes envolvidas expressar voluntariamente sua concordância e comprometimento com os termos e condições estabelecidos em um contrato. Na tradição romano-germânica, que profundamente influencia o Direito Brasileiro, o consentimento sempre foi considerado uma

pedra angular para a validade e eficácia dos contratos. A ausência de consentimento livre e esclarecido, ou a sua viciação por erros, coação, dolo, entre outros, poderia levar à nulidade ou anulabilidade do acordo.

Remontando às origens históricas, o consentimento foi moldado e refinado através dos séculos, adaptando-se às transformações sociais, econômicas e tecnológicas. Na sua essência, o consentimento é uma concordância voluntária, informada e intencional com as propostas contratuais, formando o substrato do qual emergem os direitos e obrigações. É um processo dinâmico que envolve uma avaliação e decisão conscientes por parte dos contratantes, garantindo que sua autonomia seja preservada e respeitada, dentro dos limites da Lei.

Diante de tantas repercussões mister se faz pensar o blockchain para além de uma tecnologia facilitadora de sistemas já existentes, verificando seu potencial para instauração de novas formas de negociação, contratação, e de organização econômica, tendo em vista a possibilitação de descentralização e difusão de informações, empoderamento de atores envolvidos nos seus respectivos eventos, contribuição para sistemas de governança e até mesmo o potencial para criação de novos mercados. É notável que se trata de uma tecnologia disruptiva o suficiente, em determinadas ocasiões, para instituir novos modos de sociabilidade e de coordenação econômica antes não factíveis por dinâmicas tradicionais de contratação, mercado e de governo.

Alguns defensores apostam que os smart contracts representam uma quintessência pura do princípio jurídico *pacta sunt servanda*, visto que concretizam uma fusão inédita entre a estipulação dos termos acordados, sua adimplência e, quando necessária, sua execução forçada em face de inadimplemento, observando-se com rigor o que previamente se delineou no código-fonte do instrumento. No panorama emergente, exemplificativamente, diversos intermediários tradicionais tais como o Poder Judiciário, instituições financeiras e operadores jurídicos, poderiam ser preteridos, visando a uma concretização mais célere, transparente, segura e com menores custos de transação do acordo estabelecido.

Por um viés menos otimista, ressalta-se o perigo iminente de se alcançar um desfecho não intencionado por uma ou todas as partes contratantes, podendo ser catastrófico e irreversível em uma operação digital, mormente quando há envolvimento de recursos financeiros, acessos a contas bancárias, títulos de propriedade e tokens digitais.

Observa-se uma crescente inclinação da comunidade jurídica internacional em explorar os smart contracts nos últimos anos, considerando-se que, principalmente pelo olhar do Direito Brasileiro, em que parece estar em uma fase nascente, indica considerável espaço para desenvolvimento de pesquisa acadêmica. Além do mais, percebe-se um excessivo foco,

inclusive internacional, em tentar enquadrar ou não os smart contracts como contratos sob a perspectiva tradicional da Teoria Geral dos Contratos, enquanto há potencial riqueza a ser explorada para além da dicotomia contratual tradicional, estudando como os smart contracts podem desafiar, complementar ou até reconfigurar as normativas jurídicas vigentes, assim como, por exemplo, a automatização inerente aos smart contracts pode suscitar questões sobre responsabilidade, consentimento e verificação, demandando uma análise jurídica e acadêmica meticulosa.

A indagação “um smart contract é um contrato?” encobre o cerne da análise, que precede a própria questão: um smart contract que possua repercussões jurídicas proporciona o exercício do consentimento na forma jurídica comparativamente aos contratos tradicionais? Se a resposta for negativa, como o consentimento se correlaciona com as funções e a operacionalização dos smart contracts? Pode-se afirmar que ao se resolver o problema da confiança, houve detrimento na concepção de consentimento nos smart contracts? Quais as possíveis soluções? Esta investigação, ao perscrutar a interseção entre a voluntariedade consensual e a rigidez operacional dos smart contracts, busca desvelar nuances que possam contribuir para a evolução pragmática e teórica do Direito Contratual na era digital.

Importante destacar a hipótese de que, se os smart contracts poderia operar de maneira fundamentalmente alheia ao ordenamento jurídico, equiparando os smart contracts a transações financeiras como PIX ou depósitos online, ou ainda como cláusulas autoexecutórias. Contudo, a análise do conteúdo funcional dos smart contracts e seu impacto no Direito é pertinente no cenário jurídico, visto que podem ser empregados em cenários anteriormente regidos por contratos tradicionais.

Uma parcela os smart contracts ainda estão, nominalmente, subordinados ao ordenamento jurídico, já que os referidos smart contracts constituem negócios jurídicos capazes de criar, alterar ou extinguir direitos juridicamente relevantes, o que demanda uma análise meticulosa de seu impacto disruptivo, expondo novos riscos e vantagens. Referido postulado é corroborado atentando-se que o conceito de smart contract influencia a constituição do substrato de confiança entre as partes e incide sobre os elementos de sua exequibilidade e descumprimento é incontestado que há uma espécie de superposição funcional que legitima e sustenta uma sistematização teórica do instituto tecnológico sob a ótica jurídica.

Esta pesquisa se propõe a explorar os mecanismos operacionais e funcionais na interseção dos supracitados smart contracts com o blockchain; conjuntamente, ao elucidar suas características distintivas, como imutabilidade, descentralização e anonimato, questiona-se como estas podem apresentar vantagens e riscos jurídicos ao consentimento tradicional,

lançando luz sobre um campo jurídico até então pouco explorado e altamente promissor para uma compreensão mais profunda da interação entre o direito e a tecnologia emergente.

Tecnologias disruptivas, intrinsecamente, desafiam a conformidade com as premissas jurídicas estabelecidas, exemplificado pela controvérsia global entre Uber e as legislações trabalhistas. Em face da análise de uma tecnologia emergente e evolutiva, a construção de um arcabouço analítico científico robusto é uma tarefa árdua. No entanto, percebe-se a prospectiva de elaborar uma investigação que possa discernir os pontos nodais de conflitos e soluções dos smart contracts em contraponto ao consentimento. Desse modo, o estudo que se propõe a conduzir parte do pressuposto que os smart contracts introduzem uma disrupção no direito contratual brasileiro, tendo como cerne hipotético a capacidade dos smart contracts de atenuar algumas questões de confiabilidade inerentes aos contratos tradicionais, assegurando a execução automática das cláusulas acordadas.

À medida que a tecnologia em questão amadurece, tornam-se evidentes tanto os desafios quanto as possibilidades que ela oferece, em virtude de suas promessas de abordar questões como a falta ou ineficiência de rastreabilidade nos processos de produção, a validação de cláusulas contratuais por meio de votação das partes, a automatização de tarefas burocráticas administrativas e/ou empresariais, a redução do tempo de negociação, bem como a implementação autoexecutável das disposições acordadas e, igualmente, em situações de inadimplemento.

Este estudo, cabe ressaltar, não se destinará a uma análise abrangente de modelagem econômica com o intuito de averiguar se os smart contracts têm a capacidade de dirimir questões em negócios jurídicos e remediar desafios de validade jurídica e falhas de mercado com mais eficácia, quando comparados aos contratos tradicionais, considerando os objetivos de fomentar a cooperação eficaz entre as partes.

Os smart contracts, como nova forma de transacionar, exigem uma reavaliação e discussão rigorosa da noção consentimento: a formalização tradicional através de assinaturas, seja de forma física ou digital, e acordos articulados em linguagem clara e compreensível, geralmente, não se fazem presentes; e que, por ser um protocolo digital previamente estabelecido que, autonomamente, executa e assegura o cumprimento das obrigações acordadas, baseia-se nas variáveis definidas no momento da inicialização e da execução do protocolo digital.

Considerando o panorama de ruptura tecnológica e as possíveis consequências jurídicas advindas dos smart contracts, a presente pesquisa adota a terminologia "contrato tradicional"

para designar os contratos convencionais, quer sejam em formato papel ou eletrônico, que são hodiernamente empregados e que não se enquadram na categoria de smart contracts.

O marco teórico central deste trabalho é fundamentado nas contribuições de Nick Szabo como idealizador dos smart contracts. A verificação da aplicabilidade prática dos smart contracts será conduzida em uma escala internacional através de uma análise documental rigorosa e, paralelamente, o presente estudo empreenderá uma pesquisa descritiva, através da inspeção e análise meticulosa de documentos e legislações pertinentes aos smart contracts, bem como uma avaliação da prática contemporânea desses instrumentos digitais.

Neste estudo, adota-se uma abordagem de pesquisa bibliográfica, que abarca tanto a literatura jurídica brasileira quanto a internacional, com uma ênfase particular nos Estados Unidos e União Europeia, visando elucidar os aspectos benéficos inerentes ao tema investigado, por meio de uma lente qualitativa. A investigação será alicerçada adicionalmente em uma análise crítica e qualitativa da doutrina pertinente e do ordenamento jurídico, valendo-se do método hipotético-dedutivo.

Como dito, a predominância da doutrina concernente ao tema em questão é de origem dos Estados Unidos, região onde o arcabouço jurídico difere do brasileiro, sendo embasado em um sistema legal estruturado sobre o *Common Law*, que demanda a presença do *consideration* como um elemento contratual indispensável, o qual englobaria, de certa forma, o consentimento pelo ordenamento jurídico brasileiro. Em que pese a distinção apresentar um desafio, ao mesmo tempo oferece uma oportunidade para uma análise comparativa enriquecedora.

A exigência de uma perspectiva interdisciplinar é imperativa, especialmente no que concerne à integração com a ciência da computação, para decifrar e elucidar o funcionamento dos smart contracts, e com a economia, para uma análise crítica dos mecanismos operacionais tanto dos contratos tradicionais quanto dos smart contracts e consentimento.

Por fim, apesar dos esforços notáveis de alguns autores em sistematizar estas nomenclaturas na língua portuguesa, opta-se por preservar a denominação original para evitar ambiguidades e alinhar-se ao discurso acadêmico estabelecido no âmbito internacional, incluindo aqueles em português. Escolhe-se, pois, utilizar o termo smart contracts no presente estudo em sua língua original, o inglês, assim como escolhe utilizar o termo original blockchain para a respectiva tecnologia. A tradução literal de smart contracts para a Língua Portuguesa como “contratos inteligentes”, como geralmente ocorre, é rasa, já que *smart* não é necessariamente sinônimo de *intelligent* em inglês e pode induzir a equívocos, associando-os erroneamente a contratos eletrônicos convencionais que não possuem a característica de execução autônoma, distintiva dos smart contracts. Contrariando o senso comum, a definição



de *smart* parece bastante adequada. A palavra *smart* provém do latim "intelligere", que significa "escolher entre" (Rey, 1992). Dado que os smart contracts automatizam a escolha conforme condições pré-definidas, eles são *smart* no sentido original do termo. Dada a natureza disruptiva e embrionária deste instrumento tecnológico, antecipa-se uma evolução significativa em seu escopo e potencial nova contextualização de seu ambiente operacional. No referido cenário, a manutenção da nomenclatura original facilita uma aproximação mais precisa à essência e à conotação objetiva do termo.

## 2 O BLOCKCHAIN

A concepção atual dos smart contracts tem como fundamento a tecnologia blockchain, uma vez que as principais características da última convergem para as promessas fundamentais dos smart contracts. Em que pese o surgimento da teorização dos smart contracts tenha ocorrido antes da criação da tecnologia blockchain, para fins científicos de exposição, passa-se a examinar o último, já que a tecnologia possibilitou a concretização do primeiro. O blockchain, como será aprofundado a seguir, cuja primeira e mais conhecida aplicação é o Bitcoin, consiste em uma base de dados criptografada e distribuída por meio de um livro-razão compartilhado pela rede, tornando-se um repositório de informações público, em tese incorruptível e irreversível. Essa inovação possibilitou que partes, que se conhecem ou não, estabeleçam relações de consenso sobre eventos e transações sem depender da validação e certificação de uma autoridade centralizadora, permitindo o desenvolvimento de iniciativas pautadas pela descentralização, transparência e controle direto dos *stakeholders* envolvidos. Dessa forma, o Blockchain viabilizou um ambiente propício para a concretização de *Smart contracts*, que se baseiam nesses princípios para oferecer soluções transacionais eficientes e seguras (DE FILIPPI, 2018).

O Blockchain é uma realidade global: a capacidade de alinhar criptografia, mecanismos de consenso e redes ponto-a-ponto (*Peer-to-Peer* ou P2P) faz com que os indivíduos, com segurança, não necessitem mais de um intermediário para registro e/ou transferência, de forma pseudônima ou não, de ativos valiosos, moedas digitais, títulos de propriedade, e ainda, facilitando a criação dos conhecidos smart contracts.

### 2.1 Contextualização e Funcionamento da Tecnologia Blockchain

Na década de 1970, surgiram ideias inovadoras de um conjunto de programadores, inspirado no movimento *cyberpunk*, com filosofia libertária ao defender a noção de que a sociedade se tornaria mais próspera com intervenção mínima ou inexistente na vida dos indivíduos. Nesse contexto, a convicção era de que através da aplicação de métodos criptográficos, o indivíduo poderia tomar poder para si, assegurando melhor privacidade e individualidade, em detrimento da dependência do Estado (NARAYANAN, 2016) e/ou de entidades intermediárias como instituições financeiras. Diante do desenvolvimento industrial à época, existia um receio de que, sem uma regulamentação equilibrada, governos e entidades poderosas poderiam exercer um monitoramento invasivo sobre a população, inclusive

econômico (DE FILIPPI, 2018). Parte dessa visão envolvia a inovação de uma moeda desvinculada de autoridades estatais, isto é, descentralizada.

Por outro prisma, a atuação de entidades terciárias nas interações humanas é profundamente enraizada na questão da confiança, sendo crucial em diferentes contextos como acordos, transações, negociações e transferências de ativos. Instituições como bancos, sistemas de crédito, o Estado, o Poder Judiciário e cartórios emergiram como respostas à necessidade de ampliar a confiança nas relações humanas, visando otimizar o desempenho e a realização dos objetivos almejados nessas interações. Na ausência de uma figura terciária validadora, tais relações podem ser envoltas em incerteza, comprometendo a integridade e eficácia dos arranjos estabelecidos (BAMBARA; ALLEN, 2018).

O blockchain surge com a proposta de eliminar a necessidade do terceiro verificador tradicional, como autoridade central, desafiando sua função de autenticar, monitorar e gerenciar as relações humanas. Transfere-se, assim o fator confiança, antes depositado em entidades terciárias, para os algoritmos computacionais e, por extensão, aos que os criaram (FINCK, 2018). Ao fazer isso, o blockchain reconfigura a dinâmica de confiança nas interações humanas, apresentando uma alternativa descentralizada e codificada para a validação e supervisão das transações.

No ano de 2008, a tecnologia blockchain teve seu início de forma emblemática com o Satoshi Nakamoto (Davidson; De Filippi; Potts, 2016), pseudônimo do criador da bitcoin, publicou um *whitepaper* com o objetivo de apresentar uma versão *peer-to-peer* (Durante; Duarte, s.d.) de dinheiro virtual permitindo pagamentos, sem necessidade de instituição financeira, fossem enviados de uma parte a outra. A descentralização permitiria que usuários tenham acesso a uma rede que não possui um ponto central que exerça poder sobre os demais, em qualquer lugar do mundo, de forma auditável e segura (Nakamoto, 2008).

De forma breve, o *whitepaper* propõe que seria desnecessária se a validação da transação por algo semelhante ao certificado digital, já que cada um dos proprietários de bitcoins recebe uma chave privada, de conhecimento pessoal e sigiloso, e outra pública, de conhecimento de todos da rede. Quando um usuário decide transferir um valor, seja por compra de produto, por exemplo, o usuário de origem inicia uma transação que contém a chave pública do destinatário, mas codificada com a chave privada do usuário de origem. Os mais diversos operadores da rede distribuída, os validadores da transação na rede, podem verificar que a transação se encontra assinada com a chave privada e garantem o consenso e confiam na transação. Como cada fração da moeda possui identificação única, garante-se a unicidade dos valores transmitidos, validando-se apenas para aquela operação. A transferência de propriedade do bitcoin torna-se

registrada, carimbada com data e hora e publicizada em um “livro-razão”, denominado blockchain, que contém uma cabeçalho histórico contendo todas as informações necessárias que “encapsulam” a criptomoeda, garantindo-lhe a credibilidade da existência dos atores envolvidos e autenticidade da transação (Antonopoulos, 2017).

O Bitcoin por sua natureza é descentralizado, tendo em vista sua emissão estar bloqueada pelos validadores já existentes na rede que validam a própria transação. Adicionalmente, a criptografia (um conjunto de regras que visam garantir a inviolabilidade do seu conteúdo) é tecnologia essencial no referido ambiente, visto que permite a confiança das partes envolvidas já que é o carimbo do proprietário, mitigando o risco de fraudes dentro do sistema.

“[...]A verdade é que o blockchain foi criado para o bitcoin, mas se mostrou algo muito mais amplo do que `apenas` um sistema gerador de confiança em transações envolvendo criptomoedas” (PIMENTA, 2020, p. 218). Isso se dá por suas características únicas de funcionamento que se passa a descrever.

A estrutura do blockchain é delineada por três componentes ou atributos centrais: a) o livro-razão (ou *ledger*); (b) a distribuição e descentralização do livro-razão; (c) o consenso. Em conjunto, esses elementos engendram um procedimento que assegura confiabilidade, independente da presença de uma autoridade central ou agente específico. Dessa forma, os usuários podem confiar na autenticidade, exatidão, e unicidade das transações realizadas no blockchain (WERBACH; CORNELL, 2017).

A etapa de registro de todas as transações em uma espécie de “livro-razão”, público e distribuído, é o chamado blockchain. De forma simplificada, uma "corrente" de blocos, que pode ser visualizado como um grande banco de dados, contendo o histórico de todas as transações e validações por uma rede de computadores distribuídos (WERBACH; CORNELL, 2017).

O livro-razão (*ledger*) evolui e expande continuamente à medida que novas transações autorizadas são integradas a ele de maneira regular. Uma transação é representada por uma instrução criptograficamente assinada no blockchain – por exemplo, no contexto do Bitcoin, essa instrução pode facilitar a transferência dos *tokens* denominados Bitcoins. Contudo, com a evolução tecnológica, outras gerações que utilizam a concepção de blockchain foram criadas possibilitam operações mais sofisticadas, incluindo aquelas vinculadas a ativos existentes no mundo real e, inclusive, os smart contracts. Esta flexibilidade demonstra a capacidade do blockchain de adaptar-se a variados cenários e operações, o que amplia seu potencial de

aplicação além das criptomoedas, englobando uma gama diversificada de transações e interações no ambiente digital.

As transações ocorrem mediante a utilização de duas ou mais chaves públicas criptográficas, sendo validadas por assinaturas criptográficas seguras, as quais são geradas utilizando as chaves privadas de todas as partes envolvidas. Os blocos de transações são concebidos através do agrupamento de transações correlatas. Cada bloco incorpora uma referência condensada ao bloco precedente, conhecida como *hash* criptográfico, assegurando a sequencialidade apropriada dos blocos (WERBACH, 2018). A afirmação de que os blocos não operam em isolamento uns dos outros implica em reconhecer que estão interligados através da função *hash*, um mecanismo elucidado por Bruce Schneier como uma espécie de "assinatura digital", capaz de destilar fragmentos de dados para representar digitalmente estruturas de dados mais robustas. Schneier destaca a característica unidirecional da função *hash*, na qual, apesar de qualquer objeto digital poder ser processado para gerar um valor *hash* correspondente, é impraticável que dois objetos digitais distintos, a menos que sejam réplicas exatas, compartilhem o mesmo valor de *hash* (SCHNEIER, 2004).

Essa interconexão é materializada na maneira como cada bloco retém o valor *hash* do bloco precedente, estabelecendo uma relação de ancestralidade e descendência entre eles, referidos como bloco parental e bloco filial, respectivamente. O valor *hash* do bloco parental é incorporado no cálculo do *hash* do bloco filial, criando uma cadeia interdependente de verificações criptográficas. Assim, qualquer tentativa de alterar as informações contidas em um bloco implicaria na necessidade de reavaliar os valores *hash* de todos os blocos anteriores, desencadeando um efeito cascata de revalidações criptográficas (ANTONOPOULOS, 2017).

Ao iniciar a apresentação da segunda e terceira características do funcionamento do blockchain (a distribuição e descentralização do livro-razão, assim como do consenso) é imprescindível explicar o conceito de *proof-of-work*. Ao calcular o *hash* de um novo bloco para incorporação à cadeia, é necessário solucionar, através de um método iterativo de tentativa e erro, uma prova de trabalho (*proof-of-work*), equivalente a um desafio matemático. O procedimento de solução é conhecido como mineração (*mining*), sendo executado pelos nós ou mineradores (*nodes* ou *miners*) da rede, que são, na essência, os usuários do blockchain. Notavelmente, não existe uma hierarquia entre eles, consolidando uma arquitetura de rede horizontal, conhecida como *Peer-to-Peer* (DE FILIPPI, 2018).

Figura 1 - Demonstração gráfica de um sistema centralizado, descentralizado e distribuído<sup>1</sup>



O blockchain, sendo primordialmente um banco de dados distribuído, também é referida como tecnologia de registro distribuído (*distributed ledger technology*). Os nós congregam, em um novo bloco (*candidate block*), as transações ainda pendentes de registro na cadeia, e iniciam a tarefa de solucionar a respectiva prova de trabalho. Ao alcançarem a solução, a disseminam pela rede, permitindo que os outros nós verifiquem tanto a correção da solução quanto a validade das novas transações. Confirmadas as veracidades, o novo bloco é, então, anexado à cadeia (ANTONOPOULOS, 2017).

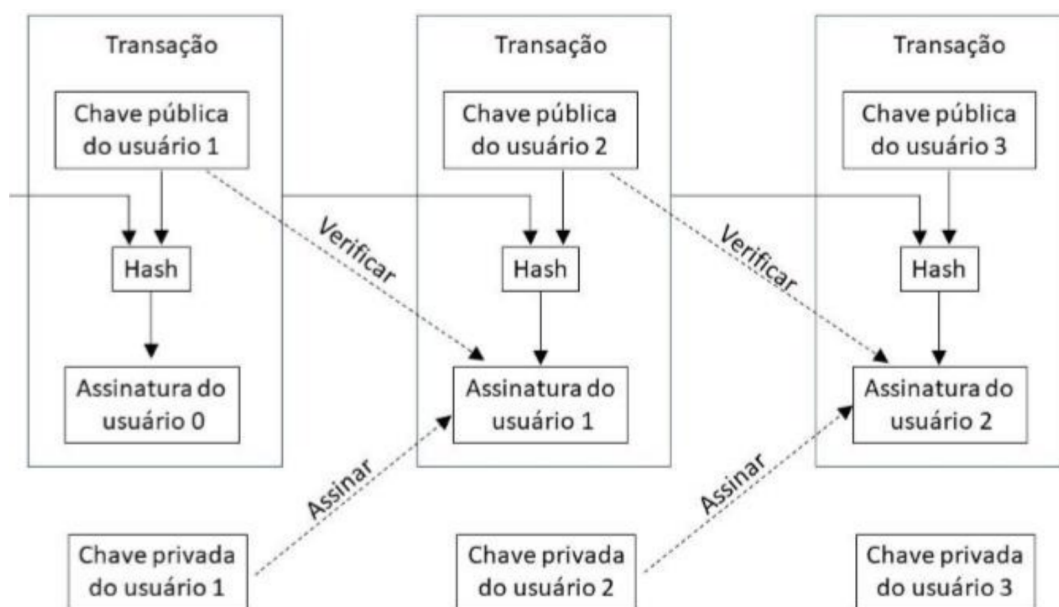
Em resumo, não há um aplicativo que deve ser instalado para ter acesso ao sistema; o próprio arquivo que detém as informações é um sistema em si, descentralizado. Uma arquitetura descentralizada ou distribuída de registro digital facilita a manutenção de um registro uniforme de informações por um incontável número de computadores, eliminando a necessidade de recorrer a uma cópia mestre única. Diferentemente de sistemas centralizados tradicionais, na mencionada estrutura, não há uma cópia mestre centralizadora (WERBACH e CORNELL, 2017), tampouco um servidor central governamental ou de uma empresa.

A terceira característica (o consenso) aproveita o incentivo dado aos mineradores na concepção do *proof-of-work*, tendo em vista que recompensas financeiras são atribuídas aos participantes que logram êxito em apresentar um novo bloco de dados. À medida que mais valor é imputado no sistema e o número de entes interessados aumenta, a resiliência do sistema em face de adversidades também se eleva. Uma das nuances intrigantes das estruturas blockchain reside na perspectiva de que a gratificação financeira seja executada mediante uma moeda

<sup>1</sup> Tradução do autor. RESEARCHGATE. **Blockchain Technology & Recordkeeping** Scientific Figure. Disponível em: [https://www.researchgate.net/figure/A-comparison-of-the-topography-of-centralized-decentralized-and-distributed-networks\\_fig2\\_333659272](https://www.researchgate.net/figure/A-comparison-of-the-topography-of-centralized-decentralized-and-distributed-networks_fig2_333659272). Acesso em 13 de junho de 2023.

criada e empregada intrinsecamente ao sistema. Antecipa-se que a contribuição voluntária de tarifas pelo mercado, visando a execução de transações, perpetuará a operacionalidade do sistema, incentivando os participantes a investir a energia e o empenho necessários para a sustentação do consenso em transações futuras (WERBACH; CORNELL, 2017). Ao serem corroborados os blocos válidos, os mineradores são impelidos a mobilizar o máximo de capacidade de processamento ao seu alcance para validá-los, visto que isso amplifica suas probabilidades de angariar a recompensa do bloco (GRIMMELMANN, 2019). Novos blocos são incorporados ao livro-razão e ratificados pelo consenso se o ator lograr êxito em solucionar o desafio criptográfico antes de seus pares. O encadeamento de cada bloco ao seu predecessor implica que, conforme a cadeia se alonga, o grau de complexidade para modificar uma sequência de transações pregressas se amplifica (WERBACH; CORNELL, 2017).

Figura 2 - Exemplo de funcionamento do blockchain<sup>2</sup>



Portanto, qualquer entidade que almeje adulterar o livro-razão necessitará cooptar um contingente significativo de participantes, ao invés de um único, para alcançar seu intento. O algoritmo de consenso, alicerçado em rigorosas restrições matemáticas, eleva substancialmente a dificuldade de alterações unilaterais no *ledger*, sobretudo quando há um consenso contraposto robusto. Nenhum ente detém domínio ou capacidade de manipulação sobre o livro-razão,

<sup>2</sup> RESEARCHGATE. **Análise de Mecanismos para Consenso Distribuído Aplicados a Blockchain**. Disponível em: [https://www.researchgate.net/figure/Figura-33-Exemplo-de-aplicacao-do-Blockchain-ordem-relativa-das-transacoes-revela-o\\_fig3\\_338913728](https://www.researchgate.net/figure/Figura-33-Exemplo-de-aplicacao-do-Blockchain-ordem-relativa-das-transacoes-revela-o_fig3_338913728). Acesso em 16 de julho de 2023.

portanto, alega-se que o blockchain não possui o terceiro verificador. Novos blocos são incorporados ao livro-razão e ratificados pelo consenso se o minerador lograr êxito em solucionar o desafio criptográfico antes de seus pares. A ausência de controle ou manipulação por qualquer entidade sobre o livro-razão reforça a característica de desintermediação do blockchain, excluindo qualquer necessidade de intermediação (WERBACH; CORNELL, 2017).

Na tecnologia blockchain, os dados (token, imagem, smart contract, entre outros exemplos) que se deseja transmitir é de fato registrado em uma transação, que é minerada em um bloco juntamente com outras transações. Um endereço é atribuído ao dado e cada bloco recebe um valor *hash* que representa todas as transações que contém. Esse valor *hash* do bloco 1 é sistematicamente registrado no bloco 2, e assim sucessivamente. Alterações mínimas em um bloco geram um novo valor *hash*, invalidando assim toda a cadeia (MIK, 2017).

O protocolo da maioria das blockchains de prova de trabalho valida a cadeia com o maior trabalho realizado. Para alterar a história de registros do blockchain, seria preciso superar o poder computacional de todos os mineradores e ter a maioria deles concordando com a história alterada. Fazer isso, como um ataque de mais da metade deles, seria custoso e praticamente impossível em blockchains públicas e não permissionadas, dada a quantidade de mineradores. Assim, o trabalho coletivo dos mineradores assegura uma imutabilidade prática, que é uma característica forte e emergente do blockchain. Quanto mais usuários um blockchain tiver, mais ele se torna de fato imutável. Assim todas as transações anteriores permanecem visíveis no blockchain mesmo após serem utilizados. Isso significa que, em contraste, um blockchain com poucos mineradores pode ser alterado mais facilmente (ZHENG, 2017).

De forma simplificada, trata-se uma "corrente" de blocos, que pode ser visualizado como um grande banco de dados, contendo o histórico de todas as transações e validações por uma rede de computadores distribuídos. A validação e processo de criptografia da transação solicitada utiliza como parte da nova chave de segurança, todo o conteúdo das fases anteriores. Tem-se, pois, a imutabilidade prometida pela tecnologia em comento: o blockchain que permite a gravação de transações de maneira permanente, não se permitindo alterações em transações anteriores, apenas gravações de novas transações, mantendo-se, pois, um histórico quase matematicamente inviolável, nos parâmetros computacionais atuais (GRIMMELMANN, 2019).

## **2.2 A Classificação e Evolução da Tecnologia Blockchain**



Após elucidar as propriedades fundamentais que sustentam a tecnologia blockchain, fica evidente que, com base em características distintas, é possível segmentar o blockchain em várias categorizações. Essa segmentação pode ser realizada considerando-se o tipo de acesso ao livro-razão, a permissão para sua utilização e também sua modificabilidade.

No que tange à propriedade e utilização da infraestrutura de dados, especificamente ao acesso e leitura dos registros contidos nos *ledgers*, os blockchains podem ser categorizados como públicos ou privados. Nos blockchains públicos, qualquer indivíduo é livre para participar e acessar os dados, enquanto nos blockchains privados, apenas participantes autorizados têm a prerrogativa de participar e acessar os dados.

A outra dimensão de categorização relaciona-se com a permissão para alterar a infraestrutura de dados, incluindo a modificação e validação das informações contidas nos *ledgers*. Neste espectro, os blockchains podem ser delineados como de acesso aberto (*permissionless*) ou de acesso restrito (*permissioned*). Nos blockchains de acesso aberto, qualquer participante pode propor e validar modificações nos *ledgers*. Em contrapartida, nos blockchains de acesso restrito, apenas participantes autorizados têm a competência para propor e validar modificações nos *ledgers*.

As supracitadas categorizações revelam variações no grau de centralização do acesso à informação e na validação das modificações pertinentes aos dados armazenados – os blockchains públicos e de acesso aberto, exemplificados pelo Bitcoin, possuem um nível de centralização extremamente baixo. Por outro lado, os blockchains privados e de acesso restrito apresentam um grau de centralização mais elevado, que pode variar conforme as normativas estabelecidas para o acesso e validação pelos usuários.

Além disso, os *ledgers* podem ser classificados quanto ao seu modelo de gestão de dados, sendo centralizados, descentralizados ou distribuídos. Esta classificação está atrelada ao número de cópias dos dados disponíveis na rede. É pertinente ressaltar que, embora os *ledgers* centralizados sejam modelos tradicionais, eles não promovem a publicidade ou o acesso aberto às informações que gerenciam (UHDRE, 2021).

Na consolidação realizada pela Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE, 2018), foram identificados dois critérios primordiais para a categorização das variantes de blockchain: a primeira dimensão refere-se à natureza do acesso à plataforma, que pode ser delineada como pública ou privada; a segunda dimensão diz respeito ao grau de permissões requeridas para a adição de informações ao blockchain, categorizando-se em permissionada ou não permissionada. Essas distinções são cruciais para entender as diferentes aplicações e implicações legais que cada tipo de blockchain pode apresentar no âmbito jurídico.

Tabela 1 - Os principais tipos de Blockchain<sup>3</sup>

TIPOS DE BLOCKCHAIN		LEITURA	ESCRITA	ENGAJAMENTO	EXEMPLO
ABERTO	Público e não permissionado	Aberta a todos	Pública	Público	Bitcoin, Ethereum
	Público e permissionado	Aberta a todos	Participantes Autorizados	Todos ou subconjunto de participantes autorizados	Cadeia de suprimentos para varejo visível pelo público
FECHADO	Consórcio	Restrito a um conjunto autorizado de participantes	Participantes Autorizados	Todos ou subconjunto de participantes autorizados	Múltiplos bancos operando um registro compartilhado
	Privado permissionado "empresarial"	Totalmente privada ou restrita a um conjunto limitado de nós autorizados	Somente operador de rede	Somente operador de rede	Registro bancário externo compartilhado entre a empresa-mãe e subsidiárias

Entender a classificação das supracitadas características é crucial para entender o funcionamento e classificação dos smart contracts mais a frente no presente estudo. Ao discutir blockchains, tanto públicos quanto privados, o critério central é o grau de acessibilidade às informações e aos registros contidos no sistema. Blockchains públicos, a exemplo do Bitcoin ou do Ethereum – a última sendo o principal nascedouro da tecnologia para o desenvolvimento de smart contracts, caracterizam-se pela transparência e livre acesso aos dados para qualquer indivíduo interessado em consultá-los e analisá-los. Em contrapartida, os blockchains privados, como é o caso da Ripple ou da Libra, restringem o acesso aos dados a um conjunto especificado ou autorizado de indivíduos, podendo estar sob a gestão de uma única entidade ou um conglomerado organizacional (UHDRE, 2021).

Quando a terminologia se direciona para blockchains "permissionados" ou "não permissionados", a discussão se volta para a capacidade de interação com a rede, seja para

<sup>3</sup> Tradução do autor da tabela encontrada em HILEMAN, G., & RAUCHS, M. (2017). **2017 Global Blockchain Benchmarking Study**. <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.3040224>. Acesso em 22 de junho de 2023.

validar ou inserir novas informações. Neste cenário, os blockchains não permissionados são inclusivas, permitindo que qualquer pessoa participe ativamente na rede, tanto na validação quanto na inserção de dados no registro geral. Por outro lado, os blockchains permissionados delimitam esse privilégio a um grupo exclusivo de usuários, os quais têm a autoridade para gerenciar transações, registrá-las e/ou confirmá-las, contribuindo com novos blocos para a estrutura da cadeia.

Encontra-se na doutrina na maioria da literatura concernente o blockchain a divisão por gerações<sup>4</sup> da evolução do Blockchain, contexto em que os *smart contracts* se encontram, em resumo (Swan, 2015):

- Blockchain 1.0: aplicações em criptomoedas, como o bitcoin;
- Blockchain 2.0: utilização relacionada a contratos de vários tipos, ultrapassando as transações em dinheiro, como ações, empréstimos, hipotecas, títulos e smart contracts – passa-se a um foco em infraestrutura via plataforma Ethereum;
- Blockchain 3.0: categorias que envolvem aplicações para além do Blockchain 2.0, como áreas governamentais, saúde, ciências, literatura, cultura, dentre outros.
- Blockchain 4.0: Fala-se em uma quarta geração (4.0) de Blockchain com a utilização de inteligência artificial, em atividades para a grande massa populacional.

Apesar da miríade e da complexidade intrínseca dos fenômenos associados ao advento e evolução do blockchain, discute-se sobre as gerações dessa tecnologia. Mais especificamente, tem-se mencionado quatro gerações de blockchains, visando facilitar o entendimento dos principais marcos evolutivos, no que tange à funcionalidade e às aplicabilidades.

Em congruência ao objeto do presente estudo, haverá maior profundidade na segunda geração, quando o arcabouço tecnológico dos smart contracts se concretizou.

O Blockchain 1.0 é considerado o blockchain original, cuja aplicação está vinculada exclusivamente à execução de transações com criptomoedas. Basicamente, neste ponto, o conjunto de tecnologias que denominamos como blockchain é empregado para confirmar transações em um sistema de contabilidade distribuído. Estamos nos referindo à blockchain do Bitcoin.

---

<sup>4</sup> Apesar da divergência da literatura quanto ao número de gerações, tendo em vista que alguns autores que falam em apenas três (SWAN, 2015); a doutrina majoritária define quatro gerações. Vide: BODKHE, UMESH et alli. **Blockchain for Industry 4.0: A Comprehensive Review**. IEEB Access, vol. 8, p. 79764-79800, 2020. Disponível em: <[https://www.researchgate.net/publication/340476682\\_Blockchain\\_for\\_Industry\\_40\\_A\\_Comprehensive\\_Review](https://www.researchgate.net/publication/340476682_Blockchain_for_Industry_40_A_Comprehensive_Review)>. Acesso em: 20 ago. 2023.

O blockchain do Bitcoin constitui uma estrutura que proporcionou a ligação direta entre todos os nós da rede (o mecanismo já mencionado *Peer-to-Peer*). Além disso, tal infraestrutura de rede, aliada a uma série de outros mecanismos que via blocos em *hash*, que basicamente já foram elucidados anteriormente, poderia ser empregada para solucionar a questão da manutenção da ordem das transações e evitar o problema do gasto duplo.

Em resumo, foi estabelecido um registro sólido e auditável, permitindo, ultimamente, a validação e a contabilização, de maneira descentralizada, das transações efetuadas naquela plataforma. Blockchain 1.0 é, assim, sinônimo de criptomoedas. Não se trata apenas do Bitcoin, apesar de ser o exemplo primordial e mais notório, mas também de outras *altcoins*, que são outras criptomoedas além do bitcoin. Por último, cabe destacar que, nesse princípio, questões de eficiência em termos de esforço computacional, longo tempo de resposta e falta de interoperabilidade e de flexibilidade foram identificadas como obstáculos à adoção do blockchain em contextos mais abrangentes, embora gerenciados (ou a caminho de) em outro estágio do desenvolvimento dessa tecnologia.

A segunda geração de blockchains tem como marco o advento da plataforma Ethereum (Buterin, 2013). Esta nova era incorporou uma série de funcionalidades inovadoras que estenderam os benefícios do blockchain para domínios além das criptomoedas. A Ethereum, juntamente com a Hyperledger, surgiu como uma promissora plataforma de infraestrutura, sobre a qual uma miríade de projetos e aplicações poderiam ser desenvolvidos, os chamados *Dapps*. O nome *Dapp* é uma combinação das palavras *Decentralized* e *App*, com tradução livre como aplicativo descentralizado. Assim, o Blockchain 2.0 visa facilitar uma gama mais extensa de cenários de aplicação do blockchain, permitindo que este "livro-razão distribuído" registre, verifique e transfira outros ativos, ou suas representações digitais, como smart contracts, propriedades, votos, entre outros.

No contexto do Blockchain 2.0, destaca-se a emergência de estruturas inovadoras que capitalizam os benefícios dos smart contracts quanto evolução na forma de contratar, como as Organizações Autônomas Descentralizadas (conhecidas como *DAOs*) e as Corporações Autônomas Descentralizadas (*DACs*). Tais estruturas exemplificam a revolução dos mecanismos organizacionais tradicionais, ao incorporar a programação de regras em estruturas corporativas complexas, sejam elas comerciais ou não. Através da codificação, é criada uma entidade confiável, imutável e resiliente a alterações, em que os participantes são compelidos a aderir às normativas estabelecidas pelo código, operando de maneira autônoma, sem a necessidade de supervisão centralizada ou intervenção externa (UHDRE, 2021).

Um importante destaque para a segunda geração da tecnologia blockchain é a rede Ethereum, tendo em vista as limitações da primeira geração. Dentre os desafios apresentados pela Ethereum, destaca-se a limitada escalabilidade da Bitcoin, blockchain de primeira geração, ilustrada pelo intervalo aproximado de 10 minutos necessário para a incorporação de um novo bloco à rede, correspondendo a uma capacidade de processamento de três a quatro transações por segundo. Além disso, a linguagem empregada pela Bitcoin é deliberadamente restrita, voltada exclusivamente para a validação básica das transações de criptomoedas, mediante verificações binárias de verdadeiro ou falso, não sendo adequada para a execução de programas mais elaborados, como os smart contracts (ANTONOPOULOS, 2019). A rede Ethereum consolidou-se praticamente como sinônimo de smart contracts representando um marco significativo, ampliando o escopo e as potencialidades das aplicações baseadas em blockchain, ao proporcionar uma plataforma robusta e versátil para a criação e execução de smart contracts e aplicações descentralizadas (Demartini; Gatteschi; Lamberti, 2020).

A fim de basear o estudo que virá a seguir no presente trabalho, é essencial entender que a tecnologia da geração em comento, principalmente a da Rede Ethereum, é a incorporação de uma linguagem Turing-completa, possibilitando não apenas transações contábeis, mas também a execução de programas complexos integralmente. Esse aspecto singular confere à Ethereum o status de um autêntico "computador distribuído" ou uma "infraestrutura computacional descentralizada", uma vez que transcende a funcionalidade de sistemas convencionais, tornando-se um palco para operações computacionais. Nota-se uma transição interessante já que as transações não se limitam em representar unidades monetárias, mas sim também noções antes abstratas como ativos em ouro, petróleo, títulos imobiliários, identidades virtuais, votos e direito de acesso a ambientes (ANTONOPOULOS, 2017).

Adicionalmente, é de suma importância realçar a superioridade da Ethereum em termos de escalabilidade quando comparada à Bitcoin. Na rede Ethereum, um novo bloco é integrado à cadeia aproximadamente a cada 12 segundos, representando uma agilidade significativa no processamento das transações. A Ethereum ainda apresenta sua própria criptomoeda denominada *ether*, que é essencial para a operacionalização da rede.

Para cada transação realizada, é estabelecida uma taxa específica em *ether*, uma estratégia deliberada para inibir a criação de smart contracts que possuam, em seus códigos, loops. Tais loops, ou execuções indefinidas de um código, são características permitidas em linguagens Turing-completas, mas podem levar ao uso desnecessário e, por vezes, exorbitante de poder de processamento. Tal mecanismo de tarifação visa promover a criação de códigos mais enxutos e eficientes, incentivando a economia de execuções e, conseqüentemente,

otimizando o uso dos recursos computacionais disponíveis na rede. Esta medida é fundamental para garantir a sustentabilidade e a eficiência operacional da plataforma, resguardando-a contra abusos potenciais, intencionais ou não, que poderiam comprometer seu desempenho e funcionalidade (Bambara, 2018).

No caso do Blockchain 3.0, observa-se uma expansão significativa da tecnologia, estendendo-se para diversos aspectos da esfera social, desencadeando as primeiras inquietações jurídicas por parte das autoridades estatais, fundamentando as primeiras deliberações regulatórias acerca dos fenômenos criptográficos. Assim, a tecnologia começa a infiltrar-se em outros setores e cenários, incluindo arte, saúde, cadeias de produção e cidadania. Torna-se, pois, evidente o potencial do blockchain em atividades governamentais, com projetos emergentes ganhando tração como tokenização de votos, documentos públicos, processos licitatórios e verbas públicas (UHDRE, 2021).

Observa-se, na terceira geração da tecnologia, um avanço significativo sob uma perspectiva tecnológica. Emergem novas redes com o objetivo de facilitar a interoperabilidade entre diferentes plataformas e acelerar a velocidade de transmissão, visando aprimorar sua escalabilidade. Todavia, é imperativo que características fundamentais das redes blockchain iniciais, como imutabilidade, transparência e a eliminação da necessidade de intermediários, sejam mantidas ou incorporadas em outros sistemas desenvolvidos sobre a tecnologia blockchain (Hays, 2018).

A evolução para o Blockchain 4.0, fase contemporânea, destaca a integração de inteligência artificial, permitindo automação em decisões e operações dos sistemas, reduzindo ainda mais a intervenção humana. Além disso, almeja-se melhorar a eficiência do consenso, escalabilidade e eficiência energética, com o intuito de adaptar o blockchain à realidade, ampliando sua aplicabilidade tanto em contextos contemporâneos quanto futuros (RATANASOPITKUL, 2018). Surge, pois, o blockchain como serviço (BaaS), respaldada pelos avanços recentes promovidos pela IBM no Hyperledger e pela Microsoft no Ethereum. Ademais, como desenvolvimento natural da tecnologia, argumenta-se que o Blockchain 4.0 não só será caracterizado como BaaS, mas também será amplamente acessível, mais eficiente e com desempenho aprimorado (PALACIOS; GÓRDON, 2020).

Para que os princípios centrais dos smart contracts fossem efetivamente concretizados, era imperativo identificar uma plataforma que detivesse tais características, visto que, à época, os smart contracts tratava de um conceito majoritariamente teórico na fase final da década de 1990, visto que não existiam, de fato, plataformas ou tecnologias tangíveis que pudessem dar

vida à visão pioneira de Szabo, até a emergência das versões mais avançadas de blockchains, em 2013 (ANTONOPOULOS; WOOD, 2019), conforme apresentado.

Com o surgimento da tecnologia blockchain em 2008, a execução prática dos smart contracts tornou-se não apenas possível, mas uma realidade palpável (CUTTS, 2019). Atualmente, é consensual que a tecnologia blockchain é a única que logrou êxito na implementação prática dos smart contracts.

Ressalta-se que os fundamentos e conceitos que norteiam os smart contracts não são confinados à estrutura do blockchain<sup>5</sup>. A análise dos smart contracts pode ser efetuada com destaque, baseando-se nas ideias e premissas que sustentam os smart contracts em todas as suas manifestações potenciais. Todavia, é inegavelmente vital elucidar como a tecnologia blockchain se estabeleceu como a plataforma que transformou a visão de Szabo sobre smart contracts em uma realidade tangível. A evolução da tecnologia blockchain não apenas instrumentalizou a ideia de smart contracts, mas também catalisou uma exploração mais profunda e uma compreensão mais ampla de suas potencialidades e implicações no âmbito jurídico (CUTTS, 2019).

Em uma perspectiva geral, é evidente que a trajetória da tecnologia blockchain tem sido marcada pela expansão dos domínios econômicos em que pode ser aplicada, bem como pelo aumento de sua utilização. Inicialmente restrita ao setor financeiro, buscou-se estender sua utilidade para uma ampla gama de atividades socioeconômicas incluindo as relacionadas a operações governamentais. Atualmente, há um movimento para tornar o blockchain mais popular e disseminado.

Além dessa popularização, é importante reconhecer que a sociedade vive em uma era de revoluções tecnológicas convergentes, em que diversas ferramentas tecnológicas são combinadas para atingir objetivos específicos podendo gerar muitas outras gerações blockchain.

De Filippi, em *Towards a Philosophy of Blockchain*, pontua que a inovação trazida pelo blockchain se estende além de uma mera evolução técnica, adentrando uma esfera de transformação sistêmica produtiva. Esta não seria uma tecnologia isolada, mas uma que se encontra profundamente sobreposta à percepção humana da realidade, manifestando-se tanto

---

<sup>5</sup> Dentre os que entendem o conceito de smart contracts para além do blockchain, como Levy (2017); Bakshi, Braine e Clack (2016); Alharby e Moorsel (2017); Cutts (2019); Verstraete (2019); Werbach e Cornell (2017); Grimmelmann (2019); Unsworth (2019). Outros associam os *smart contracts*, não necessariamente e impreterivelmente, ao blockchain, como O'Shields (2017); Swan, (2015); Wright e De Filippi (2015).

no plano virtual quanto no contexto do "mundo real". Essa perspectiva entende o blockchain como um “status ontológico de novidade” ou “emergência ao fornecer algo novo” em comparação ao que previamente se entendia como realidade (Swan, 2016).

A partir da visão de que a tecnologia blockchain não é uma nova ferramenta, mas sim um novo tipo de ferramenta, é possível concluir que a mencionada tecnologia é capaz de constituir novos modos de configuração da realidade. Portanto, a sua adoção em grande escala pode significar a formação de um registro coletivo e universal de atividades, uma espécie de memória social coletiva por meio de seus livros-razão (DE FILIPPI, 2017). Dentre as principais utilidades da tecnologia do registro distribuído, principalmente pela emergência da segunda geração do blockchain, merece destaque a possibilidade de criação, monitoramento e execução dos denominados *smart contracts*, objeto deste trabalho.

Eis que a tecnologia Blockchain trouxe um mecanismo adicional para a coordenação das atividades econômicas em grupo. Até então, sob a perspectiva econômica, as instituições consistem em empresas, instituições financeiras, mercados, contratos e governos (DAVIDSON, 2018), sendo responsáveis coletivamente por prover recursos, segurança jurídica, moeda, propriedade e contratos por meio de organizações e redes interligadas de produção e troca. As propriedades intrínsecas do protocolo blockchain refletem amplamente os elementos institucionais mencionados anteriormente, característicos do capitalismo de mercado. Entre essas propriedades, destacam-se a garantia dos direitos de propriedade, exemplificada pelos registros no livro-razão e pelas chaves privadas (DAVIDSON, 2018). Há ainda a estruturação de sistemas financeiros, como evidenciado nas *Initial Coin Offerings*, e sistemas de troca, que englobam as chaves públicas e as redes *peer-to-peer*. Outro ponto de convergência é a presença de ativos financeiros, ilustrada pela emergência das criptomoedas. Além disso, há uma incorporação de leis e pactos na forma de código programático, conforme discutido por (LAWRENCE LESSIG, 1999).

O movimento que se opunha veementemente à intrusão estatal e corporativa na esfera da privacidade individual alcançou êxito em sua empreitada, já que o blockchain subverte a dinâmica de poder tradicional, deslocando a autoridade das entidades centralizadoras previamente mencionadas diretamente para os indivíduos inseridos nesse ecossistema inovador (CUTTS, 2019). De maneira ímpar, esses indivíduos não apenas retêm controle sobre seus dados e transações, mas também validam reciprocamente os negócios uns dos outros, um feito emblemático proporcionado pelas características distintivas do blockchain que foram apresentadas.



O mecanismo em discussão ilustra um sistema robusto de validação e integração de transações, amplificando a confiabilidade e a segurança intrínseca à rede blockchain, atributos cruciais para a eficiência do sistema no âmbito jurídico. Tais características são de suma importância, visto que, no cenário de um blockchain público, qualquer indivíduo tem a capacidade de descarregar uma cópia completa do livro-razão e armazená-la ou autenticá-la. Por outro lado, em uma configuração de blockchain privado, essa prerrogativa é concedida apenas àqueles com acesso autorizado, permitindo assim um exame ou armazenamento criterioso do livro-razão.

Após contextualização, pelo que já foi exposto, podem ser destacadas as seguintes características da tecnologia Blockchain e terão impacto no desenvolvimento da noção de smart contracts (Braga, 2017):

- Segurança: garantia de integridade, confidencialidade e disponibilidade;
- Arquitetura descentralizada: os registros das transações não se encontram armazenados em um único servidor, mas distribuído em diversas máquinas;
- Integridade dos dados: como há um encadeamento (*chain*) de cada bloco (*block*), correspondendo a cada transação, onde o novo bloco é composto de uma regra que envolve o bloco anterior, qualquer tentativa de modificação de um dos blocos, invalida todo o bloco;
- Imutabilidade: por possuir uma estrutura ordenada em ordem cronológica, nenhum dado previamente adicionado pode ser apagado ou alterado no bloco a que pertence, arquivando-se e catalogando-se todas as transações executadas em blocos anteriores.
- Irrefutabilidade: quando validada a transação pela rede distribuída, as partes envolvidas na transação, não conseguem negar a existência da transação;
- Visibilidade pública: qualquer um dos nós (*nodes*) pertencente à rede podem verificar a legitimidade da transação;
- Descentralização: como todos os nós são coproprietários, todos contribuem para a atualização de transações, manutenção e garantia das cópias.

### 3 SMART CONTRACTS

#### 3.1 Contextualização: Aspectos Históricos e Tecnológicos dos Smart Contracts

O conceito de smart contracts foi pensado na década de 1990 por Nick Szabo, um jurista e cientista da computação, e se referia a um protocolo de transações computadorizado que executava os termos de um “contrato” quando certas condições são atendidas<sup>6</sup>. Ao examinar os princípios elucidados por Szabo, é perceptível que em suas investigações, possivelmente impulsionadas por sua formação aprofundada em ciência da computação e direito, uma analogia com contratos convencionais e com os elementos econômicos atrelados aos negócios jurídicos era manifestamente evidente.

Um exemplo difundido, à época, foi das máquinas de bebidas (refrigerantes, águas, etc.), nos EUA conhecidas como *vending machines*, que se encontram em estações de metrô, hospitais, aeroportos, etc.: ao se inserir o valor correspondente ao produto que se intenta adquirir na máquina e assinalar tal produto, as condições exigidas foram satisfeitas, de modo que automaticamente a bebida é direcionada para o compartimento em que se pode retirá-la, em verdadeira execução dos termos da transação desejada.

Szabo via as máquinas de bebidas como os ancestrais primitivos dos *smart contracts*, sendo que os últimos vão além das primeiras, ao propor incorporar contratos em todos os tipos de propriedade que têm valor e são controlados por meios digitais. Os *smart contracts* se destacam por abordar essa característica de maneira dinâmica e proativa, oferecendo supervisão e validação significativamente aprimoradas em situações em que medidas proativas são inadequadas (SZABO, 1997). Enquanto as máquinas de bebidas utilizam protocolos assíncronos para comunicação entre a empresa e o cliente, os smart contracts mais complexos podem incorporar estágios sincronizados que envolvem pluralidade de partes.

Ao elucidar a mencionada alegoria, Szabo visa explicar o funcionamento dos smart contracts, evidenciando que a confiança nas partes está depositada no mecanismo de execução dos termos da máquina.

As reflexões trazidas à tona por Szabo não representavam um rompimento completo com os paradigmas anteriores, mesmo na conjuntura de 1994, mas sim uma sofisticação das

---

<sup>6</sup> SZABO, N. **Smart Contracts**. Smart Contracts, 1994. Disponível em: <<https://www.fon.hum.uva.nl/rob/Courses/InformationInSpeech/CDROM/Literature/LOTwinterschool2006/szabo.best.vwh.net/smart.contracts.html>>. Acesso em: dezembro 2022.

proposições preexistentes (CUTTS, 2019). Ademais, os smart contracts se inserem em um movimento mais abrangente de avanços tecnológico-computacionais que almejam transcender ou suplantar a intervenção decisória humana em uma multiplicidade de contextos (BRYNJOLFSSON; MCAFEE, 2011). Precedendo a emergência dos smart contracts, distintos patamares de automatização já haviam sido concebidos e, de fato, empreendidos de maneira pragmática.

A concepção dos smart contracts origina-se do movimento *Cyberpunks*, um coletivo não formalmente estruturado dedicado à defesa da privacidade digital, pensou os smart contracts ao carregar uma visão utópica e liberal que tem raízes profundas na autonomia e desintermediação, conforme delineado por Popper (2015).

De qualquer modo, a visão de Szabo não demandava a aplicação de tecnologia avançada, vide o próprio exemplo da *vending machine*: com um simples sistema elétrico programado, a máquina influencia diretamente na concretização das responsabilidades contratuais, ao aceitar o pagamento e dispensar o produto, facilitando a interação entre partes que não compartilham confiança mútua, assim como incorpora um nível de segurança adequado para assegurar que o custo associado de burlar a referida dinâmica (como quebrar o vidro para subtrair os itens, por exemplo) seja maior que os potenciais ganhos advindos desta ação. Além de disponibilizar o produto sem requerer intervenção manual, a máquina de venda automática também assegura que a transação não possa ser facilmente interrompida por um agente isolado (CUTTS, 2019).

A essência dos smart contracts reside na sua capacidade de automação, que se manifesta de maneira bifacetada: por um lado, a execução automática dos termos acordados (automação positiva), como uma operação financeira em um banco; por outro, a inexorabilidade dessa execução, uma vez que a intervenção externa, seja pelo Estado, terceiros, ou até mesmo pelas partes, é tecnicamente obstada (automação negativa). Essa automação se concretiza através da incorporação de cláusulas contratuais em ambientes eletrônicos, especificamente ao aliar *hardware* e *software*, proporcionando assim um mecanismo que desincentiva a quebra de contrato ao tornar esta ação substancialmente onerosa para o contratante (SZABO, 1997).

Os smart contracts transcendem a mera formalização eletrônica de um acordo. Embora possam ser concretizados em ambientes eletrônicos e, muitas vezes, descentralizados ou interconectados, o que os distingue é a execução automática das estipulações contratuais. A referida característica é reconhecida amplamente na literatura, seja em estudos jurídicos (GRIMMELMANN, 2019) ou de sistemas tecnológicos (ALHARBY; MOORSEL, 2017), consolidando a automação como o aspecto disruptivo e definidor dos smart contracts.

Na prática hodierna, um consumidor interage com um fornecedor de serviços ou produtos via plataformas digitais, um contrato eletrônico é estabelecido. Contudo, ao contrário dos smart contracts, esses acordos ainda carregam um grau de dependência humana para sua execução. Por exemplo, após a compra de um produto em uma plataforma de e-commerce, é necessária a intervenção humana para processar o pedido, verificar o pagamento, e coordenar a entrega. Mesmo em empresas que automatizaram parte dessas operações, a intervenção humana continua sendo um elemento vital, seja para resolver imprevistos ou atender solicitações especiais do consumidor (DEL REY, 2019).

A natureza inexorável dos smart contracts contrasta com a flexibilidade dos contratos eletrônicos tradicionais, que permitem a intervenção humana em várias etapas e são regidos pela legislação contratual existente, tal como os contratos em papel (LEAL, 2007). Por exemplo, a compra de uma licença de software, embora possa ser automatizada até certo ponto, ainda permite a intervenção humana, seja para cancelar a licença ou para obter reembolsos, demonstrando assim a ausência da supracitada automação negativa.

Essa análise ressalta a revolução que os smart contracts representam no domínio jurídico e tecnológico, propondo uma nova forma de interação transacional que é ao mesmo tempo autônoma, automatizada e resiliente a intervenções externas.

Por fim, um aspecto tecnológico relevante na contemporaneidade é a utilização de inteligência artificial para negócios jurídicos, em especial, contratos.

Ao abordar a essência dos smart contracts, Nick Szabo articula que “o uso de inteligência artificial não é implícito” (Szabo, 1996). Nota-se que não se refuta a utilização de inteligência artificial juntamente aos smart contracts. Contudo, prevalece uma certa reserva quanto à aptidão da inteligência artificial em suplantar o discernimento humano nas relações contratuais (Law Commission, 2020), sobretudo no que tange ao consentimento, visando assegurar uma expressão autêntica da vontade das partes envolvidas que possa ter repercussão jurídica.

Aproveitando o ensejo, por outro lado, os sistemas de inteligência artificial têm tido um papel significativo a desempenhar na interpretação de smart contracts, servindo como um complemento valioso para a tradução dos códigos computacionais dos smart contracts para uma linguagem natural. A demanda por tais especialistas é elevada, tornando-os muitas vezes inacessíveis para determinadas partes, como os consumidores. Esta inacessibilidade pode gerar desafios não apenas na execução privada dos contratos, caso uma das partes não consiga traduzir o smart contract, mas também na eventualidade de ausência de litígios. O art. 6 da Diretiva da União Europeia n. 2011/83/EU (European Parliament, 2011), relativa aos direitos

dos consumidores, impõe aos comerciantes diversos requisitos de informação para contratos à distância e fora do estabelecimento comercial, assim como é no caso brasileiro. Caso os comerciantes não disponibilizem estas informações de maneira clara e compreensível, estarão sujeitos a penalidades severas, criando, assim, um forte incentivo para fornecer aos consumidores uma tradução compreensível dos smart contracts.

Os sistemas de IA, assim, surgem como um recurso auxiliar para comerciantes e consumidores. Há diversas APIs, como o GPT-4<sup>7</sup>, ou o NaturalyCode, que são capazes de traduzir a linguagem natural para código e vice-versa. Apesar do Chat GPT da OpenAI e outras programas necessitarem de aprimoramentos, não é prudente antecipar que se tornarão altamente precisas num futuro próximo. É provável que as versões futuras destes modelos continuem evoluindo e desempenhando um papel crucial na interpretação de smart contracts. Tais modelos estão progressivamente diminuindo a lacuna de entendimento humano da tecnologia, prometendo um panorama positivo para a facilitação da compreensão e execução de smart contracts no cenário jurídico.

### **3.2 A problemática conceituação de smart contracts**

A interseção entre tecnologia e o Direito é vivamente exemplificada pelo advento dos smart contracts. Há uma pluralidade de visões e perspectivas que ainda estão em desenvolvimento e problematização, mormente no que concerne à natureza jurídica e ao enquadramento jurídico dos smart contracts. Busca-se evidenciar a complexidade, seja da literatura jurídica ou da legislação, de definição dos smart contracts, assim como, em que pese a dificuldade apresentada, há pontos em comum que propiciam o avanço dos estudos acerca das repercussões jurídicas do tema.

Reforça-se que a pretensão do atual item de estudo não é enquadrar os smart contracts como contratos, e sim apresentar o elemento volitivo de parcela dos smart contracts que terão reverberação no Direito, objeto do presente estudo.

Em algumas instâncias, a expressão smart contract denota somente uma realidade estritamente tecnológica, representando um programa computacional. Na esfera da ciência da computação, redes e tecnologia, há uma tendência da concepção do smart contract de uma maneira despojada de conotações jurídicas definindo-o como uma aplicação computacional

---

<sup>7</sup> <https://chat.openai.com>

alojada e operacionalizada em uma estrutura blockchain (XU; WEBER; STAPLES, 2019). Entendem-no como uma forma codificada de orquestrar transações consensuais, até mesmo uma operação financeira (CASEY; VIGNA, 2018).

A despeito do pioneirismo atribuído a Nick Szabo, a literatura jurídica ainda não apresenta uma unanimidade em relação aos componentes que integram o smart contract (Caria, 2020) e conseqüentemente seu conceito. Tal lacuna evidencia a importância da diferenciação proposta por Josh Stark, ao elucidar as nuances entre "código de smart contract" (*smart contract code*) e "smart contract legal" (*smart legal contract*). De acordo com Stark, para os profissionais que atuam diretamente com a tecnologia blockchain, a expressão smart contract é frequentemente empregada para designar o código existente nessa plataforma. A nomenclatura, embora útil, não é precisa, pois, esses códigos, na prática, gerenciam ativos de valor, o que justifica, mas não esgota, a utilização do termo "contrato":

[...] smart contract code não precisa se assemelhar a nada que, ordinariamente, considerariamos como “contrato”. Enquanto o código pode articular uma transação financeira condicional (“envie 1 BTC [bitcoin] de Alice para Bob em 1 de julho de 2016”), também pode governar aplicações que controlam permissões de acesso (“se Alice tiver votado sim, remova os direitos de voto de Bob em relação ao Aplicativo X e notifique os demais usuários...”) (Stark, 2016).

Josh Stark, assim, destaca que o conceito de *smart legal contract* refere-se a uma aplicação específica do *smart contract code*, uma maneira inovadora de empregar a tecnologia blockchain para aprimorar ou mesmo substituir os contratos legais tradicionais (STARK, 2016). De maneira análoga, André Janssen e Mateja Durovic (2020) elucidam esta distinção, pontuando que o "smart contract code" consiste em um código de computador armazenado, verificado e executado em um blockchain. Dessa forma, o *smart legal contract* emerge como um complemento, ou em algumas situações, como um substituto potencial para os contratos legais convencionais, incorporando esta tecnologia disruptiva na execução contratual (Durovic; Janssen, 2020).

Em seus primórdios de concepção, Nick Szabo vislumbrava a possibilidade de relacionar hardware e software para visando um menor custo para a execução contratual:

[...] muitos tipos de cláusulas contratuais (como penhor, obrigações, delimitações do direito de propriedade, etc.) podem ser embutidos em hardwares e softwares com os quais lidamos [corriqueiramente], de uma maneira que o descumprimento contratual se torne dispendioso (se desejado, algumas vezes até mesmo proibitivo) para o inadimplente (Szabo, 1996).

Como explicitado alhures, no contexto do blockchain 2.0, com o advento da rede Ethereum, houve o encontro das promessas dos smart contracts com as novas funcionalidades do blockchain. Nesse sentido, smart contracts geralmente significa um código de computador armazenado em um blockchain e que pode ser acessado por uma ou mais partes; tais programas costumam ser autoexeoutáveis e usam propriedades de blockchain, como resistência à violação, processamento descentralizado e outros (EUBLOCKCHAIN, 2019).

O Ethereum emerge, assim, como uma esfera robusta para o registro e efetivação de operações contratuais de elevada complexidade e interdependência, codificadas de maneira a resguardar seu cumprimento contra interferências exógenas. Essa imunidade decorre tanto do mecanismo de consenso algorítmico quanto do sistema de compensação inerente à plataforma, consoante características e funcionamento apresentados no Capítulo 2.

A programação intrínseca à plataforma Ethereum se revela como altamente flexível, facultando a criação de uma diversidade de arranjos relativos à propriedade e transmissão de ativos (BUTERIN, 2013), os quais podem ser meticulosamente desenhados de modo a reger tais ativos por um extenso lapso temporal, equivalente, por exemplo, a uma vida humana. Essa característica propicia a elaboração de contratos que, uma vez estabelecidos, tornam-se autoexecutáveis, já que detém a capacidade de concretizar transações financeiras uma vez que os critérios predefinidos sejam integralmente satisfeitos pelas partes envolvidas. (BUTERIN, 2014).

No âmbito jurídico, as perspectivas oscilam entre perceber os smart contracts como uma extensão do direito contratual, desde sua concepção até sua efetivação (GREEN, 2018), ou como um instrumento de consenso para assegurar transações e titularidades (WERBACH, 2018), posicionando-se de maneira ortogonal ao direito dos contratos, e substituindo-os em determinados cenários.

Conceitualmente, é frequentemente proclamado que um smart contract é, de fato, uma forma de contrato (WERBACH; CORNELL, 2017), embora haja discordâncias. Em um dos estudos jurídicos mais proeminentes sobre smart contracts, Cutts (2019) argumenta que um smart contract é uma codificação, e não um contrato. Entretanto, a pesquisadora ressalta que os smart contracts podem dirimir questões de intervenção contratual ao automatizar negativamente o cumprimento de obrigações, cultivando, assim, um ambiente de confiança mútua e segurança nas relações entre as partes (CUTTS, 2019).

A literatura jurídica, seja nacional ou internacional, ainda não apresenta uma unanimidade em relação ao conceito de smart contract, tampouco acerca de sua natureza

jurídica (Caria, 2020). A fim de colacionar os conceitos mais relevantes, passa-se a apresentá-los.

Primavera de Filippi e Wright foram uns dos pioneiros a centralizarem as intercessões do Direito e tecnologia e conceituam os smart contract da seguinte forma:

Usando smart contracts baseados em blockchain, as partes podem celebrar relações comerciais vinculantes, seja inteira, seja parcialmente memorizadas com o uso de códigos, e usar softwares para administrar a performance contratual (De Filippi; Wright, 2017).

Werbach, sem mencionar o blockchain, conceitua smart contracts:

Smart contracts são essencialmente agentes de software autônomos. Com os smart contracts, um livro-razão distribuído torna-se funcionalmente um computador distribuído (Werbach, 2018).

Levi e Lipton:

“Smart contracts” é um termo usado para descrever um código de computador que automaticamente executa um contrato por inteiro ou partes dele e que é armazenado em uma plataforma baseada em blockchain (Levi; Lipto, 2018).

Sob uma perspectiva econômica, a definição proposta pela Deloitte sobre os smart contracts desempenha um papel fundamental na síntese dos principais aspectos dessa tecnologia:

Eles são pedaços de software, e não contratos no sentido jurídico, que expande a utilidade da blockchain, de simplesmente manter um registro de transações financeiras, para automaticamente implementar disposições de acordos multipartes. Smart contracts são executados por uma rede de computadores que utiliza o protocolo de consenso para concordar sobre uma sequência de ações resultantes do código de um contrato. O resultado é um método pelo qual as partes podem concordar sobre obrigações e confiar que elas serão executadas automaticamente, com risco reduzido de erro ou de manipulação. Com uma base de dados compartilhada que executa um protocolo blockchain, os smart contracts “se auto executam”, e todas as partes validam o resultado instantaneamente e sem a necessidade da intermediação de um terceiro (Deloitte, s.d.).

Ainda que seja escassa, é possível encontrar legislação em outros países que abordam os smart contracts. Um exemplo marcante é a República de Malta em sua *Malta Digital Innovation Authority Act* de 2018:

[...] a) um protocolo de computador; e/ou b) um acordo concluído total ou parcialmente em forma eletrônica, que é automático e aplicável pela execução de códigos de computado, conquanto algumas partes [do acordo] podem requerer input



e controle humanos ou que [o acordo] também possa ser executado pelos métodos legais ordinários ou por um sistema misto (República de Malta, 2018).

Nos Estados Unidos há diversos movimentos legislativos que consideram os smart contracts como contratos válidos, utilizando tecnologia blockchain no comércio e confirmando que “um contrato referente a uma transação não pode ter seus efeitos legais, validade e execução negados somente porque possui um termo smart contract”(Arizona, 2017). O estado americano, assim como muitos outros, reconheceu os smart contracts como via para relações com repercussão jurídica, incluindo uma definição no texto de sua legislação §44-7601C:

um programa orientado a eventos, com estado, executado em um livro-razão distribuído, descentralizado, compartilhado e replicado e que pode assumir a custódia e instruir a transferência de ativos nesse livro-razão (Arizona, 2017).

Acompanhando o movimento e com maior sensibilidade à aplicabilidade dos smart contracts, a legislação do estado norte-americano Tennessee trouxe o conceito que o smart contract é

um programa de computador orientado a eventos, executado em um livro-razão eletrônico, distribuído, descentralizado, compartilhado e replicado que é usado para automatizar transações, incluindo, mas não se limitando a, transações que: (A) Assumir a custódia e instruir a transferência de ativos nesse livro-razão; (B) Criar e distribuir ativos eletrônicos; (C) Sincronizar informações; ou (D) Gerenciar a identidade e o acesso do usuário aos aplicativos de software (Tennessee, 2019).

O propósito intrínseco do ordenamento jurídico americano em voga almeja, até o presente momento, asseverar a validade dos smart contracts, os quais devem ser prontamente reconhecidos e analisados pelo judiciário do país, delineando a essência dos smart contracts, objetivando elucidar com precisão as vertentes tecnológicas abarcadas por tal nomenclatura e, por conseguinte, reconhecidas como contratos válidos. Ademais, o arcabouço normativo estende aos smart contracts determinadas premissas relativas à negociação e autenticação eletrônica, essenciais para a validade dos smart contracts. Estados como Connecticut, Nova York, Vermont, Delaware e Flórida adotaram preceitos similares aos estabelecidos pelo Tennessee, desencadeando uma tendência legislativa que foi corroborada por diversas outras jurisdições (COINTELEGRAPH, 2021).

Ao analisar os principais desdobramentos acadêmicos e legislativos que buscam elucidar o conceito de smart contracts, torna-se evidente a ausência de um consenso sobre sua definição, elementos caracterizadores e enquadramento jurídico. Tal tema, dotado de

ineditismo, inaugura um novo horizonte para transações, respaldado nas características centrais e nas capacidades inovadoras proporcionadas pela tecnologia blockchain.

Observa-se um esforço na literatura especializada de categorizar os smart contracts como contratos, seja como uma nova categoria ou uma nova modalidade. Potencial que não se refuta ou se confirma no presente estudo: diante do ritmo acelerado de evolução tecnológica, em que não há uma “sedimentação” do assunto na esfera jurídica e tecnológica, o confinamento dos smart contracts em uma definição estrita pode culminar na perda de relevância tanto em âmbito prático quanto acadêmico, inclusive frente a uma eventual alteração legislativa.

De qualquer modo, pelo que se apresenta, é irrefutável que exista uma faceta dos smart contracts que transcende uma mera operação financeira e, de acordo com visão de Nick Szabo, pode ser empregada para instrumentalizar arranjos com repercussão jurídica, ou seja, expressões de vontade destinadas a criar, alterar ou extinguir direitos. Partindo deste postulado, almeja-se explorar a manifestação de vontade através do consentimento para tais arranjos, considerando a potencial disrupção que os smart contracts impõe ao Direito. Isso se dá em razão dos potenciais benefícios e limitações que a utilização dos smart contracts apresenta no que concerne ao consentimento.

Para tanto, mister se faz estudar o funcionamento dos smart contracts no item a seguir.

### **3.3 O Funcionamento dos Smart Contracts**

Com base nas características e funcionamento previamente apresentados da tecnologia blockchain, os smart contracts emergem como mecanismos capazes de automatizar processos compartilhados e executados entre múltiplas partes, utilizando as estruturas de consenso supramencionadas. Essa automatização proporciona um aumento significativo na eficiência, de maneira transparente e imutável (UHDRE, 2021).

Além disso, eles têm aplicabilidade para o gerenciamento e monitoramento de atividades diversas, como logística, seguros e outros serviços. Essa flexibilidade e adaptabilidade dos *Smart contracts* os tornam uma ferramenta promissora em diversos setores, em que a confiança, a segurança e a automatização são fundamentais para o sucesso das operações.

A essência dos smart contracts é originária da primeira geração das características da tecnologia blockchain já supracitadas. Similarmente ao que ocorre com o Bitcoin, existe um livro-razão de transações, mas, com uma complexidade adicional, já que não se restringem à

transferência de ativos entre as partes, viabilizando o desenvolvimento e execução de programas computacionais.

Os referidos programas computacionais são operados em uma rede denominada máquina virtual que simula o funcionamento de um computador real, porém, se concretiza integralmente na rede, permitindo aproveitar do poder computacional descentralizado pelos participantes. No caso da Ethereum a rede é conhecida como Máquina Virtual Ethereum, ou EVM. Em uma transação básica na plataforma Ethereum, um usuário apenas transfere a unidade de moeda nativa, o Ether, de uma conta para outra, de maneira análoga ao procedimento na plataforma Bitcoin. Todavia, há transações mais intrincadas que incorporam programas codificados na linguagem nativa da EVM, sendo executados diretamente na EVM. No ambiente da EVM, os aplicativos têm a capacidade de enviar e receber Ether conforme instruções pré-definidas. Essas diretrizes podem ser empregadas por um software para interagir com outros programas ou indivíduos. Ademais, os programas conseguem manter seu estado entre transações, permitindo que um usuário carregue um programa na EVM e outros possam interagir com ele nas transações subsequentes. Os smart contracts emergem desta capacidade: uma vez carregada a EVM com os termos do contrato, outra parte pode aceitá-lo ao enviar uma aceitação codificada (GRIMMELMANN, 2019).

A EVM, essencialmente um computador emulado, opera conforme as regras estabelecidas no protocolo Ethereum. Isso implica que cada participante do blockchain deve aplicar autonomamente essas regras a cada nova transação, assegurando que os resultados sejam consistentes. O protocolo de consenso assegura uma visão unificada de todas as transferências e transações de programas, dado que são processadas de maneira simultânea (GRIMMELMANN, 2019).

Como apresentado alhures acerca da rede de consenso no blockchain de primeira geração, em termos mais simples, assim como os participantes do blockchain concordam com os saldos atuais de Bitcoin de cada usuário registrados no livro-razão, devido ao consenso sobre como cada transação altera esses saldos, a mesma concordância se aplica ao estado atual da EVM. Apesar de as regras serem mais complexas, a correção é assegurada pela natureza descentralizada e pelo algoritmo de consenso.

Desse modo, torna-se viável avaliar se os requisitos para a execução de um smart contract foram atendidos, possibilitando a realização da transação arranjada sem a necessidade do terceiro verificador. As partes envolvidas podem depositar Ether ou outras moedas digitais em um estado pendente no blockchain e, uma vez que determinadas condições sejam atendidas, os Ether são transferidos automaticamente para a conta designada. O Ether pode representar o

pagamento diretamente ou ser empregado como tokens, associados a direitos digitais sobre ativos, para representar o pagamento (WERBACH; CORNELL, 2017).

As partes não necessitam depender umas das outras ou de terceiros; podem simplesmente confiar na plataforma blockchain da Ethereum. Nesse caminho resumido e simplificado é possível vislumbrar a execução de um smart contract na concepção de Nick Szabo, já que as partes não necessitam confiar mutuamente, pois a transação será adimplida sem o auxílio de intermediários: as partes podem efetuar uma transferência de ativos de maneira positivamente automatizada, ou seja, sem a necessidade de intervenção adicional além do evento gatilho, e negativamente automatizada, visto que, uma vez processada, impede alteração ou cancelamento do procedimento (CUTTS, 2019).

Para ser mais técnico em linhas gerais, aproveitando o conhecimento apresentado no Capítulo 2, compreender o funcionamento dos smart contracts implica em reconhecer a importância das chaves privadas e públicas. Fundamentalmente, cada usuário mantém uma chave privada e as chaves públicas são acessíveis a todos. Elas operam de maneira recíproca: o que uma chave realiza, somente a outra pode desfazer.

Para transmitir informações certificadas, os usuários devem processar os dados (por exemplo, um token ou uma imagem) através de uma função *hash*, resultando em um valor *hash* que identifica os referidos dados. Esse valor é criptografado usando a chave privada do usuário, gerando uma nova *hash* criptografada, denominada assinatura. O dado original, juntamente com a assinatura, é então enviado pelo detentor da chave privada.

O receptor, utilizando a chave pública do remetente, decripta a assinatura, resultando em um valor *hash*. Concomitantemente, o receptor também processa o dado original na função *hash* do remetente, obtendo outro valor *hash*. Se ambos os valores *hash* forem idênticos, confirma-se a validade da assinatura, pois apenas a chave pública do remetente poderia desfazer a criptografia.

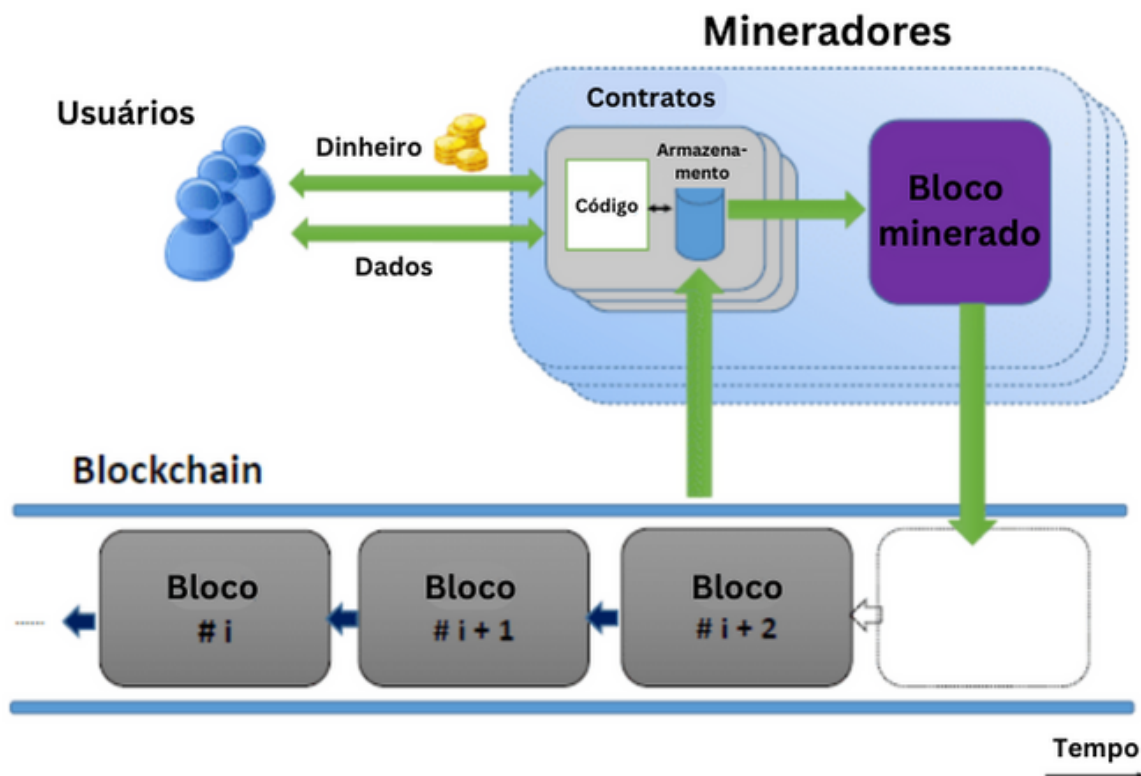
Carteiras de blockchain (conhecidas como *wallets*) simplificam esse processo de verificação, gerando e armazenando automaticamente as chaves privadas dos usuários. Por exemplo, ao transferir dados ou tokens, o software da carteira assina a transação com a chave privada do remetente, indicando à comunidade blockchain que o remetente está autorizado a transmitir aquele dado ou token.

Os smart contracts operam seguindo essa dinâmica: eles são ativados quando recebem uma chamada válida, ou seja, uma chamada que pode ser autenticada e associada a um usuário específico. Por exemplo, no blockchain Ethereum, existem dois tipos de contas que são

fundamentais para ativar os smart contracts: as Contas Possuídas Externamente (EOAs) e as contas de contrato.

Cada EOA é controlada individualmente e possui um par de chaves pública e privada, permitindo receber e enviar dados ou tokens. Paralelamente, ao inserir um smart contract no blockchain da rede Ethereum, uma nova conta de contrato é criada. Essas contas, assim como as EOAs, podem receber e enviar dados ou tokens, mas têm duas distinções: não possuem chave privada e podem executar o código dos smart contracts usando a Máquina Virtual Ethereum (EVM).

A EVM atua cada vez que uma EOA aciona uma das funções de um smart contract, desde que a assinatura (criada pela chave privada) seja válida. A validade da assinatura confirma que a pessoa que fez a chamada é responsável pelos ativos. Após a verificação, o código do smart contract é executado externamente à blockchain Ethereum, sendo registrados no blockchain apenas as entradas e saídas dessa transação (Mik, 2017). Para melhor entendimento, vide fluxograma ilustrativo abaixo:

Figura 3 - Fluxograma de funcionamento de um smart contract<sup>8</sup>

A fim de analisar a funcionalidade dos smart contracts, Nick Szabo delineaia quatro categorias em comparação aos contratos tradicionais: observabilidade, verificabilidade, subjetividade limitada e exequibilidade (SZABO, 1997).

A observabilidade refere-se à habilidade das partes em monitorar o cumprimento das obrigações contratuais. Em que pese a escrita dos smart contracts não ocorrer em linguagem tradicional, em prosa, é possível que ambos os lados possam confirmar objetivamente o desempenho um do outro, seja por algum instrumento facilitador ou até mesmo por capacidade técnica para tanto.

A verificabilidade é caracterizada pela possibilidade de um terceiro, no caso, o próprio sistema dos smart contracts, confirmar o cumprimento ou a violação de um contrato. Em contratos tradicionais, essa verificação é geralmente conduzida pelas partes envolvidas ou por um terceiro, seja um conciliador, juiz ou árbitro, como exemplos. Nos smart contracts, o próprio

<sup>8</sup> Tradução do autor. RESEARCHGATE. **A Triplicate Smart Contract Model using Blockchain Technology**. Disponível em: [https://www.researchgate.net/figure/How-a-smart-contract-works-15\\_fig3\\_317349621](https://www.researchgate.net/figure/How-a-smart-contract-works-15_fig3_317349621). Acesso em 6 de abril de 2023.

software desempenha um papel fundamental na realização de verificação, dentro dos limites do sistema.

A complexidade da verificabilidade em smart contracts é exemplificada ao considerar como um smart contract pode avaliar e verificar condições do mundo físico (não digital) ou real. O uso de "oráculos" é a solução para tanto, que são sistemas ou intermediários que fornecem ao smart contract informações verificáveis do mundo externo, facilitando assim a execução automática do contrato via canal de informação externos.

A relevância dos oráculos é inegável no contexto dos smart contracts, justificando uma análise meticulosa. Oráculos funcionam como entidades autônomas que ampliam as funcionalidades dos smart contracts, permitindo a integração com informações externas ao sistema (WERBACH; CORNELL, 2017, p. 336). Essas entidades, inspiradas nos oráculos da antiga democracia ateniense, evoluíram como mecanismos fundamentais para validar e assegurar o consenso em redes blockchain.

No funcionamento da tecnologia blockchain, os oráculos podem atuar como serviços especializados, oferecidos por terceiros, projetados para comunicar informações externas (*off chain*) aos smart contracts. Eles desempenham três funções essenciais: capturar dados de fontes externas; transferir essas informações para o blockchain (*on chain*) de forma segura, utilizando assinaturas criptográficas; e assegurar que essas informações estejam acessíveis nos registros de um smart contract, permitindo a interação com outros smart contracts (ANTONOPOULOS, 2019).

Os oráculos variam em complexidade e função. O tipo mais elementar é representado por um terceiro humano, confiável e designado pelas partes interessadas, encarregado de autenticar a ocorrência de eventos específicos, contribuindo assim para a execução do smart contract. Este formato, contudo, possui uma automação limitada, já que a execução do contrato depende da verificação humana (GRIMMELMANN, 2019, p. 14).

Outro modelo de oráculo envolve o uso de *trusted data feeds* em que dados são automaticamente coletados de fontes externas, sejam elas empresas, organizações ou fenômenos naturais, e integrados ao sistema, facilitando decisões automatizadas relacionadas à execução contratual (CUTTS, 2019, p. 413-414).

Já o terceiro nível, os oráculos de consenso, eles representam uma forma mais sofisticada em que múltiplos usuários participam e o sistema extrai um valor concordado pela maioria como o mais acurado. Esse mecanismo, através de protocolos próprios de consenso, promove um ambiente resistente a fraudes e corrupções no contexto de smart contracts (GRIMMELMANN, 2019, p. 15).

Em qualquer formato, os oráculos suprem os sistemas com dados cruciais, facilitando a monitoração do cumprimento das condições do acordo pelas partes envolvidas, garantindo, assim, a execução automática uma vez que os termos sejam satisfeitos. Esta implementação, conforme a teoria de Szabo, fomenta o desenvolvimento de confiança e boa-fé nas transações comerciais dentro do ambiente de um smart contract (SZABO, 1997).

A subjetividade limitada, derivada da teoria do *common law*, é aplicada aos smart contracts, assegurando que apenas as partes do contrato detenham direitos e obrigações. Isso também ressalta a necessidade de proteger a confidencialidade e a segurança das identidades das partes e das informações da transação.

Quanto à exequibilidade, ela é vista de maneira diversificada em smart contracts. A exequibilidade não é apenas garantida pela jurisprudência, mas também pelo código que dirige o contrato, assegurando que as obrigações sejam cumpridas automaticamente. Isso sublinha uma característica disruptiva dos smart contracts, em que a execução do contrato é inevitável, minimizando a necessidade de confiança entre as partes e mitigando a interferência externa.

A divisão da exequibilidade em duas perspectivas (CUTTTS, 2019) é essencial para o seu entendimento: automação positiva e negativa. A automação positiva refere-se à capacidade de um smart contract ser executado automaticamente, sem a necessidade de intervenção humana. Por outro lado, a automação negativa destaca a natureza inexorável dos smart contracts em que a execução contratual prossegue sem a possibilidade de ser interrompida por influências externas.

Atribui-se aos smart contracts uma das maiores disrupções de seu funcionamento, a irrefutabilidade, fundamentalmente conferida pela automação negativa. Esses contratos não apenas facilitam a execução automática, mas também são robustos contra interferências externas, garantindo que o processo contratual permaneça inalterado e ininterrupto. Esta peculiaridade elimina a necessidade de confiança mútua entre as partes envolvidas ou a dependência de intermediários para assegurar a execução contratual, pois a conclusão do contrato é garantida e inevitável.

### **3.4 Tipos de smart contracts**

A tipologia dos smart contracts demonstra que cada vertente de sua utilização pode levar vantagem de algumas principais características principais, seja pela sua natureza, modo de ativação, modo de utilização e seu armazenamento (EUROPEAN COMMISSION, 2021).



Um smart contract pode ser integrado a um contrato tradicional (Kraus *et al.*, 2019), reconhecido juridicamente, que pode estar em formato papel ou digital –essa modalidade é normalmente conhecida como smart contract auxiliar. Eis que pode complementar o contrato tradicional alinhando direitos e deveres já existentes (Chamber of Digital Commerce, 2018), podendo serem complementares. Por exemplo, em um contrato de aluguel, o smart contract poderia automatizar o pagamento, complementando o contrato escrito e não apenas replicando direitos e deveres existentes, fazendo com que ambas as formas transacionais se complementem e concorram simultaneamente.

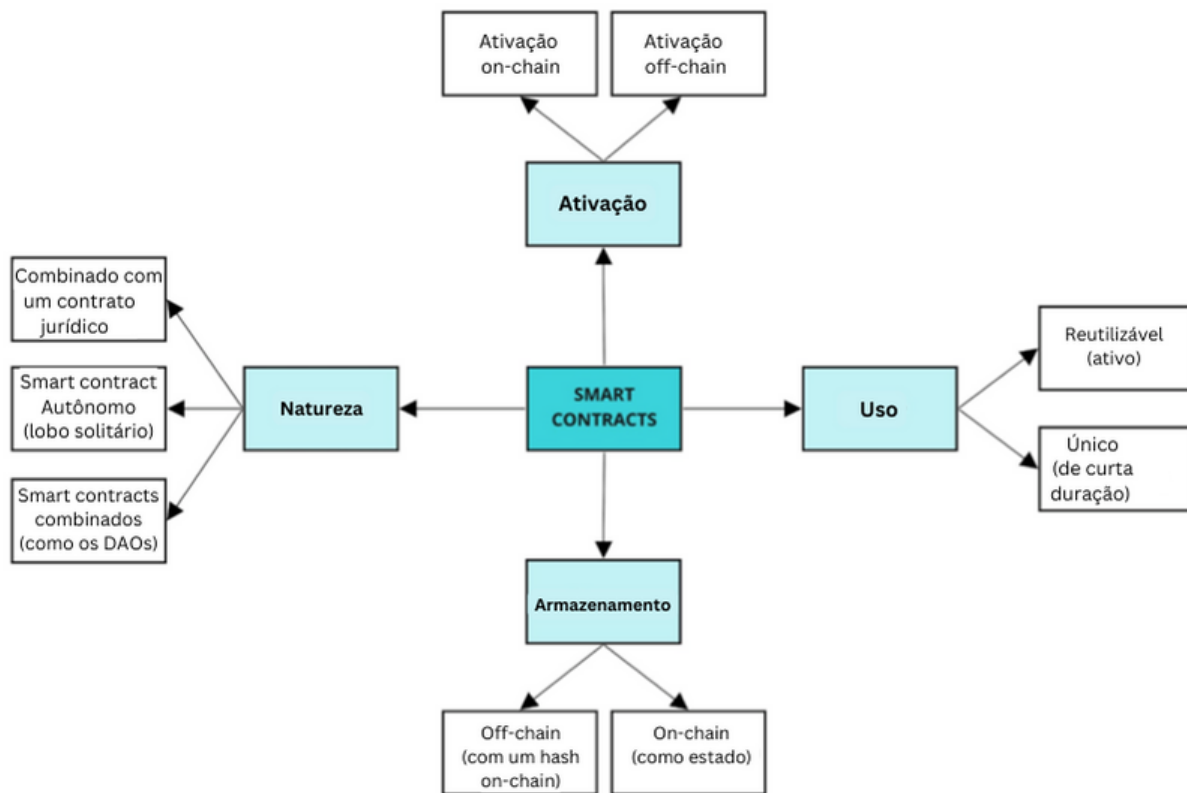
Em outra perspectiva, smart contracts podem operar independentemente de um contrato tradicional, um cenário que representa a maioria dos smart contracts atualmente em circulação.

Ainda acerca da tipologia concernente à natureza, smart contracts podem ser combinados entre si, estabelecendo condições para a governança descentralizada de ecossistemas autônomos, como as Organizações Autônomas Descentralizadas (DAOs) em que uma rede de smart contracts cria um conjunto coeso, sendo condicionados e ativados mutuamente, desencadeando uma cadeia de contratos mediante a ocorrência de um evento.

Uma distinção adicional pode ser feita baseada na utilização dos smart contracts. Geralmente, as condições para acionar um smart contract não são específicas a uma única parte (Wang *et al.*, 2018), permitindo que qualquer usuário os acione (GRIMMELMANN, 2019). Contudo, podem ser condicionados a eventos da vida real específicos a uma parte, tornando-se *intuitu personæ*, e se ativados regularmente, são denominados ativos, tendo o dormente como o oposto.

Explorando mais distinções, os smart contracts variam conforme seu modo de ativação, podendo ser acionados *on chain* ou *off chain* (dentro ou fora da corrente, isto é, do código fonte do smart contract), dependendo se o evento que os ativa ocorre dentro ou fora do blockchain. Por exemplo, no caso *off chain*, um smart contract prevê um reembolso em caso de atraso de um trem necessita que a informação pertinente do mundo real – o atraso – seja registrado no blockchain informado por um oráculo.

Além disso, uma distinção crucial reside no armazenamento dos smart contracts, podendo estar *on chain*, garantindo imutabilidade, mas comprometendo a confidencialidade, ou *off chain* em que apenas o hash é registrado no blockchain, mantendo o smart contract encriptado localmente e acessível apenas por usuários com a chave privada correspondente (XU *et al.*, 2018).

Figura 4 - Tipos de smart contracts<sup>9</sup>

### 3.5 Exemplos Práticos do Funcionamento de Smart Contracts

Apesar da aplicação prática dos smart contracts estar em um estágio inicial, o potencial de uso dessa tecnologia é vasto, abrangendo uma ampla gama de campos, visto que a aceitação dessa inovação tem conquistado um espaço considerável. Observa-se um crescimento no número de smart contracts em circulação que têm sido utilizados para a implementação de sistemas de garantia (*escrow*), automatização de pagamentos de royalties, gestão de colecionáveis digitais, organização de mercados descentralizados, habilitação de finanças descentralizadas (DeFi), auxílio na integridade de mercados de previsão, cadeias de produção,

---

<sup>9</sup> Tradução do autor. EUROPEAN COMMISSION, Directorate-General for Communications Networks, Content and Technology, Directorate F — Digital Transformation, Unit F3 — Digital Innovation and Blockchain, and Schrepel T., **Smart Contracts and the Digital Single Market Through the Lens of a “Law + Technology” Approach**, 2021.

economia compartilhada, internet das coisas, dentre outros. O blockchain Ethereum se destaca como a mais popular entre desenvolvedores e usuários de smart contracts.

Como dito, a tecnologia ainda está em um estágio nascente, com exemplos práticos de impacto significativo emergindo recentemente (LUESLEY, 2019, p. 156). Estudos mais aprofundados indicam que os smart contracts ganharão reconhecimento comum em 2026, sendo amplamente adotados por consumidores e mercados, além de regulamentados por entidades governamentais até 2036 (SCHNEIDER; BLOSTEIN, et al., 2016).

Outras plataformas também podem implementar smart contracts em outras blockchains, como Tezos, Stellar, EOS, Celo, TRON, Hyperledger e Ethereum Classic. Embora não existam dados agregados sobre o uso mensal de todos os smart contracts, atualmente, a maioria dessas blockchains mais utilizadas concentra-se em um negócio central, como é o caso da Binance Smart Chain, que facilita as trocas de tokens em mercados monetários descentralizados (BINANCE ACADEMY, 2021). Os smart contracts implementados nesse blockchain foram acionados mais de 1,4 bilhão de vezes apenas em maio de 2021 (BINANCE ACADEMY, 2021).

Com base nas análises de Claudio Demartini, Fabrizio Labertini e Valentina Gatteschi (2020), é evidente que a tecnologia blockchain apresenta uma aplicabilidade potencial em várias esferas de atividade, como gestão de dados pessoais, serviços notariais, finanças, cadeias produtivas e distributivas, seguros, internet das coisas e economia colaborativa. A literatura recente sugere uma transformação revolucionária em inúmeras indústrias na próxima década, abrangendo áreas como saúde, alimentação, finanças, políticas públicas e turismo (CLOHESSY; ACTON; ROGERS, 2019, p. 48).

É amplamente reconhecido que os smart contracts representam uma das aplicações mais transformadoras da tecnologia blockchain até o momento, estabelecendo um novo padrão de operações comerciais caracterizado pela ausência de intermediação, segurança robusta, eficiência aprimorada e eliminação de um ponto central de falha potencial (UNSWORTH, 2019, p. 20).

Além disso, os smart contracts têm sido frequentemente associados a sistemas de pagamentos automáticos no setor financeiro, indústria de apostas (o pagamento é processado mediante verificação da condição da aposta, sem a necessidade de um intermediário) e sistemas de investimento em startups e projetos, como Kickstarter, GoFundMe e Patreon, proporcionando um ambiente mais seguro tanto para investidores quanto para beneficiários (SWAN, 2015, p. 17-18).

Ainda no plano de utilização dos smart contracts no mercado financeiro, a Nasdaq já incorporou smart contracts em suas operações de maneira extensiva (SUN, 2021); o Banco Central do Brasil tem avançado nas discussões e negociações para a implementação da Moeda Digital do Banco Central brasileiro (Central Bank Digital Currency, CBDC) (JOSA, 2021); e a B3, responsável pela Bolsa de Valores brasileira, com o apoio do Banco Central do Brasil, anunciou a intenção de atuar como um oráculo para soluções de smart contracts que serão habilitadas diretamente em seu sistema (COINTELEGRAPH BRASIL, 2021).

A aplicabilidade prática dos smart contracts em cadeias de produção merece destaque, aproveitando que cada passo possa ser ligado ao subsequente automaticamente, principalmente em relações comerciais da empresa com o cliente. Geralmente observam-se as seguintes fases: I) o cliente ou consumidor final efetua o pedido; II) a ordem é direcionada ao prestador de serviço, que procede com o tratamento das informações fornecidas pelo consumidor separando o produto selecionado do estoque e processando o pagamento e notificando a transportadora; III) a transportadora recolhe o produto junto ao vendedor, verificando as informações relativas ao cliente e ao pacote; e IV) finalmente, atualiza todas as informações sobre o transporte e comunica o consumidor acerca da chegada do produto (Haddad; Qu; Shahriar, 2019).

Ciente das etapas, os dois desafios comuns em processos logísticos podem ser resolvidos pela aplicação dos smart contracts: retrabalho da verificação das mesmas informações e falta de comunicação adequada dentre os agentes envolvidos. Os smart contracts possibilitam uma solução (FEIYANG QU, HISHAM HADDAD, HOSSAIN SHAHRIAR, 2019) denominada de *Consumer Ordering Consensus Protocol* (COCP) ou o Protocolo de Consenso para Entrega ao Consumidor, em tradução livre.

O supracitado consenso funciona com a utilização de três smart contracts. O inicial (*ordering contract* ou contrato de pedido) que estabelece as obrigações entre comprador e vendedor, como o pagamento e a descrição do pedido. Já o segundo é o *warehouse contract*, ou contrato de armazenamento, é pactuado entre o vendedor e o fabricante ou distribuidor, detalhando o pedido realizado no primeiro contrato. Por último, o fabricante ou distribuidor celebra um terceiro contrato com a transportadora (*shipping contract*, ou contrato de transporte) que deve incluir uma função (cláusula) que atualize o cliente sobre o status de entrega do produto.

Um exemplo reconhecido de utilização de blockchain e smart contracts aplicada às cadeias de consumo é o da empresa chinesa Green Hand, integrante do grupo Alibaba. Através de um QR code, torna-se possível rastrear toda a logística de um bem específico, com os dados sendo armazenados e acessados via blockchain (Haddad; Qu; Shahriar, 2019).

A promissora esfera econômica dos seguros vislumbra um vasto campo de aplicação para os smart contracts, especialmente quando alinhados com as tecnologias blockchain e a internet das coisas (Demartini; Gatteschi; Lamberti, 2020).

Por conseguinte, é possível esboçar arranjos nos quais a liberação do seguro ocorra somente após a verificação por parte da seguradora de que uma cadeia de atores confiáveis - como autoridades policiais, profissionais médicos e peritos habilitados - autenticam, mediante suas chaves privadas, o smart contract. Uma reflexão adicional sugere que, de maneira mais razoável, o montante seja liberado de forma automática após a assinatura de todos ou da maioria dos atores envolvidos, conforme a configuração mais propícia para cada cenário, eliminando a necessidade de verificação adicional por parte da seguradora (Demartini; Gatteschi; Lamberti, 2020).

No âmbito dos seguros marítimos, que amparam determinados danos que possam acometer uma embarcação ao longo de sua jornada, os smart contracts também se revelam como uma proposta interessante. Os riscos, ao longo do transporte, alteram-se significativamente, tornando o cálculo do prêmio uma tarefa morosa e meticulosa, variando conforme a rota, assim como um grande número de variáveis. Com a implementação de um smart contract, esse processo poderia ser automatizado, através da aquisição de informações provenientes de oráculos, como o amplamente utilizado GPS e outros dispositivos que fornecem dados relativos à localização e condição da embarcação (Law Commission, 2020).

A Economia de Compartilhamento, conforme elucidado por Ana Frazão, é caracterizada pelas interações de troca estabelecidas diretamente entre os participantes, constituindo, assim, relações predominantemente pessoais. Segundo a autora, essa economia é fundamentalmente voltada para a cooperação entre indivíduos autônomos, visando a otimização da utilização de recursos ociosos. As plataformas digitais seriam, em teoria, apenas facilitadores dessas interações. No entanto, nota-se uma gradual monopolização deste mercado por grandes corporações que, ao maximizar seus lucros, transferem os riscos do negócio para os usuários da rede. Além disso, tornou-se comum a coleta indevida de dados pessoais dos clientes por gigantes do comércio digital para finalidades econômicas, fato que se destaca diante do crescente enfoque nas políticas de proteção de dados em âmbito global (FRAZÃO, 2018).

Uma alternativa a essa intrusão de privacidade e confiança seria representada pelos *marketplaces* descentralizados, sendo o OpenBazaar um exemplo notório e singular, reconhecido como o primeiro *marketplace* totalmente descentralizado (Mandal, 2019). O OpenBazaar não é um aplicativo ou programa, mas um site que emprega a tecnologia blockchain, o que resulta em uma arquitetura *peer-to-peer*. Em termos práticos, isso significa a

ausência de intermediários nas transações entre vendedores e consumidores, com cada usuário atuando como um nó, conferindo à rede uma robusta resistência a controles externos, característica típica desse tipo de estrutura.

No ambiente do OpenBazaar, qualquer indivíduo pode comercializar variados tipos de mercadorias; não existem mecanismos de gestão centralizada, permitindo que todos os usuários possam participar dos fóruns de desenvolvimento e influenciar nas atualizações do código. Ademais, não há entidades responsáveis pelo funcionamento adequado da rede, inclusive em seus aspectos técnicos, o que é resguardado legalmente através dos termos de uso, que excluem qualquer responsabilidade legal tanto dos desenvolvedores quanto dos vendedores (Mik, 2020).

Intrinsecamente ligado aos *marketplaces*, o setor varejista pode se beneficiar da aplicação de smart contracts. Utilizando a Internet das Coisas – que atua como um oráculo – o despacho do produto pelo fornecedor é comunicado ao smart contract, o que pode, por exemplo, acionar a transferência automática de um sinal. A entrega do produto, ao ser informada ao contrato pelo mesmo mecanismo, pode desencadear a transferência do valor restante, eliminando, assim, a necessidade de intermediação por instituições financeiras (Allen; Bambara, 2018).

No referido modelo, a transparência e a automação na condução das transações comerciais são destacadas, particularmente quanto ao monitoramento e atualização do status do produto através de um smart contract. Esse processo evidencia a transmissão de informações relativas ao status do produto ao smart contract, e como essas informações estão vinculadas às transferências financeiras associadas.

Os *marketplaces* descentralizados, em uma análise simplificada, podem ser percebidos como um conglomerado de smart contracts em uma plataforma digital unificada, analogamente a como uma feira representa a congregação de diversos comerciantes e consumidores em um ambiente físico comum. Este cenário proporciona uma infraestrutura que elimina intermediários, otimiza a eficiência das transações e potencializa a confiança entre as partes envolvidas, graças à transparência e à imutabilidade proporcionadas pela tecnologia blockchain. Assim, os *marketplaces* descentralizados e os smart contracts, ao integrarem-se de maneira harmônica, inauguram uma nova etapa na evolução do comércio digital, que se alinha mais estreitamente com os princípios da economia de compartilhamento, valorizando a cooperação, a transparência e a autonomia dos participantes.

Aproveitando o ensejo da internet das coisas (conhecida como IoT), percebe-se que para efetivar e impactar objetos tangíveis através de um blockchain, sem necessariamente integrá-

los a ela, é imprescindível a incorporação de tecnologias correlatas ao universo da internet das coisas e da biometria.

Alguns exemplos são encontrados na literatura que demonstra a utilização hodierna da IoT, como uma máquina de lavar que auto detecta uma falha, bem como identifica o componente defeituoso e inicia automaticamente o processo de reparo (Demartini; Gatteschi; Lamberti, 2020).

É imperativo abordar o conceito de *smart property*, ou propriedade inteligente, quando pela fusão entre a IoT e blockchain com os princípios dos direitos reais de propriedade e posse. Neste contexto, a posse refere-se ao acesso e controle direto sobre o bem. Esta integração revolucionária permite a transferência de propriedade, simbolizada por um token, ou a posse direta, exemplificada pelo ato de dar partida em um veículo por meio de uma chave criptografada privada, através de um blockchain. Esta convergência não apenas realça a interação dinâmica entre a tecnologia e os direitos de propriedade, mas também propicia um novo paradigma na gestão e transação de bens tangíveis (Bambara, 2018).

Ilustrando a interação entre smart contracts e o mundo físico, a startup alemã Slock.it inovou ao conceber um modelo de fechadura que poderia ser incorporada em espaços físicos variados, como estabelecimentos hoteleiros e residências, bem como em outros ativos tangíveis, como automóveis ou maquinário agrícola, facilitando o processo de aluguel através de smart contracts: a fechadura seria desbloqueada conforme os termos do smart contract fossem satisfeitos.

No ano de 2020, houve a aquisição da Slock.it pela companhia Blockchains, LLC, que resultou na mudança de nome para BC Development Labs GmbH. Dentro do contexto de internet das coisas, há uma aspiração por parte da referida organização em estabelecer uma cidade inteligente, fundamentada integralmente em smart contracts, localizada em Nevada, nos Estados Unidos (JENTZSCH, 2020).

Em 2021, foi registrado um total de 12,3 bilhões de dispositivos conectados a sistemas que, em teoria, possuem a capacidade de executar instruções através de smart contracts, englobando desde celulares até refrigeradores e veículos (SINHA, 2021), o que demonstra um potencial enorme de integração da IoT com smart contracts.

Outra aplicabilidade relevante é a utilização de smart contracts como formação de uma instituição econômica, a já apresentada DAO (Organização Autônoma Descentralizada), dado que as corporações são essencialmente nexos de contratos, seria possível codificar esses contratos em smart contracts com execução automática, resultando em uma corporação operando com execução integralmente automatizada (BUTERIN, 2014). Através de um sistema

de smart contracts interligados, que codificam as regras operacionais de uma corporação, surge um modelo de gestão descentralizado.

As DAOs apresentam vantagens significativas quando comparadas às corporações tradicionais, destacando-se: i) maior segurança, mitigando comportamentos corruptos e oportunistas ao facilitar a cooperação entre agentes desconhecidos; ii) a eliminação da necessidade de gestão humana; e iii) a mitigação de conflitos de interesse entre administradores e acionistas ou membros, que é uma questão persistente nas estruturas corporativas tradicionais, sejam elas públicas ou privadas (Wright; De Filippi, 2015).

As corporações têm uma trajetória ampla e fascinante, evoluindo desde as primeiras formulações jurídicas no direito romano até a emergência das companhias de ações na modernidade, observada nos Países Baixos e na Inglaterra. A longevidade desse conceito reflete sua capacidade de minimizar custos em comparação ao trabalho individual, promovendo uma redução de custos transacionais ao harmonizar interesses entre os participantes confiáveis que compartilham metas comuns. Além disso, a estrutura coletiva ajuda a superar as limitações cognitivas individuais (Wright; De Filippi, 2015).

Uma DAO é composta por uma série de smart contracts autossuficientes, cujas operações são financiadas por uma conta de criptomoeda, operando autonomamente conforme programado no blockchain. Dentro de uma DAO, é possível representar ativos através de tokens e definir as regras para sua distribuição entre os membros, bem como estabelecer procedimentos de votação para tomada de decisões coletivas. Em futuras implementações, a inteligência artificial pode ser integrada para permitir que a DAO ajuste autonomamente seus objetivos em resposta às mudanças nas circunstâncias, visando maximizar os lucros (WRIGHT, DE FILIPPI, 2018).

Um caso notável é o da DAO.Link, lançada em 30 de abril de 2016, que objetivava angariar fundos para projetos associados à plataforma Ethereum através de *crowdfunding* (método de arrecadação de fundos para um projeto ou empreendimento). Os participantes recebiam tokens convertíveis em *ether*, e a iniciativa conseguiu arrecadar mais de US\$ 150 milhões (Lima Júnior; Porto; Silva, 2019).

A emergência tecnológica simbolizada pelos smart contracts instaura uma perspectiva renovada acerca da autotutela. A viabilização da autoexecução digital, automática e simultânea das obrigações contratuais, mediante a transposição do *enforcement* ao âmbito privado, incita a reconsiderar a execução como prerrogativa exclusiva da jurisdição estatal, uma reconsideração que vem se manifestando desde o alvorecer do século XXI. A ascensão dos smart contracts contribui significativamente para esse movimento, que ganha maior destaque



com a introdução da nova moeda brasileira: o Drex (*Digital Real Electronic Transaction*) — o real digital (BANCO CENTRAL, 2023).

Segundo dados fornecidos pelo Banco Central (2023), a utilização do Drex em um smart contract propiciará a certeza de que os recursos financeiros do contratante somente serão transferidos mediante a recepção de um bem ou serviço. O Drex pode ser incorporado aos smart contracts para assegurar que os pagamentos sejam efetuados apenas mediante a satisfação de condições previamente estabelecidas pelo código. Por exemplo, em smart contracts de locação, a implementação do Drex como caução programada para situações de inadimplemento ou para a liquidação de multas por rescisão antecipada poderia ser considerada. Sob tais circunstâncias, uma vez verificada a condição de mora, o pagamento do montante devido via Drex ao locador seria realizado automaticamente.

A iniciativa monetária digital Drex representa um marco revolucionário, simbolizando o ingresso do Brasil na era das moedas digitais centralizadas (ou "tokenização" de ativos, conforme apontado na referência. Conforme elucidado pelo Banco Central (2023) a Drex foi concebida com o propósito de complementar o sistema monetário convencional, promovendo transações mais céleres, seguras e eficazes. Embora não substitua o real, ela atua como uma extensão digital da moeda. Em contrapartida às criptomoedas tradicionais, como o Bitcoin, a Drex é respaldada pelo próprio Banco Central, conferindo maior segurança e estabilidade às transações.

Ao serem amalgamados à infraestrutura da Drex, os smart contracts amplificam as potencialidades desta moeda digital. Estes contratos programáveis asseguram a execução automática dos termos pactuados, uma vez que as condições especificadas sejam satisfeitas. Dessa forma, a sinergia entre a confiabilidade da Drex, endossada pelo Banco Central, e a eficiência dos smart contracts, engendra um ecossistema onde as transações se tornam mais transparentes, rápidas e seguras. Tal cenário pode mitigar a necessidade de intervenção judiciária na fase executiva, visto que o espaço para o inadimplemento é drasticamente reduzido.

### **3.6 Os limites dos smart contracts**

Os smart contracts constituem uma inovação notável, marcada pelo emprego de linguagem programática computacional ao invés de linguagem natural, sua natureza autoexecutável e sua imutabilidade. Por conta das duas últimas características, a execução

desses contratos não pode ser obstruída, seja pelas partes envolvidas ou por terceiros, incluindo o Estado (Durovic; Janssen, 2020).

Na esfera dos smart contracts, os protocolos digitais autônomos operam decisões em nome dos usuários, tornando as consequências deste tipo de consentimento tanto imprevisíveis quanto profundamente impactantes. Tais consequências variam conforme as particularidades e variáveis do contexto no qual o protocolo digital é aplicado. Em um viés otimista, os smart contracts podem proporcionar uma redução substancial nos custos de transação em negócios jurídicos, eliminando, por exemplo, a necessidade de intermediários confiáveis e do judiciário para garantir a observância dos termos acordados em transações internacionais (CUTTTS, 2019).

Por conseguinte, os smart contracts podem representar a quintessência do princípio jurídico *pacta sunt servanda*, pois materializam uma fusão inovadora entre a estipulação dos termos acordados, sua adimplência e, quando necessário, sua execução forçada em caso de inadimplemento, respeitando rigorosamente o que foi previamente delineado no código-fonte do instrumento. No cenário emergente, por exemplo, vários intermediários tradicionais como o Poder Judiciário, instituições financeiras e operadores jurídicos, poderiam ser dispensados, visando uma concretização mais ágil, transparente, segura e com menores custos de transação do acordo estabelecido. Contudo, tal visão possui desafios inerentes às suas características.

Em contrapartida, compreendendo o funcionamento dos smart contracts, bem como suas características predominantes e promessas, é crucial identificar os desafios que essa tecnologia enfrenta no âmbito jurídico, tanto no Brasil quanto no exterior. Existem várias dificuldades relacionadas ao enquadramento jurídico, vícios de consentimento, linguagem, intangibilidade territorial, usos ilícitos, falhas sistêmicas, ataques cibernéticos, entre outras. Questões como a formação da relação jurídica sob o prisma do consentimento, a dificuldade de interpretar intenções além do texto codificado, e o impacto adverso na avaliação individualizada e particularizada de cada caso (BEACH, 1897), são aspectos que demandarão uma exploração aprofundada, principalmente no próximo Capítulo.

Busca-se apresentar os principais limites dos smart contracts sem a intenção de exaurir o tema, mas sim apresentar aqueles que podem, de alguma forma, repercutir no instituto do consentimento em smart contracts.

Como visto, uma parcela dos smart contracts se encontra subordinada ao ordenamento jurídico, visto que tais contratos constituem negócios jurídicos aptos a criar, modificar ou extinguir direitos juridicamente relevantes, demandando assim uma análise metódica de seu impacto disruptivo, revelando novos riscos. Esse postulado é corroborado ao se observar que o conceito de smart contract influencia a construção do substrato de confiança entre as partes

(SWAN, 2015, p. 16) e afeta os elementos de sua exequibilidade e descumprimento (GREEN, 2018; CUTTS, 2019).

O primeiro elemento limitador a ser estudado, conforme destacado por Eliza Mik (2017), se as entidades contratantes não forem proficientes em linguagem de programação, o que é uma expectativa irreal na vasta maioria das situações, elas, autonomamente, não poderão garantir que o smart contract espelhe precisamente suas intenções e arranjos acordados, persistindo ainda o desafio subsequente de determinar o que prevaleceria em um cenário de desacordo entre a codificação e a vontade de uma ou ambas as partes. Com o advento da inteligência artificial que já possui capacidade de interpretação dos smart contracts, como visto no item 3.1 do presente estudo, acrescenta-se uma quarta possibilidade, não se sabe também se prevaleceria a interpretação da IA acerca do código supracitado.

Ademais, a utilização apropriada de termos vagos nos contratos como "boa-fé", "melhor esforço", "assim que possível", entre outros é vista como uma boa prática jurídica cotidiana, pois confere aos contratos a flexibilidade necessária para acomodar situações imprevistas, diminuindo, assim, os custos de negociação (Chen; Wang, 2020). Contudo, são impraticáveis na utilização dos smart contracts. Por isso, há posições que defendem que os smart contracts opõem-se aos princípios da boa-fé e do equilíbrio econômico, pilares do direito contratual brasileiro pela exaltação do *pacta sunt servanda*, pelo adimplemento e execução estarem vinculado ao código (Castro; Guimarães, 2021). Isso porque a linguagem de programação, denominada nesse cenário como *dry code* – código computacional seco – devido à sua precisão, não abriga as nuances multifacetadas interpretativas da linguagem natural ou, como é conhecida, *wet code* (código umedecido) (Cannarsa, 2020).

Adiciona-se, assim como em comunicações humanas, em que diferentes indivíduos podem atribuir variados significados a uma mesma palavra ou frase, a transposição dessa imprecisão interpretativa para o campo rígido e matematicamente preciso dos códigos computacionais emerge como um desafio considerável. Este aspecto pode complicar ainda mais a execução precisa e de acordo com as intenções das partes de um smart contract (BORGOGNO, 2020).

A flexibilidade contratual é característica inerente ao direito contratual. É comum que as partes necessitem ou desejem modificar certas estipulações inicialmente acordadas, visto que contratos, especialmente em interações prolongadas, diferidas e complexas, frequentemente precisam ser ajustados a circunstâncias que vierem a aparecer (BORGOGNO, 2020).

Nesse sentido, a rigidez dos smart contracts é um obstáculo às chamadas *efficient breaches* e, igualmente, uma barreira ao escrutínio judicial, mesmo quando este visa remediar

lacunas ou elucidar ambiguidades, limitando a adaptabilidade do contrato às mudanças nas condições externas (BORGOGNO, 2020), em que as próprias partes não desejam o cumprimento contratual (SHAVELL, 2007).

Assim como nos contratos tradicionais e nas transações em geral, nos smart contracts é intrinsecamente desafiador antecipar todas as possíveis contingências que podem surgir durante a sua execução. Tal característica é particularmente problemática no ambiente computacional dos smart contracts em que a lógica condicional (se ocorrer X, então execute Y) é uma necessidade. Esta exigência pode resultar em dificuldades para as partes atingirem seus objetivos pretendidos, dada a impossibilidade de prever todas as variáveis e circunstâncias possíveis, já que é improvável que os smart contracts sejam completamente exaustivos e à prova de falhas em sua formulação e execução (MIK, 2017).

Na fase de execução de um smart contract, a inflexibilidade de sua eficácia torna-se um obstáculo à aplicação do art. 476 do Código Civil Brasileiro (BRASIL, 2002). O referido instituto permite que, na ocorrência de inadimplemento ou cumprimento parcial das obrigações contratuais por uma das partes, a contraparte possa invocar a exceção de contrato não cumprido como defesa, negando-se a cumprir integralmente suas próprias obrigações baseadas na reciprocidade contratual (Pereira, 2015). Contudo, a operacionalização dos smart contracts ocorre de maneira automatizada e determinística, limitando a possibilidade de invocação de tal exceção, exceto quando tal condição é explicitamente codificada no próprio smart contract.

Do ponto de vista principiológico, os smart contracts desafiam a função social dos contratos na sociedade contemporânea, tendo em vista que apresentam características que podem comprometer a realização de interesses públicos relevantes. A imutabilidade e resistência a interferências externas, proporcionadas pela tecnologia blockchain, fazem com que, por exemplo, decisões judiciais voltadas para a rescisão desses contratos se mostrem ineficazes (Fing; Santos, 2018). Adiciona-se, do ponto de vista da Autonomia Privada, tal imutabilidade também torna os smart contracts inconsistentes ao princípio do adimplemento substancial, em que deveria haver preponderância da função social do contrato e da boa-fé objetiva (Andrade; Colombi, 2021).

Consoante classificação alhures, os blockchains públicos, distribuídos e de livre acesso, o livro-razão é um repositório de informações expostas publicamente. Isso inclui detalhes intrínsecos às operações conduzidas via smart contracts, tais como os termos acordados e as partes envolvidas. Comumente, indivíduos tendem a preservar a confidencialidade dos seus acordos, motivados por razões que vão desde a proteção da privacidade pessoal até a salvaguarda de interesses comerciais e minimização de riscos associados.

Considere-se que a exposição aberta do histórico contratual de alguém na internet, acessível a qualquer um para escrutínio, não é algo desejável na prática comum. Por essa razão, a maioria dos blockchains incorpora métodos robustos visando resguardar o anonimato dos participantes em suas respectivas transações.

Para que uma entidade seja parte de um smart contract, é imprescindível que haja algum grau de identificabilidade vinculado a uma entidade constante. Isso ocorre mesmo quando a identidade completa não é revelada a todos os participantes na rede blockchain. As identidades das partes nas transações blockchain são, geralmente, asseguradas pelo uso de chaves públicas, evitando a necessidade de divulgar as identidades reais dos participantes envolvidos (DUROVIC e LECH, 2019, p. 505).

Os softwares baseados em blockchain, na sua maioria, operam sem exigir a pré-identificação dos usuários. As partes envolvidas são identificadas através de carteiras digitais, associadas a chaves únicas compostas por sequências alfanuméricas aleatórias (CAPISIZU, 2019, p. 663).

Em relação aos smart contracts, as entidades operacionais não possuem uma forma física; são, ao invés disso, representações cibernéticas. Especificamente, em um blockchain, as transações são conduzidas entre chaves criptográficas, que podem, ou não, estar vinculadas a indivíduos reais. Existem diversas possibilidades: uma chave criptográfica pode estar ligada a uma identidade digital duradoura de uma pessoa real ou pseudônimo, ou pode não conter informação identificável alguma, permitindo operações completamente anônimas (WERBACH; CORNELL, 2017, p. 370-371).

Diversos cenários são possíveis no que concerne ao manuseio de chaves públicas. Um indivíduo pode possuir múltiplas chaves públicas; várias pessoas podem compartilhar acesso a uma única chave pública; ou uma chave pública pode ser transferida de uma pessoa para outra.

Portanto, o anonimato, característica intrínseca à tecnologia blockchain, pode potencialmente obstaculizar a capacidade jurídica das partes de engajar em transações.

Além disso, os smart contracts manifestam desafios singulares ao assegurar a observância das legislações e normativas voltadas ao enfrentamento da lavagem de dinheiro e outros empregos ilícitos. O cerne da estratégia para coibir práticas ilícitas mediante o uso de smart contracts reside na atuação assertiva das autoridades em duas fases cruciais. Primeiramente, durante a codificação de criptoativos, que comumente carecem de regulamentação, em dinheiro convencional, que é intrinsecamente regulado. Em segundo lugar, nas iniciativas empreendidas por entidades centralizadoras que funcionam como intermediários nas transações envolvendo moedas virtuais e smart contracts.

Também se destaca uma peculiaridade dos smart contracts por estarem suscetíveis a imperfeições e erros (conhecidos como *bugs*), oriundos de sua natureza codificada e da falibilidade humana inerente ao seu desenvolvimento. Tais inconsistências, mesmo que não sejam substancialmente críticas a ponto de comprometer a integridade do programa, podem culminar em desvios significativos na execução do que foi pactuado, desviando-se das intenções originais das partes envolvidas. Consequentemente, a autoexecutabilidade dos smart contracts não é garantia de uma execução impecável e fiel dos termos acordados, pois as falhas presentes podem conduzir a cumprimentos que divergem das expectativas e acordos estabelecidos pelas partes.

Pondera-se sobre o cenário em que falhas na interpretação, formulação ou execução do código de um smart contract resultem em divergências entre os termos mutuamente acordados e as obrigações efetivamente executadas no blockchain. Nesse caso, haveria um equívoco bilateral em relação ao consenso, o que, em teoria, justificaria a anulação do contrato. No entanto, tal providência mostra-se impraticável no blockchain (LUESLEY, 2019, p. 165).

Por fim, é importante ressaltar que a tecnologia blockchain não está imune a ataques cibernéticos. No item anterior, falou-se acerca do *crowdfunding da DAO.Link* que arrecadou quantia milionária. Contudo, o referido projeto sofreu um ataque hacker que desviou aproximadamente US\$ 60 milhões (Werbach; Cornell, 2017). No entanto, é crucial clarificar que o incidente não foi um ataque hacker convencional, já que manobra que resultou no desfalque explorou uma série de smart contracts válidos dentro da lógica formal da DAO.Link.

Dado que não havia soluções técnicas ordinárias ou legais claras para resolver o problema, a comunidade Ethereum foi compelida a intervir. Uma ação drástica foi tomada: a execução de um *hard fork* (Werbach; Cornell, 2017), uma técnica que alterou o blockchain para corrigir o desvio. Esse ato de intervenção humana, embora necessário, teve implicações profundas, desencadeando questionamentos significativos sobre a confiabilidade dos smart contracts (Costa; Marques, 2019), considerando-se que tal conduta certamente vai de encontro à promessa de imutabilidade do código.

O incidente com a DAO.Link não só revelou que os smart contracts são vulneráveis a falhas humanas em sua codificação, mas também evidenciou como sua rigidez pode ser calamitosa, podendo exigir intervenção humana extraordinária, incluindo a possível atuação do Poder Judiciário.

A adoção de *hard forks*, como solução, é complexa e carrega consigo uma miríade de desafios e implicações. A prática é condicionada ao apoio da maioria da comunidade envolvida, algo compreensível no contexto da DAO.Link, devido ao montante significativo em questão.

No entanto, em um cenário em que os smart contracts são amplamente utilizados, a implementação repetida de *hard forks* pode ser impraticável e potencialmente prejudicial para a operacionalidade do blockchain.

Os *hard forks* representam um dilema interessante e técnico no campo blockchain, relacionado à modificação do livro-razão ou do código subjacente. A ausência de uma autoridade centralizada significa que o controle do livro-razão é exercido pela maioria dos participantes da rede. Essa característica permite que uma maioria possa, unilateralmente, modificar ou invalidar transações legítimas. Questões relacionadas a *hard forks* e atualizações de blockchain são intrinsecamente políticas e a possibilidade de uma solução política é incerta, especialmente quando os conflitos afetam um número limitado de participantes. A decisão de implementar uma atualização ou fork é influenciada por diversas considerações, e não apenas técnicas, mas também políticas e empíricas (GRIMMELMANN, 2019). Em caso de desacordo dentro da comunidade blockchain, diversas consequências podem emergir, incluindo a restauração do status quo, a implementação da mudança proposta, ou até mesmo a divisão do blockchain em duas entidades distintas.

## 4 O CONSENTIMENTO E OS SMART CONTRACTS

### 4.1 O Código é a Lei? A *Lex Cryptographia*

A tecnologia blockchain, impregnada de um ideal libertário, emergiu como um banco de dados distribuído, imutável e seguro. O seu desenvolvimento tecnológico inovador implica o advento de uma nova ordem legal, denominada *Lex Cryptographia*, conforme explorado por Primavera de Filippi e Aaron Wright (2015). Esta nova ordem se caracteriza por normas administradas através de smart contracts e organizações descentralizadas, assegurando descentralização, autonomia e resistência a interferências externas ou internas (Wright; De Filippi, 2015).

A ideia libertária não seria inédita na história do Direito à época. Na Alta Idade Média, o ressurgimento do comércio além das fronteiras feudais ou regionais deu origem à *Lex Mercatoria*, um corpo de regras costumeiras estabelecidas não por autoridades, mas pela prática comercial contínua. De maneira análoga, a *Lex Informatica* emergiu com a internet, preenchendo o vácuo deixado pelas leis nacionais e internacionais que foi materializada por provedores de internet e plataformas digitais que, através de mecanismos privados de regulação, estabeleceram normas para o ciberespaço (DE FILIPPI; WRIGHT, 2015).

A *Lex Cryptographia*, nesta análise, representa uma evolução na autorregulação digital, ostentando um grau superior de autonomia e inviolabilidade, fundamentada na robustez da tecnologia blockchain. Comparativamente à *Lex Informatica*, ela simboliza uma nova fase na jornada da autorregulação no domínio digital, oferecendo uma estrutura legal espontânea e privada, mas resiliente contra interferências estatais e supranacionais (DE FILIPPI; WRIGHT, 2015).

Lawrence Lessig argumenta que o ciberespaço não é totalmente autônomo. Ele propõe que a regulação no ambiente digital é multifacetada, composta por leis, normas sociais, mercado e arquitetura de códigos. A lei, apesar de desafiada pela natureza efêmera do ciberespaço, ainda é um instrumento aplicável e influente, mas que necessita se adaptar à nova realidade (DE FILIPPI, WRIGHT, 2015).

Lessig (2006) identifica quatro modalidades que influenciam o comportamento humano no ciberespaço: leis, normas sociais, mercado e arquitetura (ou código). Em relação a concepção arquitetônica dos códigos computacionais, que atuam como delineadores das possibilidades e limitações inerentes a um software, uma perspectiva elucidativa é apresentada pelo mencionado autor. Ele contempla a variação das configurações de acesso e as modalidades de interação permitidas pelos códigos em diferentes ambientes



digitais. Articula ainda que, em determinados contextos, a entrada no software é condicionada à inserção de uma senha, enquanto, em alternativas situacionais, o acesso pode ser concedido independentemente da identificação do usuário. O autor também destaca as escolhas de linguagem e as ferramentas de criptografia disponíveis para os usuários. Ele expõe que, em certos ambientes digitais, os usuários têm a prerrogativa de optar por uma linguagem codificada, acessível apenas ao destinatário pretendido através do uso de criptografia. Contrapondo-se a isso, ele observa que existem espaços onde as possibilidades de criptografia são restritas ou inexistentes. Dessa forma, Lessig (2006) evidencia que o código, software, arquitetura ou protocolo são elementos fundamentais que prescrevem e modulam as funcionalidades e restrições, sendo esses atributos orquestrados pelos programadores. Esta perspectiva ressalta a preeminência do design e da programação na constituição das regras e parâmetros que governam a operacionalidade e as interações permitidas dentro de um ambiente digital.

Nesse contexto, os códigos são percebidos não apenas como meros produtos da criatividade e engenhosidade humana, mas também como entidades análogas às leis que regem o comportamento no mundo digital (*code is law*). Dessa forma, a conformidade ou não conformidade dos programas de computador com as normas legais estabelecidas emerge não como uma ocorrência arbitrária, mas sim como resultado de uma escolha deliberada. Esta escolha, por sua natureza, está sujeita ao escrutínio e à regulação por parte das autoridades competentes, demonstrando a possibilidade de uma interação regulatória entre os domínios tecnológico e jurídico (LESSIG, 2006).

Outra perspectiva no diapasão da *Lex Cryptographia* é que o atributo de autoexecutabilidade, já exhaustivamente apresentado, está intrinsicamente ligado ao conceito de "confiança sem confiança" (*trustless trust*), permitindo que o blockchain fomente confiança entre as partes sem a necessidade de intermediários confiáveis, como instituições bancárias ou Estados (FINCK, 2018). Tal visão também está alinhada com a visão de Lawrence Lessig sobre o ciberespaço, em que os códigos, conscientemente criados, atuam como leis, consolidando o princípio "o código é lei" (*code is law*).

É inegável que a autonomia dos smart contracts, eliminando a necessidade de intermediários e reduzindo o risco de inadimplência, é vista como uma vantagem significativa. Eles têm o potencial de revitalizar mercados economicamente inviáveis devido à falta de confiança, facilitando transações sem a necessidade de intervenção humana e garantindo a execução automática dos termos acordados (BORGOGNO, 2020).

No entanto, a proclamação de que os smart contracts são completamente autossuficientes e que inauguram uma *Lex Cryptographia* é uma afirmação que carrega tanto peso político quanto técnico, tendo em conta o que se apresentou até o momento. No contexto brasileiro, a Constituição de 1988 salvaguarda o direito de acesso ao judiciário em caso de lesão ou ameaça a direitos, refletindo a indisposição do ordenamento pátrio em permitir exceções libertárias, como a *Lex Cryptographia*.

Consequentemente, por não haver outro caminho, contemplar a inserção dos smart contracts no espectro jurídico nacional, tendo em vista a disrupção que emerge pela tecnologia, torna-se imperativo abordar, com a devida profundidade e critério, o instituto do consentimento, levando em consideração as potencialidades e limitações intrínsecas dos smart contracts, conforme discutido no Capítulo anterior.

#### **4.2 Por que escolher os Smart Contracts? Razões Econômicas**

No âmbito da celeridade e eficiência nas transações, bem como na mitigação de riscos associados a infrações contratuais, os smart contracts emergem como uma solução promissora, (CVETKOVIC 2019, p. 238). A evolução tecnológica carrega a promessa de suplantar instrumentos tradicionais, promovendo a execução de obrigações de maneira mais eficaz (BARBOSA, 2020, p. 55) e permitindo uma maior customização *a priori* (WERBACH e CORNELL, 2017, p. 353). Todavia, essas vantagens não estão isentas de custos, particularmente quando considerados os perigos mencionados no Capítulo anterior, os quais incluem a exposição dos contratantes a vulnerabilidades e ameaças ao interesse público, sobretudo diante da possibilidade de celebração de smart contracts para fins ilícitos.

Como discutido, a tecnologia blockchain representa um repositório de informações e dados que podem ser convertidos para a forma criptografada e compartilhados via internet, atuando como um livro-razão digital que guarda semelhanças com os registros contábeis tradicionais (NAKAMOTO, 2008, p. 2), tendo solucionado uma complexa questão computacional conhecida como o "problema dos generais bizantinos": alcançar um consenso entre partes que não confiam reciprocamente, em busca de um objetivo comum, mesmo diante da presença de "traidores" que visam objetivos contrários (VAN PEBORGH, s/d). O blockchain viabiliza a troca de informações e dados sem a necessidade de um intermediário confiável, razão pela qual é frequentemente referenciada como o "Protocolo da Confiança".

Por conseguinte, a mencionada tecnologia pode proporcionar um novo paradigma nas teorias clássicas dos contratos e obrigações, demandando uma análise aprofundada de

princípios basilares tais como: (i) *pacta sunt servanda*, visto que o acordo contratual adquire força de lei com efetividade amplificada pela inflexibilidade; (ii) a boa-fé objetiva, uma vez que, pela eliminação de intermediários, as declarações de vontade se revestem de uma confiança, em teoria, não sujeita a interpretações, oportunismo ou desonestidade; e (iii) a função social do contrato, já que os deveres e a lealdade contratual transcendem o abstrato, fomentando relações economicamente sustentáveis e socialmente responsáveis. Entretanto, a política de inflexibilidade dos smart contracts no blockchain, em que as partes são compelidas à execução do acordado sem alternativas (WRIGHT; DE FILIPPI, 2015, p. 26), suscita desafios significativos como já explorados. Reforça-se a questão da liberdade contratual das partes em optar pela não execução do contrato, a depender da conjectura. Em segundo, interfere nas relações jurídicas que, por sua natureza, não admitem interrupção ou inexecução. A linguagem de código seca e determinista dos smart contracts, aliada à irreversibilidade do consenso, pode, paradoxalmente, induzir à invalidade dos smart contracts em determinadas situações (WRIGHT; DE FILIPPI, 2015).

Na perspectiva tradicional, os contratos desempenham o papel fundamental de viabilizar a autocomposição de interesses e garantir a execução pacífica de transações, proporcionando clareza e segurança de que as obrigações assumidas serão (ou ao menos deveriam ser) integralmente cumpridas pelas partes envolvidas. A existência dessa confiança mútua permite que as partes negociem e atuem com base em expectativas mais sólidas, impulsionando as relações comerciais e sociais de forma eficiente e confiável. Ainda acerca de tal confiança, caso ocorra uma situação em que essas expectativas não sejam concretizadas, as partes têm o conhecimento de que podem recorrer, em regra, ao sistema judicial para buscar a execução forçada (*enforcement*) do acordo e a reparação das perdas e danos decorrentes do eventual descumprimento do outrora fora estabelecido (Lôbo, 2011). Essa abordagem tradicional tem sido o alicerce do sistema contratual ao longo do tempo e, até então, tem sido uma das principais formas de garantir a estabilidade e a efetividade dos contratos em diversas sociedades, além de contrabalancear eventuais falhas e assimetrias, procurando incentivar relações econômicas socialmente desejáveis (SHAVELL, 2004).

O *enforcement* de uma transação pode ser influenciado por fatores humanos, externos ou eventos imprevistos, como força maior, além da ineficiência de determinado sistema jurídico em fazer cumprir a vontade das partes, entre outros elementos que podem afetar ou mitigar a concretização do que fora acordado. No entanto, no contexto dos smart contracts, uma vez que as condições preestabelecidas para a sua celebração são atendidas, a execução dos termos se torna inevitável. Isso se deve à natureza automatizada, autoexecutável e transparente dos smart

contracts, que não dependem de intervenção humana ou de terceiros para serem implementados e monitorados, garantindo assim, em tese, alto grau de confiabilidade e certeza quanto ao cumprimento integral das obrigações contratuais. Confiança tal que emana do código computacional e não do *enforcement* tradicional. Essa característica distintiva dos smart contracts pode representar uma evolução significativa na busca por contratos mais eficientes e seguros, eliminando incertezas e potenciais obstáculos à execução das transações acordadas.

As transações econômicas (relações contratuais) são a forma através da qual ocorre interação entre os agentes econômicos, os quais se relacionam com o propósito de alocar eficientemente seus bens e serviços disponíveis, buscando maximizar seus interesses individuais. Isso, por sua vez, enfatiza a questão dos custos de negociação, surgindo a necessidade de que as transações ocorram de maneira mais eficiente (com o menor gasto possível) (Pimenta, 2012).

De acordo com Coase (1937), as instituições legais impactam o comportamento dos agentes econômicos, sendo o Direito um instrumento de distribuição e eficiência na realização dos objetivos. Os custos de transação têm um impacto significativo ao influenciar as escolhas dos indivíduos ao resolverem conflitos de interesses, e isso pode ter importantes consequências para o progresso econômico. Os custos de transação referem-se aos custos envolvidos em uma troca e, nesse contexto, Robert B. Cooter e Thomas Ulen (2011) os associam a três momentos distintos:

Uma troca tem três etapas. Primeiro, um parceiro de troca deve ser localizado. Isso envolve encontrar alguém que queira comprar o que você está vendendo ou vender o que você está comprando. Em segundo lugar, uma barganha deve ser feita entre os parceiros de troca. Uma barganha é alcançada por meio de uma negociação bem-sucedida, que pode incluir a redação de um acordo. Terceiro, depois que uma barganha foi alcançada, ela deve ser cumprida. O cumprimento envolve monitorar o desempenho das partes e punir as violações do acordo. Podemos chamar as três formas de custos de transação correspondentes a essas três etapas de uma troca: (1) custos de busca, (2) custos de negociação e (3) custos de execução.

Consequentemente, observa-se que, sob o viés da economia comportamental, os smart contracts promovem uma transformação significativa. A automação integral desses programas extingue a necessidade de confiança, simplificando as transações ao excluir a variável do discernimento humano (SWAN, 2015, p. 17). A conduta das partes contratantes pós-assinatura do contrato torna-se menos influente, reformulando por completo o conceito de boa-fé objetiva no contexto jurídico. Os smart contracts operam de maneira distinta daquela à qual se está acostumado no uso convencional de contratos (LEVY, 2017). Assim como os acordos tradicionais, os smart contracts apresentam-se como um mecanismo viável para coordenar

interações entre indivíduos e coletividades. Ambos buscam mitigar o desafio de superar a desconfiança recíproca em relação ao cumprimento das obrigações estipuladas, já que a natureza dessas obrigações, postergadas no tempo, submete as partes ao risco de inadimplência contratual, seja pelas partes ou por fatores externos (intermediários, por exemplo).

Destarte, os *smart contracts* não exigem, *a priori*, que as partes confiem no Estado (execução judicial) ou em intermediários, sejam eles públicos ou privados, para garantir o cumprimento da transação acordada. À medida que a busca pela diminuição dos custos de transação e o aprimoramento da eficiência nas transações econômicas são metas a serem alcançadas, não se pode negligenciar que o advento dos *smart contracts* tem o poder de impactar de maneira substancial as interações entre indivíduos, o processamento de informações, as negociações, a participação no mercado, a economia, as empresas e até mesmo o campo jurídico. Por conseguinte, os *smart contracts* emergem como uma oportunidade para incentivar condutas que reduzam tais custos, criando um ambiente mais favorável à cooperação e ao aumento das transações (Ribeiro, 2017).

Essas transações mais eficientes e com menores custos de transação podem provocar mudanças na natureza das empresas e nas teorias de administração. Com a possibilidade de realizar transações seguras, rápidas e econômicas, é possível surgir a necessidade de reformular conceitos fundamentais da teoria da empresa, uma vez que a teoria dos custos de transação e sua economia abordam a organização econômica como um problema de contratação (Cavalcanti; Nóbrega, 2020).

Surge, pois, um potencial promissor para o processo de transacionar, já que não é mais imprescindível confiar em intermediários para assegurar a integridade da transação, mas sim no próprio processo transacional sustentado por uma rede de consenso, o que resulta em uma nova opção de transacionar com custos significativamente reduzidos principalmente em ambientes de baixa confiança, seja nacionalmente ou internacionalmente.

No contexto brasileiro, a atribuição de responsabilidade e autonomia para as partes em suas transações tem ganhado destaque, como demonstra a promulgação da Lei nº 13.874 de 2019, conhecida como Declaração de Direitos de Liberdade Econômica. Além disso, ressalta-se a recente inclusão do parágrafo único no art. 421 do Código Civil Brasileiro, que assegura: "nas relações contratuais privadas, prevalecerão o princípio da intervenção mínima e a excepcionalidade da revisão contratual". Este princípio reforça o compromisso com a autonomia privada e a segurança jurídica, valorizando a liberdade contratual e limitando a interferência estatal nas relações privadas.

### 4.3 O Consentimento e os Smart Contracts

No contexto jurídico brasileiro, a caracterização do consentimento comumente se inicia pelo exame dos institutos dos atos jurídicos, fatos jurídicos e negócios jurídicos e o papel dos contratos (GOMES, 2008). Sob essa perspectiva, o ato jurídico, em sua acepção mais abrangente, admite três modalidades distintas: atos jurídicos *lato sensu*, negócios jurídicos e atos ilícitos. Nesse sentido, FIUZA (2010) explica que o ato jurídico *lato sensu* é qualquer conduta lícita que, mesmo desprovida de um propósito determinado, acarreta consequências jurídicas não por conta da vontade dos agentes, mas por imposição legal.

Já o negócio jurídico é entendido como a manifestação de vontade humana direcionada para a obtenção de efeitos jurídicos específicos, sejam eles a constituição, modificação ou extinção de relações ou situações jurídicas. Essa definição, que se apoia na autonomia da vontade e no princípio do livre-arbítrio, é defendida pela maioria dos juristas (FIUZA, 2010). Há também a noção de contrato enquanto negócio jurídico é apreciada sob a ótica de sua função de autorregulação (TEPEDINO; KONDER; BANDEIRA, 2020) de interesses. Em um espectro mais amplo, outros estudiosos, enfatizam que o ato jurídico em si já constitui uma manifestação de vontade que visa à criação, alteração ou extinção de uma relação jurídica (AZEVEDO, 2004).

Além disso, destaca-se a diferença na atribuição de força executória aos contratos, contrastando os sistemas jurídicos mais alinhados ao *civil law* com aqueles do *common law*. Em contrapartida, nos sistemas de *common law* a existência de uma "*consideration*", ou seja, uma contrapartida legalmente suficiente (uma barganha), é essencial para a exequibilidade de um contrato, os ordenamentos jurídicos do *civil law* reconhecem com maior flexibilidade a vinculação de negócios jurídicos gratuitos, como é o caso do comodato (TEPEDINO; KONDER; BANDEIRA, 2020).

A análise da natureza patrimonial em relações jurídicas contratuais, em certos momentos, não é abarcada adequadamente na definição de contrato (SANTOS, 1975, p. 6) ou é objeto de uma abordagem distinta e especializada (BARROS, 2004, p. 33). Ademais, há situações em que a definição contratual negligencia a imprescindível conformidade com o ordenamento jurídico (AZEVEDO, 2004, p. 23).

A corrente doutrinária que associa o Direito Civil à constitucionalização adota uma perspectiva ao valorizar as situações que envolvem direitos fundamentais e existenciais do indivíduo, atribuindo-lhes um peso e tratamento jurídico diferenciados em relação aos contratos estritamente patrimoniais (PERLINGIERI, 2008, p. 122). Nesse diapasão, MEIRELES (2009)

argumenta que a possibilidade de negociar e proteger direitos da personalidade, bem como seus reflexos econômicos, não os submete inteiramente à lógica do direito contratual tradicional.

No cenário internacional, pesquisadores realizam estudos comparativos acerca dos smart contracts avaliando-os sob a ótica das legislações de diferentes sistemas jurídicos. No direito inglês, majoritariamente identificam quatro elementos fundamentais que compõem um contrato, sendo o primeiro a oferta e a aceitação. Constatam que, em plataformas como Ethereum, a dinâmica de oferta e aceitação em smart contracts ocorre de maneira similar à tradicional, com a oferta codificada em blockchain sendo aceita através da inserção de uma chave privada por outra parte (DUROVIC; JANSSEN, 2020).

O segundo elemento é *consideration* — conceito peculiar ao direito anglo-saxônico e que significa uma barganha por algo em troca de uma promessa —, cita-se E. Allan Farnsworth (1998), que defende a flexibilidade do termo. Segundo o autor, qualquer coisa que possa ser objeto de barganha em troca de uma promessa pode servir como *consideration* (Farnsworth, 1998). Nesse sentido, no contexto de smart contracts, a troca é facilmente identificável, exemplificando com a aquisição de bens físicos representados por tokens com pagamento em moeda digital (Durovic; Janssen, 2020).

Por outra perspectiva, questiona-se a presença de uma "troca de promessas" nos smart contracts, dado que estes executam-se automaticamente após a celebração, sem necessidade de ações futuras das partes. No entanto, ainda sim é possível concluir que os smart contracts ainda representam um mecanismo voluntário de alteração de direitos e deveres, análogos aos contratos de execução imediata, nos quais o acordo e a execução ocorrem simultaneamente (Werbach; Cornell, 2017).

No que se refere ao último elemento no direito inglês — a intenção de criar relações legais ou obrigatórias, Janssen e Durovic (2020) veem nos smart contracts a presença desse propósito, o que os qualificaria como obrigações legalmente exigíveis.

No Direito brasileiro, Caio Mário da Silva Pereira (2015) e Orlando Gomes (2007) caracterizam o contrato como um acordo de vontades que visa adquirir, resguardar, modificar ou extinguir direitos, exigindo a presença de ao menos duas partes com interesses econômicos contrapostos.

Merece destaque a doutrina de Enzo Roppo (2009) que argumenta que os contratos regulam relações econômicas, são amparados pelo princípio da liberdade das formas e possuem um elemento volitivo essencial, sendo a expressão jurídica de uma operação econômica. Roppo destaca que o formalismo excessivo é descartado na contemporaneidade, prevalecendo a

vontade como elemento criador dos contratos. A liberdade das formas é o princípio predominante, sendo a formalidade requerida pela lei apenas em circunstâncias excepcionais.

De qualquer modo, convergindo os conceitos de Caio Mário, Orlando Gomes, Enzo Roppo, tendo como ponto de partida as três características estruturais dos contratos – bilateralidade, patrimonialidade e obrigatoriedade, emerge a visão da reverberação dos smart contracts na teoria geral dos contratos, pelo que se expôs do seu funcionamento, em que pese demande um certo grau de disrupção no ordenamento jurídico.

Nos ensinamentos de Enzo Roppo (2009), em uma visão contemporânea, verifica-se uma tendência de afastamento de formalidades desnecessárias. Invariavelmente, o elemento primordial reconhecido é a vontade das partes envolvidas. Essencialmente, a exigência recai sobre a eficácia da comunicação da vontade, de modo que o destinatário entenda de forma clara o intuito manifestado pela outra parte, consoante e baseando-se no princípio da liberdade das formas, dentro dos limites legislativos quando houver exigência da respectiva forma e condições. No mesmo sentido, apesar das limitações, o Direito brasileiro determina, no art. 107 do Código Civil (BRASIL, 2002), o princípio da liberdade das formas.

Sendo enquadrados como contratos no ordenamento brasileiro atual ou não, é inegável que são as principais características de parcela smart contracts e que possuem repercussão jurídica a forma eletrônica, natureza dual, exatidão, condicionalidade de seus termos e autoexecutabilidade (Savelyev, 2017). E em tal natureza dual, o acordo de vontades é o que se apoia o esforço acadêmico do presente trabalho, já que poderá servir de ponto de partir para valiosas outras discussões no âmbito do Direito Consumerista, Direito Empresarial, Direito Civil, entre outras especialidades.

Observa-se que há um paradoxo na escolha de utilização dos smart contracts: à medida que o smart contract executa fielmente os pressupostos descritos em seu código computacional, o “preço” poderá ser o consentimento das partes acerca do acordo, isto é, uma ou mais partes (inclusive todas as partes) poderão ficar insatisfeitas com o resultado da operação; ou, se os arranjos forem alcançados e os limites legais respeitados, poderá alcançar-se o seu “prêmio”. Não que tal dualidade não ocorra nos negócios jurídicos e contratos tradicionais, mas a inexorabilidade dos smart contracts pode potencializar a referida repercussão.

Logo, os smart contracts devem ser utilizados como opção cuidadosa partindo-se de suas principais propriedades, pois as limitações dos *Smart contracts* estão intrinsecamente ligadas as suas principais características disruptivas, já que, a depender da conjectura, verifica-se a possível necessidade ou intenção dos envolvidos em modificar as estipulações previamente acordadas no smart contract.



Pode-se dizer que, nos dias atuais, há maior adequação dos smart contracts para acordos de execução imediata ou com pouco espaço para adiamento. De fato, contratos que não se estendem ao longo do tempo tendem a ser menos afetados por alterações tanto do contexto externo quanto dos desejos intrínsecos das partes contratantes, o que é um aspecto fundamental na natureza de qualquer acordo (Cavalcanti; Nóbrega, 2020). Vide, por exemplo, o caso de smart contracts empresariais na seara de cadeia de produção que naturalmente estendem-se pelo tempo, contexto em que os oráculos podem viabilizar solução, conforme será explorado no item seguinte do presente estudo.

A fim de visualizar, em uma perspectiva prática, a problemática do consentimento, mencionam-se as situações contratuais em que não existe um equilíbrio informacional, hierárquico e/ou discussão do contrato, como é comum em contratos considerados de natureza consumerista. Isso porque a questão do consentimento é sensível, tendo em vista a potencial hipossuficiência do consumidor.

Para tanto, traz-se à baila a análise norte-americana, via Câmara de Comércio Digital, a partir da interpretação atribuída pelos Tribunais aos contratos denominados *clickwrap agreements*, que apresentam os termos e condições de uso aos consumidores que podem simplesmente podem concordar com o clique do botão de aceitar todas (Davis, 2007).

Na situação supracitada, a Câmara de Comércio Digital norte-americana entende que a notificação prévia em relação ao consumidor em relação a determinados tópicos a serem aceitos como fator determinante para decidir em casos concretos, em notável respeito à boa-fé e contexto do contratante. Já no caso de *smart contracts*, é previsível que as partes podem ter mais dificuldades para provar que forneceram os termos contidos em suas cláusulas, questionando a respectiva Câmara até que ponto os instrumentos eletrônicos podem e devem tomar decisões por meio de um *smart contract* (Chamber of Digital Commerce, 2016).

Na esfera dos contratos eletrônicos, observa-se um desafio significativo em relação à leitura e aceitação dos termos contratuais (como exemplo, os termos de uso de um aplicativo) por parte dos consumidores. A questão central, tanto para a doutrina quanto para a jurisprudência, reside na validação da aceitação contratual. Diante desse cenário, os tribunais brasileiros têm mitigado a obrigatoriedade da vinculação contratual nos acordos conhecidos como *browsewrap*, em que o consentimento é presumido simplesmente pelo uso do serviço ou acesso ao website, sem uma aceitação expressa dos termos, que muitas vezes estão dispostos de maneira pouco visível, por meio de *hiperlinks* no rodapé das páginas. Por outro lado, a prática jurídica tem reconhecido a validade dos *clickwrap agreements*, nos quais os termos do contrato são apresentados aos usuários de forma clara, exigindo um clique ativo para indicar a

concordância (CARNEIRO, 2020), apesar das críticas acerca de sua tendência a induzir os contratantes a desconsiderar a análise dos termos contratuais (FRISCHMANN; SELINGER, 2018; RADIN, 2014)

Apesar dos desafios inerentes à modalidade eletrônica dos contratos, a inovação dos smart contracts não se limita a sua forma eletrônica. Ademais, o aspecto inovador também não se encontra na linguagem formal utilizada, uma vez que a ideia de contratos codificados para serem interpretados por máquinas é discutida há várias décadas. A verdadeira disrupção dos smart contracts é atribuída ao avanço na automação, proporcionando um nível superior de autoexecução dos termos contratuais, sem a necessidade de intervenção humana ou judicial para a sua efetivação.

Argumentos sobre conhecimento e sofisticação podem ser ainda mais juridicamente eficientes quando o próprio código-fonte forma o smart contract e, por isso, conduzir grande margem de interpretação por parte do sistema judicial, até mesmo por despreparo tecnológico, como já apresentado no Capítulo anterior. Doravante, é possível que consumidores argumentem que lhes falta conhecimento ou sofisticação para criar, compreender ou concordar com certos termos do *smart contract* e, neste contexto, recorram ao Poder Judiciário, visando a sua flexibilização.

O Código de Defesa do Consumidor permite a modificação das cláusulas contratuais denominadas abusivas e, assim, estabeleçam prestações desproporcionais ou sua revisão em razão de fatos supervenientes que as tornem excessivamente onerosas, nos termos do art. 6º, V, CDC (BRASIL, 1990), com a possibilidade de declaração de nulidade cominado com o art. 51 do mesmo diploma legal.

Nesse cenário, emerge um dilema complexo quando confrontado com os atributos intrínsecos dos *smart contracts*. Esses protocolos digitais se caracterizam por sua imutabilidade e autoexecutabilidade, o que implica que as cláusulas uma vez definidas são automaticamente executadas sem necessidade de intervenção humana adicional. Enquanto essa característica aumenta a eficiência e a segurança das transações, pode entrar em conflito direto com a referida flexibilização superveniente demandada pelo Código de Defesa do Consumidor. A capacidade de ajustar cláusulas em resposta a mudanças nas circunstâncias, assim como a intervenção judicial também pode ser restringida pela natureza inalterável dos smart contracts.

Voltando à questão do consentimento em geral, a comparação dos smart contracts em relação aos *self-driving contracts* pode ser elucidativa para uma visão otimista. O estudo realizado por Anthony J. Casey e Anthony Niblett (2017) traz à luz duas categorias distintas

dentro do universo dos contratos tecnologicamente avançados: os smart contracts e os chamados *self-driving contracts* (LEVI *et al.*, 2018).

Os smart contracts são caracterizados pela automação de termos de um acordo, dispensando a necessidade de intermediários, e operam sob a premissa de que, se ocorrer um evento específico X, então a consequência Y deverá automaticamente ocorrer. Em contrapartida, os *self-driving contracts* avançam essa lógica para se ocorrer Y, a opção mais adequada será Y, empregando a inteligência artificial para monitorar as circunstâncias e determinar o melhor caminho a ser seguido no contexto de um contrato (LEVI *et al.*, 2018).

Esses *self-driving contracts* fundamentam-se em dois aspectos centrais: primeiro, o resultado final almejado pelas partes; e segundo, a distribuição dos benefícios e ônus resultantes. A inteligência artificial, neste cenário, é responsável por calcular as medidas mais eficazes para alcançar os objetivos acordados à medida que o contrato se desenvolve. O sistema converte os objetivos gerais, estipulados previamente, em diretrizes específicas a serem seguidas após a celebração do contrato, denominadas "microdiretivas específicas" (LEVI *et al.*, 2018).

Um desafio proeminente para os *self-driving contracts*, conforme identificado pelos pesquisadores, é a questão do reconhecimento do consentimento das partes pela jurisprudência. Isso ocorre porque as partes não têm conhecimento antecipado das obrigações exatas que serão ajustadas e impostas. Essa preocupação não é tão evidente nos *smart contracts*, visto que todos os arranjos são conhecidos ou podem ser conhecidos desde o início.

Por conseguinte, enquanto os smart contracts proporcionam uma previsibilidade e transparência desde o início das negociações, os *self-driving contracts* introduzem uma dinâmica contratual que se ajusta e responde em tempo real, embora com o desafio adicional relacionado ao consentimento e reconhecimento legal das obrigações que são geradas dinamicamente (LEVI *et al.*, 2018).

Outrossim, como visto, a manifestação de vontade das partes envolvidas é necessária para a formação de um vínculo jurídico válido. A presença de vícios de consentimento, como erro, dolo, coação, entre outros, pode comprometer a validade e eficácia do contrato, tornando-o suscetível de anulação, conforme os respectivos preceitos do Código Civil Brasileiro.

Avançando no estudo do consentimento, conforme se apresentou, uma abordagem contemporânea sobre a fundamentação contratual sustenta que a capacidade de se submeter voluntariamente às regras de um contrato é inerente aos direitos individuais garantidos constitucionalmente, em que pese, paradoxalmente, submeter-se a tais regras é um exercício de liberdade individual. Contudo, tal premissa só se sustenta quando a submissão às regras

contratuais é fruto de uma escolha genuinamente autônoma e soberana, conferindo à livre manifestação de vontade do contratante o papel de elemento essencial para a validade jurídica de um contrato (TEPEDINO, KONDER e BANDEIRA, 2020).

No âmbito das transações bilaterais, a aprovação, isto é, a reação do oblatário à oferta contratual, se manifesta como uma expressão unilateral de intento, exercendo um direito potestativo diante das estipulações delineadas pelo ofertante, conforme preconizado no art. 427 do Código Civil Brasileiro (BRASIL, 2002). A validade dessa aprovação se encontra atrelada à preservação das cláusulas iniciais e à sua pontualidade (TEPEDINO; KONDER; BANDEIRA, 2020, p. 179-180), visto que modificações nas cláusulas representam uma nova oferta.

A aceitação é um pilar do princípio do consensualismo, também conhecido como *consensus ad idem* ou *meeting of minds*, um conceito amplamente reconhecido no direito contratual internacional que estabelece que o simples acordo entre as partes constitui um contrato válido, salvo se houver exigências legais específicas relacionadas à forma ou à legalidade do objeto e da capacidade das partes (CAPISIZU, 2019, p. 661).

O caráter bilateral, ou em alguns casos plurilateral, é um atributo inegável dos contratos, refletindo-se na complementaridade das vontades das partes envolvidas, que se alinham em torno de um objetivo comum relacionado às obrigações e direitos estabelecidos mutuamente (TEPEDINO; KONDER; BANDEIRA, 2020, p. 46). Esse consenso entre as partes é um conceito amplamente aceito tanto no direito brasileiro quanto no contexto do *common law* (DINIZ, 2003, p. 24; MIRANDA, 2012).

As manifestações bilaterais de vontade podem ser tanto explícitas quanto implícitas. Embora o adágio "quem cala consente" não se aplique diretamente aos contratos, é incontroverso que a vontade pode ser inferida a partir do comportamento e do contexto em que as partes estão inseridas (GOMES, 2008, p. 60). A diferença entre as manifestações expressas e tácitas reside na evidência: uma é comprovada pelo contrato em si e a outra, pelas circunstâncias e ações dos envolvidos (BEACH, 1897, p. 772). As ações ou omissões das partes, que sugerem a aceitação dos termos negociados sem uma expressa assinatura ou anuência formal, podem gerar grande discussão (GOMES, 2008, p. 60; TEPEDINO; KONDER; BANDEIRA, 2020, p. 123; BEACH, 1897, p. 772). No entanto, tal debate parece deslocado no âmbito dos smart contracts, visto que a manifestação de vontade deve ser expressa através de dados pessoais e senha eletrônica para o registro dos termos no blockchain. A relevância dessa discussão emerge quando se consideram litígios sobre vícios de consentimento em smart

contracts, podendo os parâmetros de aceitação tácita fundamentar a defesa contra reivindicações de danos nessas circunstâncias.

No âmbito da manifestação explícita da vontade, teorias como a do comportamento social típico (LARENZ, 1956) e as relações jurídicas de fato (ASCARELLI, 1962) são consideradas de menor relevância para a discussão dos smart contracts, dada a formalidade e a natureza técnica requerida para a assinatura eletrônica, distanciando-se dos exemplos tradicionais das referidas teorias.

A licitude da vontade deve ser analisada à luz da legislação vigente, não se podendo basear unicamente no acordo entre as partes para determinar a legalidade de um negócio jurídico. Ademais, estabelecer se um smart contract foi firmado sob fraude ou coação exige uma análise das circunstâncias e contexto do negócio, não apenas uma mera consulta ao Código Civil (AZEREDO, 2014, p. 158). A vontade, para ser legalmente exigível, deve ser livre. Diversas condições podem viciar o consenso, como discrepâncias entre as expectativas do aceitante e a realidade, coação ou erro. Nesses casos, o consentimento não é livre, e a teoria da confiança, adotada pelo Código Civil, identifica esses vícios que impedem a formação de um contrato exigível (AZEREDO, 2014, p. 202).

Observa-se, em geral, que não há óbices à expressão da aceitação contratual por meio de códigos ou linguagem técnica. Analogamente aos contratos eletrônicos tradicionais, os smart contracts são formalizados aplicando-se os dispositivos legais pertinentes aos contratos celebrados na ausência física das partes, ou seja, os contratos à distância. Tais questões sugerem que uma vindoura regulamentação dos smart contracts poderia se valer das normativas existentes relacionadas à validação de assinaturas eletrônicas.

A utilização de assinaturas eletrônicas vem se intensificando desde a expansão do comércio eletrônico, e atualmente é uma prática consolidada tanto na legislação quanto na jurisprudência. Existem regras específicas para a validade dessas assinaturas e, de modo geral, sua validade é reconhecida. Nos Estados Unidos, a *Uniform Electronic Transactions Act* de 1999 estabeleceu parâmetros claros sobre a validade de contratos e assinaturas eletrônicas. Na União Europeia, a legislação conhecida como "Roma I" (Lei 593/2008) prescreve normas aplicáveis à execução de contratos e assinaturas eletrônicas. No contexto brasileiro, a Lei nº 14.063/20, sistematizou as regras para assinaturas eletrônicas em contratos com o setor público, distinguindo três categorias: a assinatura eletrônica simples, que possibilita a identificação do signatário; a assinatura eletrônica avançada, associada de forma unívoca ao signatário sem utilizar certificados da ICP-Brasil; e a assinatura eletrônica qualificada, baseada em certificado digital.

Acerca da regulação brasileira, entende-se por certificado digital as diretrizes da Medida Provisória nº 2.200-2/01, que desde sua promulgação estabelece a validade genérica de assinaturas eletrônicas que não são associadas à certificação, desde que as partes concordem com seu uso, corroborando a possibilidade de comprovação da manifestação de intenções das partes, via consentimento.

Transpondo o referido instituto aos smart contracts, como regra, o blockchain requer apenas o conhecimento e a utilização das chaves pública e privada, bem como senhas de acesso. Entende-se, portanto, que se trata de uma forma de assinatura eletrônica avançada, dada a sua associação unívoca ao signatário, embora o "signatário" em si não seja uma pessoa física, mas uma chave eletrônica. Caso a legislação exija a identificação física do signatário, a utilização de senha e chave eletrônica poderia não ser considerada sequer como assinatura eletrônica simples. No entanto, é provável que tal prática satisfaça o critério de ser admitida pelas partes como válida, conforme preconiza a referida Medida Provisória.

No tocante ao procedimento eletrônico de aceitação, os smart contracts guardam semelhanças com os supracitados contratos do *clickwrap*. Isso porque as questões comportamentais vinculadas ao simples clique não se aplicam aos smart contracts, uma vez que a assinatura eletrônica demanda uma ação mais consciente por parte do signatário, visto que deve inserir sua chave privada (LUESLEY, 2019), assemelhando-se mais a uma assinatura eletrônica (CAPISIZU, 2019, p. 665).

Porém, existem questionamentos sobre a capacidade de verificação do assinante no ato da assinatura, algo mitigado pela Lei nº 13.726 de 2018, que facilitou processos administrativos e reduziu exigências de reconhecimento de firma. Ademais, a possibilidade de senhas serem roubadas ou utilizadas indevidamente apresenta desafios probatórios, pois, uma vez empregadas no blockchain, as operações não podem ser revertidas ou canceladas. Surge, pois, a problemática de que, mesmo se a manifestação de vontade não for plenamente livre e consciente, o smart contract gerará automaticamente uma cadeia de obrigações inalteráveis. Em casos de uso irregular ou ilegal de senhas, a restituição de eventuais danos pode requerer ação judicial, já que, em tese, não é possível interromper a execução automatizada do smart contract.

Assim, do ponto de vista de manifestação da vontade em smart contracts ressalta-se que existem benefícios evidentes, como a execução quase incontestável conforme os termos acordados, e limitações, como a rigidez da linguagem formal, o anonimato e a falta de revisão posterior. A relevância dessas vantagens ou desvantagens é variável, dependendo das circunstâncias específicas de cada caso e das razões que fundamentam a celebração do smart contract.

Ademais, merece destaque que, em determinadas situações, a perda de senha pode acarretar a impossibilidade de manifestação da vontade em relação aos ativos digitais vinculados a um endereço no blockchain. São notórios os relatos de indivíduos que, ao esquecerem suas senhas, ficaram privados do acesso a ativos de valor significativo, até mesmo advindo do falecimento do titular dos criptoativos (POPPER, 2021).

Como elucidado na operacionalidade dos smart contracts, a chave privada se mostra crucial para a iniciação de um smart contract. Um extravio de senha ou token pode culminar na inabilidade de um indivíduo de concretizar smart contracts, uma situação que seria impensável na esfera dos contratos tradicionais.

No que tange à formalização da aceitação, o rompimento às concepções do contrato tradicional trazida pelos smart contracts se revela substancial. Embora a formalização da aceitação em si possa ser analogamente comparada aos contratos eletrônicos tradicionais, outros aspectos adjacentes a ela — como a identificação dos contratantes, a expressão da aceitação em cenários de perda de senha, e as situações em que o erro na formação da vontade levaria à invalidação do contrato — destacam os principais pontos de divergência entre os smart contracts e o instituto do consentimento.

De qualquer modo, a responsabilidade inerente dos contratantes ao se engajarem em transações jurídicas envolvendo smart contracts merece destaque. As partes envolvidas nos smart contracts devem se esforçar no planejamento e formulação dos termos do código fonte, cientes, e até mesmo almejando tal conjectura, que a atuação do Estado, via, por exemplo do Poder Judiciário, poderá ser mitigada para suprir eventuais omissões ou gerir circunstâncias não antecipadas. Escolher a utilização do smart contract inclusive poderá impactar positivamente nas negociações em ambientes de negócios em as partes conseguem antecipar potenciais incertezas e riscos na execução subsequente de seus acordos (EGGLESTON; POSNER; ZECKHAUSER, 2001).

#### **4.4 Soluções em Potencial**

A questão do consentimento desponta como um dos principais entraves à incorporação da tecnologia dos smart contracts no arcabouço legal moderno. Tal desafio decorre da rigidez destes instrumentos, a qual pode entrar em choque com o princípio da autonomia da vontade, especialmente quando se torna necessário promover alterações ou desfazer acordos após o início de sua execução no blockchain.

Não obstante essas dificuldades, é imperioso ressaltar que os smart contracts ainda carregam consigo o promissor potencial de transformar radicalmente as práticas de transação. Existem variados dispositivos que podem ser empregados para atenuar as restrições impostas pelos smart contracts. Há um grande esforço internacional para alternativas que possam mitigar os limites dos smart contracts, juntamente com outras tecnologias<sup>10</sup>. É digno de nota que cada dispositivo a ser apresentado detém um potencial de investigação próprio, dada a amplitude e profundidade de suas aplicações e consequências, tanto jurídicas quanto tecnológicas. A busca do presente estudo, após apresentar o problema do consentimento em smart contracts como objetivo central, é, de maneira não exauriente, exibir algumas das alternativas possíveis para contornar as limitações dos smart contracts que detêm a capacidade de influenciar positivamente a problemática em questão.

A utilização de modelos padronizados também se apresenta como um meio de facilitar a elaboração de smart contracts mais claros e inteligíveis, o que contribui para o esclarecimento dos termos acordados e para a prevenção de equívocos.

Entre as soluções potenciais, destaca-se o advento dos *Ricardian Contracts*, que representam uma fusão entre o texto compreensível ao ser humano e o código computacional, possibilitando uma interpretação mais nítida das intenções das partes envolvidas e, conseqüentemente, uma maior adaptabilidade aos seus desejos.

Outro caminho é a implementação de funcionalidades no código que permitem a alteração ou o término dos smart contracts, mesmo após estes terem sido ativados no blockchain.

Importante destacar que a União Europeia possui diversos estudos acerca do tema, principalmente, considerando-se que possui diversos projetos legislativos concernentes a tecnologia em discussão. Dentre os estudos, há diversas sugestões técnicas para a evolução do mercado e da legislação da Comunidade.

Complementarmente, a proposta de *judge as a service* figura como uma inovação que sugere a inclusão de uma entidade jurisdicional automatizada, com a capacidade de interceder nos smart contracts para garantir que sua execução seja fiel à lei e aos desejos das partes.

---

<sup>10</sup> A União Europeia tem empreendido uma série de investigações no âmbito em questão, particularmente em virtude de sua multiplicidade de iniciativas legislativas relacionadas à tecnologia em análise. Esses estudos trazem consigo uma variedade de propostas técnicas visando ao desenvolvimento do mercado e ao aperfeiçoamento do arcabouço legal da Comunidade. Vide como exemplo EUROPEAN COMMISSION, Directorate-General for Communications Networks, Content and Technology, Directorate F — Digital Transformation, Unit F3 — Digital Innovation and Blockchain, and Schrepel T., **Smart Contracts and the Digital Single Market Through the Lens of a “Law + Technology” Approach**, 2021.



Por derradeiro, os oráculos emergem como intermediários entre a realidade concreta e a esfera do blockchain, disponibilizando dados externos imprescindíveis à execução dos smart contracts dentro dos limites legais.

No entanto, observa-se que, apesar da existência de possíveis soluções para a questão do consentimento nos smart contracts, várias destas podem atenuar suas características fundamentais disruptivas. Essa mitigação, inclusive, tem o potencial de alterar substantivamente a natureza de um protocolo digital, chegando a ponto de desfigurar sua identidade como um smart contract. Reside na discricionariedade dos usuários, no exercício de sua Autonomia Privada, a seleção de uma ou múltiplas soluções, visando assegurar a concretização do objetivo almejado.

#### 4.4.1 *Templates* ou Modelos

A ideia de estabelecer uma "fábrica de smart contracts" que disponibilize modelos padronizados de código é um assunto frequentemente abordado na literatura acadêmica. Independentemente de serem autoridades públicas (EFIMOVA, 2021) ou entes privados (RIZZO, 2016) a criar esses modelos, há a possibilidade de torná-los obrigatórios ou simplesmente oferecê-los para uso voluntário.

Caso esses modelos sejam aplicados à base do código fonte do blockchain, eles induziriam uma conformidade de fato em todos os níveis subsequentes, até mesmo contendo explicações prévias dos arranjos por eles codificados. Por exemplo, alterações na imutabilidade de um blockchain afetariam diretamente os smart contracts construídos sobre ela. Contudo, essa efetividade traria o risco de perturbar todo o ecossistema, pois poderia diminuir a diferenciação do blockchain em relação aos sistemas centralizados já conhecidos tradicionalmente. Como foi previamente explicado, as relações de poder dentro de blockchains públicas e sem permissão, a exemplo do Bitcoin e do Ethereum, evidenciam a ausência de uma autoridade de comando e controle que se aplique aos desenvolvedores principais, usuários e mineradores. Impor modelos na base do blockchain, portanto, influenciaria todo o ecossistema, o qual não pode ser bifurcado (*hardforked*) com a mesma facilidade que os sistemas centralizados são adaptados para cada país.

De forma alternativa, esses modelos poderiam influenciar o código dos smart contracts ou cláusulas específicas (Xu *et al.*, 2018). Esses modelos são menos intrusivos do que os primeiros, mas ainda assim estão limitados pelas características do blockchain.

Adicionalmente, esses modelos poderiam se referir ao código e funcionamento dos oráculos. Conforme será explanado mais a frente no estudo, os oráculos podem assegurar que os smart contracts sejam ativados apenas quando estiverem em conformidade com regras legais específicas. Pode-se imaginar que instituições públicas desejem projetar tais oráculos e fornecer modelos. Elas também poderiam promover os modelos desenvolvidos por atores privados. De qualquer forma, os custos de monitoramento permaneceriam elevados, já que seria necessário verificar constantemente quais smart contracts estão utilizando esses modelos (Raskin, 2017).

Na prática jurídica tradicional é comum recorra-se a contratos previamente elaborados pela experiência ou até mesmo esboçados por terceiros como um ponto de partida para a confecção de novos documentos. Essa abordagem permite uma adaptação aos requisitos específicos de cada situação, promovendo a eficiência e a precisão. Tal prática jurídica fornece a inspiração para a confecção de modelos base para a programação de smart contracts, que se beneficiam da expertise de especialistas no ramo legal com o intuito de orientar a sua estruturação, especialmente nas fases iniciais de utilização geral dos smart contracts (DiMatteo; Poncibò, 2020).

As bibliotecas de smart contracts permitem a apropriação do conhecimento e do esforço intelectual acumulado, promovendo uma colaboração e troca de conhecimento que se intensifica com o tempo (Caria, 2020). Existem diversas bibliotecas de smart contracts, tanto armazenadas no blockchain (*on chain*) quanto disponíveis online (*off chain*) que compilam smart contracts que podem ser adaptados e reutilizados por outros usuários. Muitos deles já foram extensivamente testados na prática e podem aumentar a possibilidade de satisfação de seus arranjos. No caso mais como para a principal rede para smart contracts, a Ethereum, destaca-se a OpenZeppelin como principal biblioteca. Ela é *off chain*, de acesso aberto e mantida por sua própria comunidade.

A título exemplificativo, a utilização de modelos é aplicável tanto em transações de consumo, como nos contratos por adesão, visto que os parâmetros permitem ajustes específicos, quanto em relações comerciais mais amplas (Antonopoulos, 2019).

Significativos avanços têm sido observados nos esforços voltados à padronização, como pode ser exemplificado pelo consórcio R3<sup>11</sup>. O consórcio reúne centenas de corporações e instituições proeminentes no domínio da tecnologia e serviços, como IBM, Intel, Microsoft, Oracle, Allianz e HSBC, entre muitas outras. Um dos frutos dessa congregação foi a criação do

---

<sup>11</sup> <https://www.r3.com/>

blockchain Corda, especificamente projetado para ser empregado em smart contracts. Esse novo tipo de blockchain apresenta modelos, padrões e a capacidade de desenvolver aplicativos de acesso restrito, proporcionando, em teoria, uma camada adicional de segurança para os consumidores, ainda que, por outro lado, possa mitigar a descentralização do sistema (BAKSHI; BRAINE; CLACK, 2016).

A expansão das plataformas de smart contracts tem, assim, fomentado a elaboração de modelos que encapsulam as melhores práticas na sua formulação. Isso tem possibilitado a criação de modelos automáticos de smart contracts dentro de cada sistema. Para minimizar a margem de erro, as partes envolvidas podem se valer desses modelos, confiando na expertise de empresas e associações do setor que analisaram minuciosamente os possíveis riscos inerentes (RASKIN, 2017).

#### 4.4.2 Contratos Ricardianos e Smart Contracts Híbridos

Os chamados contratos ricardianos, uma concepção inovadora de Ian Grigg e Gary Howland, emergiram como um componente fundamental do sistema conhecido como *Ricardo payment system* (ou em tradução livre, Sistema de Pagamento Ricardo), um mecanismo digital dedicado à transação de títulos e ações. O sistema enfrenta a questão limitadora de operações eletrônicas de identificar o objeto de transação, incluindo a moeda e as condições inerentes ao ativo negociado. Visando resolver essa questão, Grigg (2004) delineou o contrato ricardiano como um “documento” que especifica o valor de uma emissão de título na internet, delineando o emissor, as condições e termos adicionais que o emissor considera pertinentes para conferir ao documento as propriedades contratuais.

Grigg estabelece que um contrato ricardiano deve incorporar quatro características fundamentais: unidade documental — a “*rule of one contract*”, que para os juristas traduz-se na noção de que um contrato é definido pelos limites físicos da página em que está inscrito; legibilidade para indivíduos; a assinatura do emissor; e a verificabilidade por meio de função *hash*, garantindo que qualquer modificação no conteúdo resulte em uma alteração no *hash* calculado, assegurando, assim, a autenticidade do contrato (GRIGG, 2004).

Importante elucidar que os contratos ricardianos são, primordialmente, uma metodologia que visa a transposição e tradução de contratos tradicionais para a linguagem computacional, constituindo uma estrutura que é decisiva para a automação contratual e, conseqüentemente, para a implementação de smart contracts (Moreira, 2018).

Esses contratos são compostos por três elementos vitais: parâmetros, código e prosa: os parâmetros referem-se às características específicas do contrato, como preços, datas, o objeto e seus atributos (quantidade e qualidade), bem como a moeda ou o meio de troca utilizado. A prosa é a transcrição desses parâmetros em linguagem natural, garantindo que sejam compreensíveis e acessíveis às partes envolvidas. E o código, que é o elemento que permite que os parâmetros sejam convertidos em um programa executável, é também a parte integral dos contratos ricardianos que se relaciona diretamente com os smart contracts (Mandal, 2019).

A metodologia dos contratos ricardianos propõe uma integração refinada entre um contrato articulado em linguagem natural e sua representação codificada computacionalmente, de modo que ambos se combinem em um único instrumento jurídico, que pode ser conceituado como "contrato-programa". Na prática tradicional, delineia-se por escrito os parâmetros essenciais, ao passo que se registra o *hash* do contrato codificado. Em contrapartida, na abordagem ricardiana, os referidos parâmetros são transcritos em forma de código, e o *hash* do contrato redigido é que é armazenado, exigindo, assim, que o contrato em linguagem natural possua uma versão digital, facilitando a extração de seu hash. A retenção recíproca desses *hashes* cria uma ligação inexorável entre as duas manifestações do contrato, e os parâmetros atuam como garantidores de que as estipulações contratuais permaneçam inalteradas em ambas as formas.

Na eventualidade de um impasse ou inconsistência no smart contract, a versão redigida em linguagem natural pode ser consultada para elucidar a matéria. Inversamente, a versão codificada do contrato também pode ser uma fonte valiosa de esclarecimento e evidência jurídica, demonstrando a reciprocidade interpretativa entre as duas formas contratuais. Essa interação harmoniosa entre os domínios linguístico e programático, proporcionada pelos contratos ricardianos, pavimenta um caminho promissor para a resolução de questões jurídicas na era digital, permitindo que os contratos evoluam de maneira a refletir a dinâmica contemporânea das transações e relações jurídicas (Werbach, 2018).

Como apresentado no Capítulo anterior, é amplamente reconhecida a complexidade inerente em traduzir as nuances da linguagem natural para a linguagem formalizada dos códigos de computador (*dry code versus wet code*). Christopher D. Clack, Vikram A. Bakshi e Lee Braine (2016) discorrem sobre essa questão ao analisar a estrutura de um contrato. Eles destacam a presença de dois tipos distintos de aspectos dentro de um contrato: os aspectos operacionais e os não operacionais. Os aspectos operacionais são aqueles que são passíveis de automatização, geralmente correspondendo a cláusulas contratuais cuja execução é clara e precisa, estando, portanto, diretamente ligados à performance do acordo estabelecido. Por outro

lado, os aspectos não operacionais englobam elementos que, seja por limitações técnicas inerentes à ciência da programação ou por outras razões, não são desejados ou não podem ser automatizados. Segundo os autores, é essencial que os aspectos operacionais, que têm correlação com atividades no mundo físico e, conseqüentemente, com a execução prática do contrato, sejam simplificados e de fácil execução. Em contrapartida, os aspectos não operacionais são predominantemente voltados para a delimitação dos procedimentos a serem adotados no advento de um desacordo entre as partes envolvidas, por exemplo, as medidas reparatórias (*remedies*) a serem aplicadas em cenários de performance parcial ou não performance do acordo (Bakshi; Braine; Clack, 2016).

Paul Catchlove (2017) contribui para esta discussão propondo a utilização de um contrato escrito, distinto, mas correlato ao "smart contract", como um meio de abordar situações imprevistas, como atrasos causados por fatores humanos ou falhas técnicas nos códigos. Essa proposta destaca a importância de ter um mecanismo que possa gerir circunstâncias não previstas ou que estejam fora do escopo de automatização proporcionado pelos smart contracts.

A interação entre os métodos tradicionais de contratação e os smart contracts também pode ocorrer de forma híbrida. Em determinadas situações, as partes envolvidas podem optar ou serem compelidas a, além de automatizar algumas cláusulas contratuais, manter outras em linguagem natural devido a questões técnicas ou conveniências específicas. Essa abordagem híbrida evidencia a necessidade de uma adaptação e integração entre os domínios do *wet code* e do *dry code* no contexto jurídico, garantindo assim uma maior eficácia e adaptabilidade dos contratos à diversidade de situações práticas que podem surgir (Wright; De Filippi, 2015).

No contexto do direito brasileiro, especialmente nas relações de consumo, o Código de Defesa do Consumidor enfatiza a clareza e a compreensão das informações aos consumidores. Por conseguinte, em caso de divergências entre o contrato em linguagem natural e a codificação computacional, a tendência, pela força do referido diploma legal, da jurisprudência seria privilegiar o formato mais claro para o consumidor, a menos que o contrato programado apresente termos mais vantajosos, conforme o art. 47 do CDC. Essa abordagem dual permite que os contratos escritos abordem nuances jurídicas complexas, como os princípios da "boa-fé" ou do "melhor esforço", que podem ser invocados em situações de disputa, enquanto a versão programada executa automaticamente as cláusulas operacionais.

Existem múltiplos níveis nos quais a automatização contratual em um smart contract pode ser mitigada, e observa-se que quanto menor for a automatização negativa (conceito previamente apresentado), mais semelhante o smart contract se tornará a um contrato tradicional em formato eletrônico.

Embora a discussão terminológica tenha sido abordada em capítulo anterior, é importante destacar que qualquer estrutura de smart contract que, de alguma forma, atenuie suas características intrínsecas de centralização e automação pode experimentar uma diluição de suas vantagens nesses aspectos. Contudo, é razoável considerar que formas híbridas de contratação automática possam ser mais apropriadas em cenários em que os riscos associados à automação negativa total não se justifiquem, mas ainda assim, a automação continue a agregar valor à eficiência do negócio jurídico. Tal cenário parece ser particularmente aplicável em contratos que envolvem consumidores.

Nesse contexto, emerge a ideia racional de criar blockchains especializados direcionados para a execução de smart contracts quando há partes hipossuficientes, como no caso do consumidor. Tais plataformas poderiam incorporar regras particulares de identificação e responsabilização dos fornecedores, além de mecanismos de resolução de conflitos integrados ao sistema (*Judge as a Service*), facilitando assim o ônus probatório aos consumidores.

#### 4.4.3 Oráculos

Os oráculos podem desempenhar um papel significativo no auxílio ao mitigar ilegalidades (EUROPEAN COMMISSION, 2021). É plausível empregar oráculos para encaminhar as cláusulas de smart contracts a especialistas jurídicos antes da sua execução. Ademais, é possível inserir estas cláusulas em sistemas de análise jurídica localizados fora do blockchain, os quais utilizam processamento de linguagem natural (por exemplo, podem identificar contratos de consumidores que aparentem violar a legislação de proteção ao consumidor). Os oráculos, então, poderiam transmitir os resultados advindos dessa análise especializada ou de sistemas de IA de volta ao blockchain, de modo a barrar smart contracts ilegais.

Certamente, a construção de tais sistemas demandará a criação de extensas bases de dados governamentais ou não. Embora a tarefa não seja simples, tais bases podem prevenir a circulação de smart contracts cujo objeto ou condições violem a legislação vigente.

Assim, os smart contracts poderiam acessar disposições legais armazenadas externamente ao blockchain (como, por exemplo, uma base de dados gerida pelo Governo Federal do Brasil) utilizando APIs como oráculos. É o caso já mencionado do Banco Central e da B3, principalmente a partir do atual desenvolvimento do Drex no Brasil.

Partes confiáveis poderiam atualizar essa base de dados, promovendo a conformidade dos smart contracts com a legislação atual ao extrair informações da base de dados e incorporá-

las como cláusulas do smart contract. Tal procedimento exigiria a conversão de obrigações legais em código.

Dentre outras questões, a utilização destas cláusulas poderia gerar um risco de centralização dos smart contracts, como mencionado no item anterior, porém, também contribuiria para assegurar legalidade dos smart contracts utilizados.

É imperativo empreender a criação de sistemas de IA operando sob supervisão humana para verificar a validade jurídica dos smart contracts e garantir a compatibilidade técnica com oráculos.

#### 4.4.4 Kill Switch ou Botão de Desligar

No âmbito da presente análise, foi evidenciado um desafio crucial imposto pelos smart contracts, que se refere à rigidez estrutural, impedindo as partes envolvidas de efetuar modificações, o que amplifica a vulnerabilidade frente a adversidades que possam emergir ao longo de sua execução. Diante deste cenário, foram ponderados e elaborados mecanismos que conferem a um smart contract, alojado na plataforma Ethereum, a flexibilidade de ser modificado ou, se necessário, rescindido (Juels; Marino, 2016).

Uma alternativa se desdobra na confiança depositada pelas partes contratantes em incorporar um mecanismo de interrupção, ou *kill switch*, na estruturação do smart contracts. As partes teriam a prerrogativa de moldar as condições sob as quais o mecanismo de interrupção será acionado, por exemplo, condicionando a ativação do *kill switch* ao consenso de todos os cocontratantes ou de entidades confiáveis específicas (como, por exemplo, usuários externos atuantes em sistemas judiciários descentralizados ou instituições reconhecidas ou até mesmo o Poder Judiciário).

A carência de dados empíricos que documentem a proporção de smart contracts providos de um *kill switch* incita a destacar duas tendências diametralmente opostas. Por um lado, é provável que alguns usuários se sintam inclinados a incluir um *kill switch*, caso conjecturem uma mudança de perspectiva futura e, conseqüentemente, temam a imutabilidade inerente aos smart contracts. Por outro lado, alguns usuários podem não prever um problema potencial na execução do contrato, seja por excesso de confiança (Kahneman, 1997) ou por optarem em diminuir os custos de monitoramento ao preservar a imutabilidade integral do contrato. Diante desta premissa, emerge uma questão técnica, pois nenhum usuário – nem mesmo as partes contratantes – terá a capacidade de interromper o smart contract.

No geral, percebe-se que os referidos mecanismos encontram aplicabilidade em três contextos distintos: i) na circunstância de a legislação conferir tal prerrogativa a uma das partes, permitindo, assim, a ação unilateral; ii) na eventualidade de um consenso mútuo entre as partes para tal fim; e iii) mediante intervenção judicial, também de maneira unilateral.

Nas mencionadas três situações que contemplam a rescisão de um smart contract: i) a ativação do mecanismo resulta na interrupção imediata de sua execução; ii) há uma compensação (por exemplo, de natureza indenizatória) preestabelecida para o cumprimento parcial do contrato; e iii) a operação do mecanismo é restrita àqueles que detêm autorização, seja esta bilateral, concedida por ambas as partes, ou unilateral, seja por vontade de uma das partes ou por ação judicial. O diferencial entre a “rescisão unilateral por iniciativa de uma das partes” (denúncia), a “rescisão unilateral judicial” (controle judicial) e a “bilateral” (distrato) reside na existência de cenários específicos programados para a primeira.<sup>12</sup>

A rescisão de um smart contract pode ser simplificada através da programação de uma função designada como *selfdestruct*, em tradução livre, autodestruição, conhecido também como *kill switch* (botão de desligar). Uma vez acionada, esta função direciona os *ethers* remanescentes a um endereço predeterminado e extingue os códigos do programa do blockchain. Uma abordagem mais sofisticada para a rescisão envolve a incorporação de uma função bifásica, nomeadamente: *ContractNotUndone* e *ContractUndone*. A primeira fase, *ContractNotUndone*, constitui o estado padrão da função, vigente desde a inicialização do programa. Ao se optar pela rescisão, o estado transita para *ContractUndone*, cessando a execução do software, sem possibilidade de reverter ao estado original. As demais funções são configuradas para serem interrompidas com a referida transição de estado (JUELS; MARINO, 2016).

Em paralelo, nas circunstâncias que demandam a modificação de um smart contract, o procedimento é semelhante ao da rescisão: i) a ativação do mecanismo interrompe a execução do programa, mas, contrariamente ao distrato, inicia-se a execução do software com as modificações introduzidas; ii) há uma compensação preestabelecida para a performance parcial sob os termos modificados; e iii) o uso do mecanismo é restrito àqueles que detêm autorização, similarmente ao que ocorre na rescisão. A única distinção entre a “modificação unilateral promovida por uma das partes” e as demais modalidades reside nas situações específicas de emprego previstas para aquela (JUELS; MARINO, 2016).

---

<sup>12</sup> JUELS, Ari; MARINO, Bill. **Setting Standards for Altering and Undoing Smart Contracts**. Rule Technologies. Research, Tools, and Applications. Springer, 2016. p. 151-166. p.153-155.



Existem duas metodologias distintas para a alteração de um smart contract. A primeira é mais direta, englobando as condições representadas por variáveis, como, por exemplo, o preço ou as horas trabalhadas (Lôbo, 2011). Nesse contexto, a alteração é efetuada através da atribuição de um novo valor à variável em questão, um procedimento já explorado na análise dos *templates*, não oferecendo, desse modo, desafios significativos.

A segunda metodologia demanda mais atenção, especialmente quando a intenção é modificar termos que, no software, são representados não por variáveis, mas por funções. Na plataforma Ethereum, ao contrário das variáveis que podem receber valores de maneira flexível, as funções são caracterizadas por sua imutabilidade.

A modificação de uma função em um smart contracts pode ser realizada de duas formas distintas. A primeira é viável quando o objetivo é eliminar uma função. Para tal, emprega-se o mesmo mecanismo utilizado para a rescisão de um contrato, ou seja, funções que operam como um interruptor, apresentando dois estados: “*on*” e “*off*”.

A segunda forma de alteração de uma função ocorre quando há o desejo de não apenas desativá-la, mas substituí-la por outra. Em tal contexto, pode-se novamente recorrer às funções com dois estados, desativando a função original e ativando a nova função que se deseja implementar em sua substituição. Esta abordagem permite a execução de uma nova funcionalidade, proporcionando uma flexibilidade controlada dentro da estrutura imutável que caracteriza os smart contracts na rede Ethereum.

Há outra possibilidade que é técnica na criação de um "contrato-satélite", mantendo os endereços de suas funções no contrato principal. Na eventualidade de uma modificação em uma função específica, como por exemplo, o método de cálculo do pagamento, o contrato principal, através do endereço armazenado, aciona a função requerida do contrato-satélite.

É importante observar que, em ambas as estratégias propostas acima, uma certa dose de "antecipação" se faz necessária, dado que tanto as funções bifásicas (*ContractNotUndone/ContractUndone* e *on/off*) quanto o contrato-satélite necessitam ser pré-programados. Isso implica que as partes devem possuir uma compreensão adequada sobre quais arranjos do smart contract podem, eventualmente, requerer alterações, após o início de sua implementação. Embora a realização do referido prognóstico com absoluta precisão seja inviável, a experiência comercial das partes envolvidas, somada à perícia de juristas e programadores, será de grande valia para antever o que, possivelmente, necessitará ser modificado.

Além disso, em um cenário menos favorável, as partes ainda terão a opção de rescindir o contrato, caso os desafios suscitados pelo smart contract, mesmo com as funções modificativas, tornem-se excessivamente severos, comprometendo sua viabilidade.

Por último, é pertinente destacar que nas estratégias supramencionadas prevê que o Poder Judiciário, de maneira unilateral, rescindirem o contrato ao modificarem o estado da função correspondente de *ContractNotUndone* para *ContractUndone*. Tal função, inclusive, poderia se tornar mandatória em todos os smart contracts, caso o legislador julgue necessário. Como mencionado anteriormente, a intervenção estatal contrapõe-se aos ideais libertários dos desenvolvedores precursores, mas é completamente legítima, conforme a contemporânea concepção de Autonomia Privada.

#### 4.4.5 *Judge as a Service* (JasS) e Soluções de Conflito Online

Uma abordagem alternativa que emerge como um campo de estudo relevante é a proposta do "*judge as a service*" (JasS), que visa a incorporar a intervenção estatal nos *smart contracts*, a fim de assegurar uma maior segurança e proteção aos usuários envolvidos. A essência dessa perspectiva reside na concepção de que as plataformas de contratação, nas quais os *smart contracts* são executados, devem ser submetidas a um processo de legalização que se alinhe com os preceitos do sistema judicial do país em questão, tendo em vista a crítica central de que, embora os smart contracts ofereçam eficiência e automação, eles podem carecer da capacidade de lidar adequadamente com nuances legais e situações imprevistas que frequentemente permeiam as relações contratuais.

A intervenção estatal pode ser percebida como um mecanismo de salvaguarda que não apenas agrega camadas adicionais de segurança, mas também estabelece um vínculo vital entre as inovações tecnológicas e os alicerces legais consagrados. Dessa maneira, a ideia de "*judge as a service*" busca harmonizar a agilidade e eficácia dos *smart contracts* com a expertise e a intervenção do sistema judicial ou não, gerando uma abordagem híbrida que potencialmente enriquece a aplicação do Direito, como explicado por Gonçalves:

Para isto foi sugerida a figura do "Judge as a Service", uma espécie de árbitro com poderes técnicos para reverter ou alterar transações realizadas através de smart contracts na Blockchain. Durante a elaboração do smart contract, predefine-se um ou mais indivíduos ou um mecanismo que definirá tais indivíduos (que podem ser escolhidos pelo algoritmo por meio de critérios como a reputação objetiva de um membro da comunidade, pela presença em um banco de dados previamente determinado ou que pode ser o próprio criador do smart contract) que analisará o negócio jurídico e atestará sua validade. Ele também terá poderes para garantir seu

cumprimento em observância com a lei da jurisdição na qual as partes se inserem e, assim, corrigir quaisquer vícios ou nulidades no contrato inteligente (Gonçalves, 2016).

A implementação do recurso denominado Judge as a Service (JaaS) revela-se como um pilar interessante para fomentar a aceitação e difusão das tecnologias baseadas em blockchain, já que, no panorama atual, os principais obstáculos à expansão desta tecnologia residem na insegurança e incerteza manifestadas pelos usuários finais em relação aos valores transacionados através do sistema. A ausência de garantias providenciadas pelo aparato estatal eleva a percepção de risco, desencorajando os usuários menos versados nas peculiaridades operacionais da tecnologia.

O projeto Judge as a Service (JaaS) propõe uma solução inovadora ao incorporar uma figura semelhante a um árbitro, detentor de competências técnicas, apto a rever ou modificar as transações efetuadas pelos smart contracts no blockchain. No processo de elaboração do smart contract, é designado um indivíduo responsável por analisar o negócio jurídico, conferindo-lhe validade e detendo autoridade para assegurar sua execução, em consonância com as leis da jurisdição em que as partes estão inseridas (GONÇALVES, 2016). Adicionalmente, a arquitetura da rede passa a comportar canais dedicados à resolução de conflitos, como é o caso do Jury.online (JURY.ONLINE, 2019). Esta plataforma congrega um coletivo de árbitros incumbidos de emitir pareceres favoráveis a uma das partes, sempre que um negócio é concretizado e, ao menos, uma das partes manifesta insatisfação.

Fomentar uma colaboração entre advogados e especialistas em informática pode ser uma solução para dirimir conflitos advindos da utilização de smart contracts. Dado o caráter descentralizado dos smart contracts, operando sobre a tecnologia blockchain, torna-se crucial estabelecer mecanismos de resolução de disputas desde a sua concepção. A implementação de um acordo mestre de resolução de disputas poderia assegurar a uniformidade na aplicação da legislação e dos métodos de resolução de disputas em toda a rede blockchain, ou ao menos em territórios específicos, apresentando uma solução transnacional.

A integração de Soluções de Resolução de Conflitos Online (*ODR*, na sigla em inglês) parece ser uma combinação propícia para os smart contracts, sobretudo quando incorporadas diretamente no blockchain (*on chain*), dado que operam de maneira análoga e no mesmo formato que os smart contracts. Os procedimentos de reparação podem ser intrinsecamente inseridos nos contratos, permitindo a resolução de disputas dentro da plataforma blockchain, sem a necessidade de intervenção judicial (SCHMITZ e RULE, 2019, p. 122). É viável a inclusão de uma cláusula durante a elaboração do smart contract que determine a utilização de

um sistema alternativo de resolução de disputas naquela plataforma de software, caso surja uma controvérsia. Se a tecnologia estiver integrada à plataforma empregada para criar os smart contracts, a cláusula pode se tornar vinculante no momento da criação do smart contract.

A adjudicação *on chain* engloba duas modalidades inovadoras de estruturação para a resolução de conflitos – as transações multi-assinatura (*multi-signature transaction*) e o acordo coletivo (*crowdsourcing*).

A primeira, multi-assinatura, representa uma forma simplificada de solução similar a um *escrow* manual, operada por um agente humano, em que uma carteira de ativos digitais detém três chaves – duas para os contratantes e uma para um terceiro imparcial. As assinaturas de duas chaves privadas são requeridas para transferências, ou seja, em caso de conflito, o terceiro imparcial atuará na resolução da controvérsia mediante autorização ou não com sua própria assinatura.

A segunda modalidade, *crowdsourcing*, confere o poder de adjudicação a um coletivo de indivíduos dentro do sistema para a tomada de decisão em um conflito. Em formatos mais simplificados, é possível designar um adjudicador individual, tornando a resolução similar aos métodos tradicionais de arbitragem eletrônica, com a distinção de estar inserido na própria infraestrutura blockchain.

Uma abordagem adicional envolve a retenção de um valor de depósito em custódia pelas partes, ou garantido por uma seguradora, durante a vigência do smart contract, como meio de assegurar a resolução de eventuais disputas, apesar de ser uma alternativa viável apenas em situações específicas, devido ao alto custo envolvido. Além disso, o montante depositado pode ser liberado em etapas, condicionado à realização de objetivos pré-definidos (SCHMITZ e RULE, 2019, p. 123).

Como mencionado anteriormente, é prudente considerar que a inclusão de um árbitro ou adjudicador humano em um smart contract pode auxiliar na resolução de questões ambíguas para as partes, entretanto, essa intervenção pode transmutar o smart contract em um contrato tradicional com uma cláusula de arbitragem, anulando as vantagens presumidas do smart contract, incluindo a mitigação da automatização negativa.

Sanitt (2018, p. 62) propõe que os procedimentos de resolução de disputas incorporados aos smart contracts e a arbitragem diretamente integrada ao blockchain, minimizando a fricção entre o blockchain e o mundo real, são pilares cruciais para o desenvolvimento de uma plataforma de smart contracts bem-sucedida. Adicionalmente, argumentamos que tais procedimentos são essenciais para uma plataforma segura que almeja uma ampla aceitação e adoção. Os consumidores e contratantes necessitam ter a confiança de que eventuais disputas

serão resolvidas de maneira eficaz, sem infringir seus direitos, como o devido processo legal e a ampla defesa.

A incorporação da resolução de conflitos diretamente no código de um smart contract apresenta uma vantagem significativa (DUROVIC, 2018). Essa estruturação proporciona a certeza de que a execução da decisão tomada será automática, salvo na presença de algum erro ou falha inerente ao código. Esse mecanismo de resolução não é dependente da intervenção de um Estado, o que ressalta seu caráter autônomo. Eis que a entidade designada para a resolução do conflito se localiza no mesmo ambiente digital que o smart contract, o que se revela como uma solução transnacional e virtual adequada para questões que espelham tais características. Dessa forma, oferece-se uma resposta dinâmica e contemporânea, alinhada com as demandas e desafios apresentados pelos ambientes de negociação digitalizados e globalizados.

#### 4.4.6 Regulamentação

Atualmente, um dos desafios proeminentes instigados pela adoção de smart contracts em redes blockchain no Brasil é a lacuna regulatória existente, apesar de haver similaridades com institutos jurídicos preexistentes. Torna-se imperativo o delineamento de um regulatório que proporcione aos usuários uma clara compreensão das implicações advindas das interações na plataforma, visando também mitigar as controvérsias suscitadas pela utilização desses contratos digitais, além de potencializar a segurança dos usuários para o pleno exercício de sua Autonomia Privada.

Ademais, enfrenta-se obstáculos relativos à análise jurídica dos smart contracts, dado que, certas questões basilares do Direito, como o consentimento, a identificação das partes envolvidas, assumem uma complexidade inusitada nesse contexto digital. Questões que são simplórias em contratos convencionais podem adquirir uma complexidade notável quando transpostas para o ambiente dos smart contracts, demandando, assim, a intervenção de profissionais com expertise específica no tema. Esse cenário amplifica a complexidade da interpretação jurídica, evidenciando a necessidade de suporte de peritos ou especialistas no domínio para elucidar as suas nuances legais (LAUSLAHTI et al., 2017, p. 2). Adicionalmente, ressalta-se as desvantagens inerentes à autoexecução e os riscos advindos da imutabilidade desses smart contracts, tendo em vista que o cerne do impasse reside na codificação de execução automática que pode refletir uma manifestação de vontade incerta e vulnerável por parte dos usuários, potencializando atritos futuros, com difícil ou impossível reparação (TORRES, 2021).

A inserção de smart contracts na rede Blockchain no contexto do Brasil desencadeia uma série de desafios legais, sobretudo devido à falta de um arcabouço regulatório estabelecido.

Defende-se que há a necessidade de criar um arcabouço normativo que proporcionem aos usuários dos smart contracts uma compreensão clara das consequências emergentes de suas interações, contribuindo também para a resolução de controvérsias oriundas da sua aplicação (ROCHA et al., 2022).

Ademais, a análise jurídica dos smart contracts apresenta obstáculos, uma vez que, aspectos tradicionais do direito, como a identificação das partes envolvidas, tornam-se complexos no contexto digital.

A natureza singular dos smart contracts faz com que questões triviais, presentes nos contratos tradicionais, assumam uma nova complexidade, podendo até mesmo demandar a atuação de indivíduos com profundo conhecimento técnico para uma interpretação jurídica adequada (LAUSLAHTI et al., 2017, p. 2).

Outra questão relevante reside nas características de autoexecutabilidade e imutabilidade dos smart contracts. A forma como a execução automática é codificada representa uma incerteza significativa e uma vulnerabilidade para os usuários, podendo ser fonte de discordâncias futuras (TORRES, 2021).

Visualiza-se, para o futuro, a emergência e a efetivação de smart contracts de forma abrangente, quase plenamente autônomos e regidos por normas, capazes de encapsular questões empresariais e contratuais progressivamente complexas (MCGRATH, 2017). Tal complexidade contratual, combinada aos riscos empresariais, financeiros, legais e de conformidade, pode ser atenuada pela implementação estratégica dos smart contracts na tecnologia blockchain, otimizando, assim, a gestão e a mitigação de riscos nesse cenário inovador e dinâmico.

Isto posto, ainda que com a devida cautela, considerando-se ainda a necessidade de maturação da utilização dos smart contracts, é possível dizer que o advento dos smart contracts representa um marco importante para o processo de transacionar. A eliminação da necessidade de intermediários para garantir a integridade das transações e a adoção de um sistema baseado em rede de consenso abrem novas perspectivas promissoras. Essa abordagem oferece uma alternativa sólida para realizar transações com custos consideravelmente reduzidos, especialmente em ambientes de baixa confiança, tanto em âmbito nacional quanto internacional. A descentralização e a automação inerentes aos smart contracts demonstram um potencial transformador que pode remodelar a maneira como as interações ocorrem no cenário econômico e jurídico.

## 5 CONCLUSÃO

A presente dissertação objetivou investigar e refletir sobre os desafios e potencialidades associadas à utilização dos smart contracts, com enfoque especial na repercussão jurídica sob a ótica do consentimento. A análise evidenciou diversos desafios inerentes, contudo, também revelou múltiplas possibilidades que os smart contracts apresentam para inovar o modo como as transações são conduzidas. A inserção dessa tecnologia no âmbito jurídico, especialmente no que tange ao consentimento das partes envolvidas é promissor.

Nesse contexto, a evolução acelerada das ferramentas tecnológicas, catalisou transformações expressivas no modo de vida individual, exercendo influência sobre diversas dimensões da existência humana. A tecnologia emergiu como uma resposta para desafios previamente complexos viabilizando visões da latentes da sociedade.

Compreender as implicações jurídicas decorrentes dos smart contracts representa um desafio significativo, dada a natureza embrionária de seu quadro regulatório tanto no contexto nacional quanto internacional. Observa-se que toda inovação tecnológica disruptiva enfrenta entraves para sua adequação jurídica, em virtude do caráter inovador intrínseco que tais avanços propiciam.

No caso dos smart contracts, a compreensão aprofundada da tecnologia blockchain e de seu funcionamento emergiu como condição *sine qua non* para assimilar as funcionalidades, características, potencialidades e limitações inerentes aos smart contracts. Apenas com a fundamentação em tais premissas, foi possível adentrar na questão central concernente ao problema do consentimento em smart contracts.

A prática de contratação por intermédio de mecanismos digitais tem se tornado progressivamente mais comum tanto no Brasil quanto em âmbito global. Em um cenário em que as transações são efetuadas com rapidez crescente, emerge a preocupação a respeito de como esses instrumentos digitais podem facilitar ou obstar o encontro de vontades nas negociações em comento. O advento dessas ferramentas digitais desencadeia uma reflexão acerca do modo como impactam na manifestação de vontade das partes envolvidas, aspecto crucial para a validade jurídica das respectivas transações. Ademais, a análise da interface entre a tecnologia e o Direito se faz imperativa, proporcionando um panorama sobre os desafios e as oportunidades que essa intersecção propõe ao cenário jurídico contemporâneo.

Apesar do avanço inexorável do processo de digitalização, a essência das modalidades contratuais permanece firmemente ancorada nas premissas do mundo físico e tradicional. Tal cenário é primordialmente evidenciado pela persistência de elementos jurídicos tradicionais nas

transações digitais, com algumas atualizações pontuais. Entre esses elementos, destaca-se a articulação de termos em linguagem natural, a garantia de opções de revogabilidade e a incorporação de uma terceira parte imparcial – como o Poder Judiciário, por exemplo – destinada a mediar, decidir ou modular os efeitos dos negócios jurídicos. A continuidade desses elementos clássicos sinaliza a complexidade e, talvez, a resistência intrínseca do domínio jurídico diante da referida onda de digitalização. Este panorama sublinha a necessidade de uma análise jurídica mais aprofundada e adaptada a esta nova realidade digital, ressaltando a importância de um diálogo contínuo entre as premissas jurídicas tradicionais e as inovações trazidas pelas inovações digitais.

Motivado pelo supracitado movimento libertário, Nick Szabo, na década de 90, uniu sua expertise jurídica à ciência da computação para conceber um sistema que, por meio de software, memoriza integral ou parcialmente protocolos com arranjos autoexecutáveis, os quais se ativam ao atingirem os pressupostos previamente acordados, tornando-os assim mais resistentes a violações ou inadimplementos. Nesse contexto, a execução das obrigações acordadas ocorre sem a necessidade de intervenção de terceiros.

A perspectiva de Szabo não exigia a aplicação de tecnologia avançada, como ilustrado pelo seu exemplo da *vending machine*: mediante um simples sistema elétrico programado, a máquina atua diretamente na concretização das responsabilidades contratuais, ao aceitar o pagamento e dispensar o produto. Esta configuração facilita a interação entre partes que não compartilham confiança mútua, integrando um nível de segurança suficiente para assegurar que o custo associado a subverter essa dinâmica (como quebrar o vidro para subtrair os itens, por exemplo) seja superior aos potenciais ganhos advindos dessa ação. Além de disponibilizar o produto sem necessidade de intervenção manual, a máquina de venda automática também garante que a transação não seja facilmente interrompida por um agente externo.

A quintessência dos smart contracts repousa em sua capacidade de automação, que se manifesta de em duas formas: de um lado, a execução automática dos termos acordados (âmbito positivo), exemplificada por uma operação financeira em um banco; de outro, a inexorabilidade dessa execução, visto que a intervenção externa, seja pelo Estado, terceiros ou até mesmo pelas partes, é tecnicamente prevenida (âmbito negativo). Essa automação é realizada através da incorporação de cláusulas contratuais em ambientes eletrônicos, especificamente ao conjugar hardware e software, fornecendo assim um mecanismo que desestimula a quebra de contrato ao tornar esta ação substancialmente onerosa para o contratante. Merece destacar que a concepção original dos smart contracts não exige a utilização da inteligência artificial, mas apenas a



utilização de protocolos digitais previamente estabelecidos entre os usuários e codificados em uma estrutura condicional, na qual, se a condição X for atendida, o evento Y será desencadeado.

Os smart contracts não possuíam, inicialmente, referência à tecnologia blockchain, visto que esta seria desenvolvida apenas no ano de 2008. No entanto, a confluência entre estas duas inovações tecnológicas mostraram-se harmoniosas e promissoras. Os princípios norteadores para a instrumentalização dos smart contracts encontraram nas características intrínsecas da tecnologia blockchain um arcabouço propiciador de suas promessas, estabelecendo assim um “casamento” tecnológico favorável para o avanço e a consolidação de ambas as inovações na prática.

O blockchain emerge com a finalidade de abolir a exigência do intermediário tradicional, tal como uma autoridade central, questionando seu papel de autenticar, supervisionar e orquestrar as interações humanas. Dessa forma, a confiança, anteriormente alocada em entidades terciárias, é deslocada para os algoritmos computacionais e, conseqüentemente, para aqueles que os desenvolveram. Outrossim, o blockchain remodela a estrutura de confiança nas relações humanas, propondo uma alternativa descentralizada e codificada para a validação e monitoramento das transações.

Ao integrar eficazmente criptografia, o blockchain utiliza mecanismos de consenso e redes ponto-a-ponto (Peer-to-Peer ou P2P), proporciona aos usuários a capacidade de efetuar registros e/ou transferências de ativos valiosos, moedas digitais e títulos de propriedade com segurança, sem a necessidade de um intermediário, seja de maneira pseudônima ou não.

O caráter descentralizado do Bitcoin é evidenciado pela validação de transações realizada pelos operadores já presentes na rede. Ademais, a criptografia, conjunto de regras para proteger a integridade do conteúdo, é essencial neste ambiente, pois atesta a propriedade e mitiga riscos de fraudes no sistema.

Ao entender as principais características do blockchain, mister se faz entender que a variação de alguns dos referidos elementos pode levar a diferentes tipos de blockchain. A categorização de blockchains se desdobra principalmente em dois eixos: a natureza do acesso à infraestrutura de dados e o nível de permissão para interagir com a mesma, especialmente no que se refere à leitura e modificação dos registros nos *ledgers*. Tais classificações revelam diferenças significativas quanto ao grau de centralização e gestão dos dados envolvidos.

A tecnologia blockchain tem ganhado destaque em diversos setores econômicos, inicialmente no financeiro e depois se expandindo para diversas outras atividades socioeconômicas e operações governamentais. A contínua popularização e adoção do blockchain evidenciam sua relevância e potencial transformador. Por meio dessa tecnologia,

surge um mecanismo inovador para coordenar atividades econômicas coletivas. Tradicionalmente, no campo econômico, as instituições incluem corporações, entidades financeiras, mercados, contratos e governos, desempenhando papéis como fornecer recursos, garantias jurídicas, moeda, propriedade e contratos por meio de organizações e redes interconectadas de produção e intercâmbio. O protocolo de consenso do blockchain encapsula muitos desses aspectos institucionais do capitalismo de mercado, como garantias de direitos de propriedade (por exemplo, registros no livro-razão e chaves privadas), sistemas financeiros (como as Initial Coin Offerings), sistemas de intercâmbio (envolvendo chaves públicas e redes peer-to-peer), ativos financeiros (por exemplo, criptomoedas) e leis e acordos codificados.

Ao explorar as peculiaridades do blockchain que favorecem a implementação e propagação dos smart contracts, percebe-se o desafio inerente à sua definição. A interação entre a tecnologia e o Direito é vivamente ilustrada pelo surgimento dos smart contracts. Existem múltiplas interpretações e análises ainda em evolução e debate, especialmente no que tange à natureza jurídica e à classificação jurídica dos smart contracts.

É importante reiterar que o foco deste estudo não é classificar os smart contracts como contratos, mas sim identificar o elemento volitivo de parcela dos smart contracts que terão impacto no Direito, objeto do presente estudo. Em certos contextos, o termo smart contract refere-se apenas a uma realidade estritamente tecnológica, representando um programa computacional. No domínio da ciência da computação, redes e tecnologia, há uma tendência de conceber o smart contract de forma desprovida de conotações jurídicas, definindo-o como uma aplicação computacional hospedada e operacionalizada em uma estrutura blockchain. São percebidos como uma maneira codificada de orquestrar transações consensuais, inclusive operações financeiras.

Apesar da ideia inicial do jurista e cientista da computação Nick Szabo, a literatura jurídica não alcançou um consenso sobre os componentes que constituem o smart contract e, conseqüentemente, seu conceito. Essa lacuna destaca a importância da diferenciação proposta por Josh Stark em 2016, ao esclarecer as diferenças entre "código de smart contract" (*smart contract code*) e "smart contract legal" (*smart legal contract*). Josh Stark ressalta que o conceito de smart legal contract refere-se a uma aplicação específica do *smart contract code*, uma maneira inovadora de utilizar a tecnologia blockchain para complementar ou até substituir os contratos legais tradicionais. De maneira similar, André Janssen e Mateja Durovic (2020) esclarecem esta distinção, destacando que o "*smart contract code*" é um código de computador armazenado, verificado e executado em um blockchain. Assim, o *smart legal contract* surge

como um complemento, ou em certas situações, como um substituto potencial para os contratos legais convencionais, incorporando esta tecnologia disruptiva na execução contratual.

Ao examinar diversas tentativas significativas de conceituação e enquadramento jurídico, é inegável que os smart contracts possuam uma dimensão que vai além de uma simples transação financeira.

Há variados tipos de smart contracts ao modular suas características ou até mesmo operando de forma interconectada. A sua classificação revela que distintas aplicações podem se beneficiar de características chave, originadas de sua natureza, modo de ativação, utilização e armazenamento.

Embora os smart contracts estejam em uma fase inicial de aplicação prática, seu potencial é significativo, englobando diversos campos devido à crescente aceitação desta inovação. Há uma expansão na quantidade de smart contracts em uso, facilitando a criação de sistemas de *escrow*, automatização de pagamentos de royalties, gerenciamento de colecionáveis digitais, estruturação de mercados descentralizados, viabilização de finanças descentralizadas (*DeFi*), integridade em mercados de previsão, cadeias produtivas, economia compartilhada e internet das coisas, entre outros aspectos. O blockchain Ethereum é notória por ser a mais adotada entre desenvolvedores e usuários de smart contracts.

Os smart contracts representam uma inovação significativa, caracterizada pelo uso de linguagem programática computacional, autoexecução e imutabilidade. Tais características garantem a execução ininterrupta desses contratos, sem interferência das partes envolvidas ou terceiros, incluindo o Estado. No âmbito desses contratos, protocolos digitais autônomos tomam decisões pelos usuários, tornando as consequências dessas decisões imprevisíveis e impactantes, variando conforme o contexto em que são aplicados. De uma perspectiva otimista, os smart contracts podem reduzir consideravelmente os custos de transação em negócios jurídicos, eliminando a necessidade de intermediários confiáveis e do judiciário em transações internacionais.

Ademais, os smart contracts podem exemplificar o princípio jurídico *pacta sunt servanda*, ao unir a estipulação dos termos, sua adimplência e, se necessário, sua execução forçada, conforme delineado no código-fonte, em que intermediários tradicionais como o Poder Judiciário e instituições financeiras, podem ser minimizados, visando uma execução mais rápida, transparente e segura do acordo com custos reduzidos.

Contudo, é crucial entender o funcionamento e as características dos smart contracts para identificar os desafios jurídicos enfrentados por essa tecnologia, tanto no Brasil quanto no exterior. Dificuldades como enquadramento jurídico, vícios de consentimento, intangibilidade

territorial, usos ilícitos, e ataques cibernéticos são pertinentes. Questões como a interpretação de intenções além do texto codificado e avaliação individualizada de cada caso exigem análise detalhada.

Como visto, parcela dos smart contracts estão sujeitos à legislação, visto que podem criar, modificar ou extinguir direitos jurídicos, demandando uma análise cuidadosa de seu impacto disruptivo e revelando novos riscos. Essa noção é reforçada ao considerar que o conceito de smart contract influencia a confiança entre as partes e afeta a exequibilidade e descumprimento dos contratos, merecendo o presente estudo sob a perspectiva do consentimento.

A inexorabilidade executiva inerente aos smart contracts representa um desafio significativo para as situações de *efficient breaches*, além de servir como um entrave ao exame judicial. Essa característica restringe a flexibilidade do contrato frente a alterações nas circunstâncias externas, especialmente em cenários em que as próprias partes envolvidas não têm interesse na execução do acordo estabelecido.

Uma limitação relevante na operacionalização de smart contracts reside na proficiência em programação necessária pelas entidades contratantes para assegurar a precisão da representação de suas intenções no contrato digital que é amplificado pela dificuldade em dirimir desacordos caso haja divergências entre a codificação e a vontade das partes, um cenário que pode se tornar ainda mais complexo com a intervenção de inteligência artificial na interpretação dos smart contracts.

Além disso, a prática jurídica valoriza a utilização de termos vagos como "boa-fé" e "melhor esforço" em contratos, proporcionando a flexibilidade necessária para acomodar situações imprevistas e reduzir custos de negociação. Entretanto, tais termos são impraticáveis em smart contracts, o que, para alguns, contrasta com os princípios de boa-fé e equilíbrio econômico, essenciais no direito contratual brasileiro. Essa incompatibilidade é atribuída ao caráter preciso e desprovido de nuances interpretativas da linguagem de programação, denominada como *dry code*, em contraposição à linguagem natural, ou *wet code*.

A questão da ambiguidade linguística, comum nas interações humanas, ao ser transposta para o contexto rígido dos smart contracts, pode complicar a execução precisa destes conforme as intenções das partes. A inflexibilidade dos smart contracts também se mostra como barreira às modificações contratuais desejadas pelas partes em resposta a circunstâncias emergentes, limitando a adaptabilidade do contrato e o escrutínio judicial, mesmo quando este visa remediar lacunas ou esclarecer ambiguidades.

Ademais, o engajamento em smart contracts demanda um grau de identificabilidade, geralmente assegurado pelo uso de chaves públicas. A tecnologia blockchain, na qual os smart contracts são operacionalizados, permite a identificação das partes através de carteiras digitais associadas a chaves únicas, mas também possibilita transações anônimas.

Os smart contracts apresentam desafios únicos na garantia da conformidade com as legislações e normas que combatem a lavagem de dinheiro e usos ilícitos. A estratégia para deter atividades ilegais via smart contracts envolve a intervenção das autoridades em duas etapas críticas: durante a conversão de criptoativos, geralmente não regulamentados, em dinheiro convencional, que é regulado, e nas ações realizadas por entidades centralizadoras que atuam como intermediárias em transações com moedas virtuais e smart contracts.

Uma característica notável dos smart contracts é sua susceptibilidade a imperfeições e erros (*bugs*), decorrentes de sua natureza codificada e da falibilidade humana em seu desenvolvimento. Mesmo que essas inconsistências não sejam gravemente críticas, podem resultar em desvios significativos na execução do acordado, afastando-se das intenções originais das partes. Em cenários de falhas na interpretação, formulação ou execução do código de um smart contract que levam a discrepâncias entre os termos acordados e as obrigações realmente executadas no blockchain, teoricamente justificar-se-ia a anulação do contrato, mas isso se mostra impraticável no blockchain.

Desse modo, afirmar que os smart contracts são totalmente autossuficientes e que inauguram uma *Lex Cryptographia* é uma proposição de significativas implicações políticas e técnicas. No cenário brasileiro, a Constituição de 1988 assegura o direito de acesso ao judiciário em situações de lesão ou ameaça a direitos, o que demonstra a resistência do ordenamento jurídico nacional a exceções libertárias como a *Lex Cryptographia*. Outrossim, a integração dos smart contracts no arcabouço jurídico brasileiro emerge como uma necessidade, requerendo uma análise criteriosa e aprofundada sobre o instituto do consentimento, considerando as potencialidades e limitações intrínsecas dos smart contracts.

Transpondo ao contexto jurídico brasileiro, a Lei nº 13.874 de 2019 e a alteração no art. 421 do Código Civil reforçam a autonomia e a segurança jurídica nas relações contratuais privadas, alinhando-se à proposta de eficiência e redução de custos proporcionada pelos smart contracts, sugerindo uma evolução nas transações e na organização econômica, assim com reforçando a autonomia privada e a segurança jurídica, valorizando a liberdade contratual e limitando a interferência estatal nas relações privadas.

A concordância entre os conceitos de Caio Mário, Orlando Gomes e Enzo Roppo, ressaltando as características estruturais dos contratos - bilateralidade, patrimonialidade e

obrigatoriedade, evidencia a influência dos smart contracts na teoria contratual, ainda que apresentem uma disrupção ao ordenamento jurídico.

Enzo Roppo em uma perspectiva contemporânea, aponta para uma tendência de desconsideração de formalidades excessivas, priorizando a clareza na comunicação da vontade entre as partes, conforme o princípio da liberdade das formas, respeitando as exigências legislativas. O Direito brasileiro, conforme o art. 107 do Código Civil, também adota o princípio da liberdade das formas. Os smart contracts, independentemente de sua classificação no ordenamento jurídico atual, destacam-se por características como a forma eletrônica, natureza dual, precisão, natureza condicional e autoexecução. A natureza dual, que enfatiza o acordo de vontades, é fundamental para as discussões acadêmicas propostas, abrindo caminho para debates futuros em várias áreas do Direito, como o Consumerista, Empresarial e Civil.

A discussão gira em torno da implementação e implicações jurídicas dos smart contracts. O paradoxo central é que, embora os smart contracts garantam a execução precisa conforme programado, podem surgir descontentamentos entre as partes, caso o resultado não corresponda às expectativas. O dilema intensifica-se quando se trata de consentimento, especialmente em cenários com desequilíbrio informativo ou hierárquico, como em contratos consumeristas.

No contexto brasileiro, há uma tensão entre a imutabilidade dos smart contracts e as disposições do Código de Defesa do Consumidor, que permite a modificação de cláusulas contratuais abusivas ou a revisão de termos em face de fatos supervenientes. Essa característica dos smart contracts pode entrar em conflito com a flexibilização legal necessária em determinadas situações, ressaltando um dilema complexo entre a eficiência tecnológica e a proteção jurídica dos consumidores.

A aceitação contratual por meio de smart contracts, alinhada à regulamentação de assinaturas eletrônicas, não enfrenta empecilhos legais significativos, similar aos contratos eletrônicos tradicionais (contratos à distância). A principal particularidade reside na formalização da aceitação, que nos smart contracts é efetuada através de chaves criptográficas - pública e privada - e senhas de acesso. Essa característica sugere uma forma avançada de assinatura eletrônica, embora diferencie o "signatário" como uma chave eletrônica, ao invés de uma pessoa física. Em circunstâncias que demandam identificação física do signatário, essa modalidade poderia não ser reconhecida como assinatura eletrônica válida, ainda que as partes possam admiti-la como tal. Os smart contracts, ao contrário dos contratos de *clickwrap*, exigem uma ação mais consciente do signatário ao inserir sua chave privada, assemelhando-se mais a uma assinatura eletrônica tradicional.

A formalização da aceitação em smart contracts representa uma ruptura significativa em relação aos contratos tradicionais, principalmente em aspectos como identificação dos contratantes e expressão da aceitação em cenários de perda de senha.

A responsabilidade dos contratantes ao se engajarem em transações com smart contracts é ressaltada, visto que um planejamento meticuloso dos termos do código fonte é necessário, antecipando-se a uma menor intervenção estatal, como a do Poder Judiciário, para suprir omissões ou gerir circunstâncias não antecipadas. A utilização de smart contracts pode impactar positivamente nas negociações, especialmente em ambientes onde as partes conseguem antecipar potenciais incertezas e riscos na execução subsequente de seus acordos.

Apesar das dificuldades apresentadas, o potencial transformador dos smart contracts podem vir acompanhados de várias medidas que podem ser adotadas para mitigar as suas restrições.

Dentre as alternativas, os modelos (*templates*) padronizados podem facilitar a criação de smart contracts mais claros. Os *Ricardian Contracts* surgem como uma fusão benéfica entre texto humano e código computacional, oferecendo clareza nas intenções das partes. Também se destaca a implementação de funcionalidades que permitam a alteração ou término dos smart contracts pós-ativação no blockchain.

A proposta de *judge as a service* merece destaque, na medida que sugere uma entidade jurisdicional automatizada para garantir que os smart contracts sejam executados conforme a lei. Os oráculos servem como pontes entre a realidade e o blockchain, fornecendo dados essenciais para a execução legal dos smart contracts.

Vários mecanismos foram sugeridos para conferir flexibilidade a esses contratos na plataforma Ethereum, como a incorporação de um mecanismo de interrupção (*kill switch*), em que as partes podem definir as condições para sua ativação.

Para o futuro, vislumbra-se a ampliação dos smart contracts, autônomos e normatizados, aptos a englobar questões empresariais e contratuais cada vez mais complexas, a partir da sua implementação estratégica, podendo mitigar riscos, a depender do contexto que forem utilizados.

Na análise abordada, fica evidente que o potencial dos smart contracts é inegável, porém, está acompanhado por desafios significativos, notadamente a lacuna regulatória que ameaça a segurança dos usuários. Questões aparentemente simples, como a assinatura em contratos tradicionais, adquirem uma complexidade considerável quando aplicadas aos smart contracts. A interpretação jurídica desses arranjos muitas vezes requer a intervenção de peritos e especialistas, ressaltando a necessidade de clareza normativa. É notável que algumas soluções

podem atenuar as características disruptivas dos smart contracts, alterando sua natureza e exigindo uma escolha cuidadosa por parte dos usuários para atingir os objetivos desejados.

A análise jurídica dos smart contracts apresenta obstáculos, dado que aspectos básicos do Direito, como consentimento e identificação das partes, ganham complexidade nesse contexto digital. A interpretação jurídica se torna mais complexa, demandando o apoio de especialistas para elucidar suas nuances legais. Outro ponto é a autoexecução e a imutabilidade dos smart contracts, que podem refletir uma manifestação de vontade incerta e vulnerável, potencializando conflitos futuros, com difícil resolução.

No contexto jurídico brasileiro, observa-se uma fase experimental significativa no que tange à adoção de smart contracts, sobretudo com a emergência do sistema Drex. No referido panorama, o Banco Central do Brasil emerge como protagonista, ao desenvolver iniciativas substanciais para a efetiva implementação do Real Digital. Tal inovação promete ser o alicerce para a aplicação prática dos smart contracts, oferecendo uma infraestrutura digital que os suporta desde sua concepção.

A inserção de smart contracts em blockchains tem gerado desafios regulatórios no Brasil, apesar de suas analogias com mecanismos jurídicos existentes. A necessidade de um arcabouço regulatório que esclareça as implicações das referidas tecnologias aos usuários, atenuando as disputas originadas pela sua aplicação, é enfatizada. A incógnita sobre a atuação estatal também se faz presente: o Estado intervirá, e em que medida? E, caso o faça, será antes ou depois da ocorrência dos eventos causados pelos smart contracts? Além disso, como estabelecer mecanismos eficazes para identificar a capacidade jurídica das partes envolvidas e licitude do objeto?

De qualquer modo, emerge a constatação de um verdadeiro dilema quanto ao consentimento nos smart contracts, uma vez que podem gerar implicações jurídicas significativas. Todavia, há a possibilidade de mitigação de tais conjecturas por meio de outros mecanismos, que devem flexibilizar os ideais libertários subjacentes à origem dos smart contracts, já que a presença de um terceiro confiável ainda pode ser relevante, oferecendo uma camada adicional de segurança e proteção aos envolvidos.

Os smart contracts, embora ainda necessitem de maturação, são um marco extraordinário no processo transacional, eliminando intermediários e reduzindo custos, principalmente em ambientes de baixa confiança, introduzindo uma descentralização e automação que podem reformular as interações econômicas e jurídicas. Apesar dos desafios, é possível vislumbrar, em determinados cenários, que a escolha pelos smart contracts pode representar um complemento valioso para as relações privadas. Sua adoção pode contribuir para



a mitigação de riscos, a expansão de mercados, o ganho de eficiência e a automação de processos, ressaltando seu potencial transformador no âmbito das transações.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBERINI A., BOTTERON V., BOULAY C., CAPUS N., CARRON B., DELIMATIS P., GUILLAUME F., HARI O., HOMSY B., KRAUS D., Le BOUDEC M., MIGNON V., OBRIST T., PFAMMATTER V., PFISTER R.A., SALOMON V., WITZIG P., **Blockchains, Smart Contracts, Decentralised Autonomous Organisations and the Law: Perspectives of a Distributed Future**, Cheltenham 111. Edward Elgar Publishing. 2019.

ALHARBY, Maher; VAN MOORSEL, Aad. A systematic mapping study on current research topics in smart contracts. **International Journal of Computer Science & Information Technology (IJCSIT)**, v. 9, n. 5, p. 152, out./2017. DOI: 10.5121/ijcsit.2017.951

ALLEN, Paul R.; BAMBARA, Joseph J. **Blockchain: A practical guide to developing business, law and technology solutions**. Nova York: McGraw-Hill Education, 2018

ANDRADE, Daniel de Pádua; COLOMBI, Henry. **Smart Contracts: Por um adequado enquadramento no direito contratual brasileiro**. In: CHAVES, Natália Cristina; COLOMBI, Henry (org.). **Direito e Tecnologia: Novos modelos e tendências**. Porto Alegre: Fi, 2021. p. 17-35. Disponível em: <https://www.editorafi.org/079tecnologia>. Acessado em: 24 mar. 2023. p. 31-32.

ANTONOPOULOS, Andreas M.; **Mastering Bitcoin - Programming the Open Blockchain**. Sebastopol: Editora O'Reilly Media, Inc., 2017.

ANTONOPOULOS, Andreas M.; WOOD, Galvin. **Mastering Ethereum: Building smart contracts and DAPPs**. Sebastopol: O'Reilly, 2019.

ARAÚJO, F. **Teoria económica do contrato**. Coimbra: Almedina, 2007. ASCARELLI, T. **Corso di diritto commerciale: introduzione e teoria dell'impresa**. Milão: Giuffrè, 1962.

AZEREDO, J. F. A. E. **Reflexos do emprego de sistemas de inteligência artificial nos contratos**. São Paulo: Dissertação (Mestrado em Direito) - Universidade de São Paulo, 2014.

AZEVEDO, A. J. D. **Negócio jurídico**: existência, validade e eficácia. 4ª. ed. São Paulo: Saraiva, 2007.

AZEVEDO, Á. V. **Teoria geral dos contratos típicos e atípicos. Curso de direito civil**. São Paulo: Atlas, 2004.

BAKSHI, Vikram A.; BRAINE, Lee; CLACK, Christopher Clack. **Smart Contract Templates**: Foundations, design landscape and research directions. Aug. 4, 2016. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/305779577\\_Smart\\_Contract\\_Templates\\_foundations\\_design\\_landscape\\_and\\_research\\_directions\\_CDClack\\_VABakshi\\_and\\_LBraine\\_arxiv160800771\\_2016/link/5924238ea6fdcc4443ff2f6a/download](https://www.researchgate.net/publication/305779577_Smart_Contract_Templates_foundations_design_landscape_and_research_directions_CDClack_VABakshi_and_LBraine_arxiv160800771_2016/link/5924238ea6fdcc4443ff2f6a/download). Acessado em: 15 fev. 2023.

BAMBARA, Joseph J. ALLEN, Paul R. **Blockchain**: A practical guide to developing business, law and technology solutions. Nova York: McGraw-Hill Education, 2018.

BANCO CENTRAL. **BCB clarifies doubts about Drex**. 15 de agosto de 2023. Disponível em < <https://www.bcb.gov.br/en/pressdetail/2490/nota>>. Acesso em setembro de 2023.

BARBOSA, A. L. **A Informática e os Contratos na Atividade Empresarial e seus reflexos no meio ambiente**. São Paulo: Dissertação (Mestrado em Direito) - Universidade Nove de Julho, 2020.

BARROS, W. P. **Contratos. Estudos sobre a moderna teoria geral**. Porto Alegre: Livraria do Advogado, 2004.

BEACH, C. F. J. **Treatise on the Modern Law of Contracts**. 21ª. ed. Indianapolis: Bowen-Merrill, 1897.

BEVILAQUA, C. **Direito das obrigações**. Salvador: Magalhães, 1896.

BINANCE ACADEMY, **How to Get Started with Binance Smart Chain (BSC)**, BINANCE ACADEMY. Fev 2021. <<https://academy.binance.com/en/articles/how-to-get-started-with-binance-smart-chain-bsc>> Acessado em abril 2023.

BODKHE, UMESH et alli. **Blockchain for Industry 4.0: A Comprehensive Review**. IIEB Access, vol. 8, p. 79764-79800, 2020. Disponível em: <[https://www.researchgate.net/publication/340476682\\_Blockchain\\_for\\_Industry\\_40\\_A\\_Comprehensive\\_Review](https://www.researchgate.net/publication/340476682_Blockchain_for_Industry_40_A_Comprehensive_Review)>. Acesso em: 20 ago. 2023.

BORGOGNO, Oscar. **Usefulness and Dangers of Smart Contracts in Consumer Transactions**. Technology of Smart Contracts. In: CANNARSA, Michel; DiMATTEO, Larry A.; PONCIBÒ, Cristina (org.). The Cambridge Handbook of Smart Contracts, Blockchain Technology and Digital Platforms. United Kingdom: Cambridge University Press, 2020.

BRAGA, Alexandre Melo. **Tecnologia Blockchain: fundamentos, tecnologias de segurança e desenvolvimento de software**. Campinas: CPQD. Disponível em: [https://www.cpqd.com.br/wpcontent/uploads/2017/09/whitepaper\\_blockchain\\_fundamentos\\_tecnologias\\_de\\_seguranca\\_e\\_desenvolvimento\\_de\\_softwar\\_FINAL.pdf](https://www.cpqd.com.br/wpcontent/uploads/2017/09/whitepaper_blockchain_fundamentos_tecnologias_de_seguranca_e_desenvolvimento_de_softwar_FINAL.pdf). Acesso em 12 julho 2023.

BRYNJOLFSSON, E.; MCAFEE, A. **Race Against The Machine: How the Digital Revolution is Accelerating Innovation, Driving Productivity, and Irreversibly Transforming Employment and the Economy**. [S.l.]: Digital Frontier, 2011.

BUTERIN, V. DAOs, DACs, DAs and More: An Incomplete Terminology Guide. **Ethereum foundation blog**, 6 maio 2014. Disponível em: <<https://blog.ethereum.org/2014/05/06/daos-dacs-das-and-more-an-incomplete-terminology-guide/>>. Acesso em: agosto 2022.

BUTERIN, V. **Ethereum Whitepaper**, 2013. Disponível <<https://ethereum.org/en/whitepaper/>>. Acesso em: 20 agosto 2022.

CANNARSA, Michel. **Contract Interpretation**. In: CANNARSA, Michel; DiMATTEO, Larry A.; PONCIBÒ, Cristina (org.). The Cambridge Handbook of Smart Contracts, Blockchain Technology and Digital Platforms. United Kingdom: Cambridge University Press, 2020.

CAPISIZU, L.-A. **Binding Effect of Smart Contracts**. Conferința Internațională de Drept, Studii Europene și Relații Internaționale, Bucureste, p. 661-667, maio 2019.

CARIA, Riccardo de. **Definitions of Smart Contracts: Between law and code.** In: CANNARSA, Michel; DiMATTEO, Larry A.; PONCIBÒ, Cristina (org.). *The Cambridge Handbook of Smart Contracts, Blockchain Technology and Digital Platforms.* United Kingdom: Cambridge University Press, 2020.

CARIA, Riccardo de. **Definitions of Smart Contracts: Between law and code.** *In:* CANNARSA, Michel; DiMATTEO, Larry A.; PONCIBÒ, Cristina (org.). *The Cambridge Handbook of Smart Contracts, Blockchain Technology and Digital Platforms.* United Kingdom: Cambridge University Press, 2020.

CARNEIRO, R. M. “**Li e aceito**”: violações a direitos fundamentais nos termos de usadas plataformas digitais. **Internet & Sociedade**, São Paulo, v. 1, n. 1, fevereiro 2020.

CASEY, M. J. **Global Supply Chains Are About to Get Better, Thanks to Blockchain.** *Harvard Business Review*, 13 março 2017. Disponível em: <<https://hbr.org/2017/03/global-supply-chains-are-about-to-get-better-thanks-to-blockchain>>. Acesso em: abril 2023.

CASEY, M. J.; VIGNA, P. **The Truth Machine: The Blockchain and the future of everything.** Nova Iorque: St. Martin's Press, 2018.

CASTRO, Maria Clara Versiani; GUIMARÃES, Luíza Resende. **Afinal, Smart Contracts São Contratos?** Natureza jurídica a partir de uma leitura sociológica. *In:* CHAVES, Natália Cristina; COLOMBI, Henry (org.). *Direito e Tecnologia: Novos modelos e tendências.* Porto Alegre: Fi, 2021. p. 36-64. Disponível em: <https://www.editorafi.org/079tecnologia>. Acessado em: 24 mar. 2023.

CATCHLOVE, Paul. **Smart Contracts: A new era of contract use.** Disponível em: [https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract\\_id=3090226](https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=3090226). Acesso em 11 mar. 2023.

CAVALCANTI, Mariana Oliveira de Melo; NÓBREGA, Marcos. **Smart contracts ou “Contratos Inteligentes”: o direito na era da blockchain.** Faculdade CERS. *Revista Científica Disruptiva*. Volume II, Número 1, jan-jun/2020. p. 106. 58 CAVALCANTI, Mariana Oliveira de Melo; NÓBREGA, Marcos. *Smart contracts* ou “Contratos Inteligentes”: o direito

na era da blockchain. Faculdade CERS. Revista Científica Disruptiva. Volume II, Número 1, jan-jun/2020.

CAVALCANTI, Mariana Oliveira de Melo; NÓBREGA, Marcos. *Smart contracts ou “Contratos Inteligentes”*: o direito na era da blockchain. Faculdade CERS. Revista Científica Disruptiva. Volume II, Número 1, jan-jun/2020. p. 106. 58 CAVALCANTI, Mariana Oliveira de Melo; NÓBREGA, Marcos. *Smart contracts* ou “Contratos Inteligentes”: o direito na era da blockchain. Faculdade CERS. Revista Científica Disruptiva. Volume II, Número 1, jan-jun/2020.

CHAMBER OF DIGITAL COMMERCE. *Smart contracts: 12 use cases for business & beyond*. A Technology, Legal & Regulatory Introduction, Foreword by Nick Szabo, dez. 2016. Disponível em: <[https://digitalchamber.org/wp-content/uploads/2018/02/Smart-Contracts-12-Use-Cases-for-Business-and-Beyond\\_Chamber-of-Digital-Commerce.pdf](https://digitalchamber.org/wp-content/uploads/2018/02/Smart-Contracts-12-Use-Cases-for-Business-and-Beyond_Chamber-of-Digital-Commerce.pdf)>. Acesso em: 10 junho 2023.

CHAMBER OF DIGITAL COMMERCE. Smart Contracts Alliance, *Smart Contracts: Is the Law Ready?* 2018. <https://lowellmilkeninstitute.law.ucla.edu/wp-content/uploads/2018/08/Smart-Contracts-Whitepaper.pdf>. Acesso em 10 junho 2023.

CHEN, Lei; WANG, Jia. *Regulating Smart Contracts and Digital Platforms: A Chinese Perspective*. In: CANNARSA, Michel; DiMATTEO, Larry A.; PONCIBÒ, Cristina (org.). *The Cambridge Handbook of Smart Contracts, Blockchain Technology and Digital Platforms*. United Kingdom: Cambridge University Press, 2020.

CLOHESSY, T.; ACTON, T.; ROGERS, N. *Blockchain Adoption: Technological, Organisational and Environmental Considerations*. In: TREIBLMAIER, H.; BECK, R. *Business Transformation through Blockchain*. Cham: Palgrave Macmillan, v. I, 2019.

COASE, Ronald H. *The nature of the firm*. *ECONOMICA* v. 4. p. 386–405, nov. 1937.

COINTELEGRAPH BRASIL. *B3 poderá ser 'oráculo' em sistema de smart contracts do real digital*. Exame, 30 setembro 2021. Disponível em: <<https://exame.com/future-of>>

money/b3-podera-ser-oraculo-em-sistema-de-smart-contracts-do-real-digital/>. Acesso em: agosto 2023.

COLOMO-PALACIOS R., SÁNCHEZ-GORDÓN M, ARIAS-ARANDA D. **A critical review on blockchain assessment initiatives: A technology evolution viewpoint.** J Softw Evol Proc. 2020.

COOTER, R. D.; ULEN, T. **Law & Economics.** Boston: Pearson Education, Inc, 2008.

CORNELL, N. **A Complainant-Oriented Approach to Unconscionability and Contract Law.** University of Pennsylvania Law Review, Pennsylvania , n. 164, 2016.

COSTA, José Augusto Fontoura; MARQUES, Leonardo Albuquerque. **Contratos inteligentes, OAD e Nova Economia Institucional: Perspectivas para a interpretação e aplicação de ajustes celebrados em computação descentralizada a partir de estudo de caso sobre a vulnerabilidade da codificação no ambiente do *Ethereum*.** Revista de Direito Civil Contemporâneo. Revista de Direito Civil Contemporâneo. vol. 18. ano 6. p. 61-90. São Paulo: Ed. RT. jan-mar. 2019.

CUTTS, T. Smart Contract and Consumers. **West Virginia Law Review**, v. 122, 2019.

CVETKOVIC, M. Smart Contracts: Revolution or Hurdle. **Collection of Papers, Faculty of Law, Niš**, Niš, n. 85, novembro 2019.

DAVIDSON, Sinclair; DE FILIPPI Primavera; POTTS, Jason. **Disrupting governance: the new institutional economics of distributed ledger technology.** SSRN, p. 1, 19 jul. 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.2811995>. Disponível em: <<https://ssrn.com/abstract=2811995>> Acesso em: 29 jun. 2023.

DAVIS, Nathan J. **Presumed assent: the judicial acceptance of clickwrap.** In: Berkeley Technology Law Journal, v. 22, issue 1, article 29, p. 577-598, jan. 2007. Disponível em: <<https://scholarship.law.berkeley.edu/cgi/viewcontent.cgi?referer=https://www.google.com/&httpsredir=1&article=1694&context=btlj>> Acesso em: 21 junho 2023.

DEL REY, J. **How robots are transforming Amazon warehouse jobs — for better and worse.** *Vox*, 2019. Disponível em: <<https://www.vox.com/recode/2019/12/11/20982652/robots-amazon-warehouse-jobs-automation>>. Acesso em: julho 2023.

DELOITTE. **GETTING Smart About Smart contracts.** Disponível em: <https://www2.deloitte.com/us/en/pages/finance/articles/cfo-insights-getting-smart-contracts.html>. Acesso em: 01 jul. 2023.

DEMARTINI, Claudio; GATTESCHI, Valentina; LAMBERTI, Fabrizio. **Technology of Smart Contracts.** In: CANNARSA, Michel; DiMATTEO, Larry A.; PONCIBÒ, Cristina (org.). *The Cambridge Handbook of Smart Contracts, Blockchain Technology and Digital Platforms.* United Kingdom: Cambridge University Press, 2020.

DiMATTEO, Larry A.; PONCIBÒ, Cristina. **Smart Contracts: Contractual and noncontractual remedies.** In: CANNARSA, Michel; DiMATTEO, Larry A.; PONCIBÒ, Cristina (org.). *The Cambridge Handbook of Smart Contracts, Blockchain Technology and Digital Platforms.* United Kingdom: Cambridge University Press, 2020.

DINIZ, M. H. **Curso de Direito Civil Brasileiro: Teoria das Obrigações Contratuais e Extracontratuais.** 18<sup>a</sup>. ed. São Paulo: Saraiva, v. III, 2003.

DINIZ, M. H. **Tratado teórico e prático dos contratos.** São Paulo: Saraiva, v. 1, 2003.

DURANTE, Gabriel Barros; DUARTE, Otto Carlos M. B. **Redes peer-to-peer.** Universidade Federal do Rio de Janeiro, Departamento de Engenharia Eletrônica e de Computação. Rio de Janeiro, [s.d.]. Disponível em: <[https://www.gta.ufrj.br/grad/04\\_1/p2p/](https://www.gta.ufrj.br/grad/04_1/p2p/)>. Acesso em: 23 junho 2023.

DUROVIC, M. **Law and Autonomous Systems Series: How to Resolve Smart Contract Disputes - Smart Arbitration as a Solution.** Oxford Business Law Blog, 1º junho 2018. Disponível em: <<https://www.law.ox.ac.uk/business-law-blog/blog/2018/06/law-and-autonomous-systems-series-how-resolve-smart-contract-disputes>>. Acesso em: outubro 2022.



DUROVIC, M.; LECH, F. **The Enforceability of Smart Contracts**. The Italian Law Journal, Caserta, v. 5, n. 2, 2019.

DUROVIC, Mateja; JANSSEN, André. **Formation of Smart Contracts under Contract Law**. In: CANNARSA, Michel; DiMATTEO, Larry A.; PONCIBÒ, Cristina (org.). The Cambridge Handbook of Smart Contracts, Blockchain Technology and Digital Platforms. United Kingdom: Cambridge University Press, 2020.

EFIMOVA, Lyudmila et al., **Smart contracts between freedom and strict legal regulation**, 1 INF. & COM. TECH. 16. 2021.

EGGLESTON, K.; POSNER, E. A.; ZECKHAUSER, R. **The Design and Interpretation of Contracts: Why Complexity Matters**. Northwestern University Law Review, Evanston, v. 95, n. 1, 2001.

EOS. **Voting in the EOS community**. EOS.IO, 2021. Disponível em: <<https://eos.io/eos-public-blockchain/voting/>>. Acesso em: abril 2023.

ESTADO DO TENNESSEE, **2019 Tennessee Code**, 2019. Disponível em: <https://law.justia.com/codes/tennessee/2019/title-47/chapter-10/part-2/section-47-10-201/> Acessado em: jun. 2023.

ESTADOS UNIDOS DA AMÉRICA. **Arizona House Bill 2417**, Estado do Arizona, Arizona House Bill 2417, 2017. Disponível em: <https://www.azleg.gov/legtext/53leg/1r/bills/hb2417p.pdf>. Acessado em: junho 2023.

ESTADOS UNIDOS DA AMÉRICA. **Executive Order on Ensuring Responsible Development of Digital Assets**. The White House, 2022. Disponível em: <<https://www.whitehouse.gov/briefing-room/presidential-actions/2022/03/09/executive-order-on-ensuring-responsible-development-of-digital-assets/>>. Acesso em: abril 2023.

ETHEREUM FOUNDATION. **What is Ethereum?** Ethereum Foundation, 2018. Disponível em: <<https://ethereum.org/en/>>. Acesso em: junho 2021.

ETHEREUM. **Solidity v0.8.0 Breaking Changes**. Solidity, 2021. Disponível em: <<https://docs.soliditylang.org/en/v0.8.10/080-breaking-changes.html>>. Acesso em: outubro 2022.

EUBLOCKCHAIN. **European Union Comission. Legal and Regulatory Framework of Blockchain and Smart contracts**. A Thematic Report prepared by European Union Blockchain and Forum. Setembro de 2019. Disponível em: <<https://www.eublockchainforum.eu/reports>>. Acesso em: 23 junho 2023.

EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL. Consumer rights *OJL*. **Diretiva n. 2011/83/EU. 304**, Article 7. 2011

EUROPEAN COMMISSION, Directorate-General for Communications Networks, Content and Technology, Directorate F — Digital Transformation, Unit F3 — Digital Innovation and Blockchain, and Schrepel T., **Smart Contracts and the Digital Single Market Through the Lens of a “Law + Technology” Approach**, 2021.

FARNSWORTH, E. Allan. **Contracts**. 3. ed. Nova York: Aspen Law & Business, 1998.

FINCK, M. **Smart contracts as a form of solely automated processing under the GDPR**. *International Data Privacy Law*, Oxford, v. 9, n. 2, maio 2019.

FINCK, Michele. **Blockchains: Regulating the unknown**. *German Law Journal*. Frankfurt: German Law Journal, v. 19, n. 04, Jul. 2018.

FING, Antônio Carlos; SANTOS, Adrielly Pinho dos. **Análise dos Smart Contracts à Luz do Princípio da Função Social dos Contratos no Direito Brasileiro**. *Direito e Desenvolvimento: Revista do programa de pós-graduação em direito; mestrado em direito e desenvolvimento sustentável*, João Pessoa, v. 9, n. 2, p. 49-64, ago./dez. 2018. Disponível em: <https://periodicos.unipe.br/index.php/direitoedesenvolvimento/article/view/755>. Acessado em: mar. 2023.

FIUZA, C. **Contratos**. Belo Horizonte: Del Rey, 2010.

FRAZÃO, Ana. **Plataformas Digitais e os Desafios para a Regulação Jurídica**. *In*: Direito, Tecnologia e Inovação. PARENTONI, Leonardo (coord.); GONTIJO, Bruno Miranda; LIMA, Henrique Cunha Souza (org.). Direito, tecnologia e inovação o. 1 v. Belo Horizonte: D'Plácido, 2018.

FRISCHMANN, B.; SELINGER, E. **Re-Engineering Humanity**, Cambridge: Cambridge University Press, 2018.

GOMES, L. R. D. F. **Contrato com pessoa a declarar**. Rio de Janeiro: Renovar, 1994.

GOMES, O. **Contratos**. Rio de Janeiro: Forense, 2008.

GOMES, Orlando. **Contratos**. Atualizador por Antonio Junqueira de Azevedo e Francisco Paulo de Crescenzo Marino. rev. e ampl. 26. ed. Forense: Rio de Janeiro, 2007.

GONÇALVES, C. R. **Direito Civil Brasileiro: Contratos e Atos Unilaterais**. 17<sup>a</sup>. ed. São Paulo: Saraiva, v. 3, 2020.

GONÇALVES, Pedro Vilela Resende. **Blockchain, Smart Contracts and “Judge as a Service” in Brazilian Law**. 2016. Disponível em: <https://irisbh.com.br/en/blockchain-smart-contracts-and-judge-as-a-serviceinbrazilianlaw/#:~:text=The%20idea%20of%20JaaS%20serves,any%20issues%20of%20that%20contract>. Acesso em: 19 abril 2023.

GREEN, S. **Smart Contracts, Interpretation and Rectification**. Lloyd's Maritime and Commercial Law Quarterly, Londres, 2018.

GREEN, S.; RANDALL, J. **Tort of Conversion**. Oxford: Hart Publishing, 2009. GRIGG, I. **The Ricardian Contract**. Proceedings. First IEEE International Workshop on Electronic Contracting. San Diego: IEEE. 2004.

GRIGG, Ian. **The Ricardian Contract**. 2004. IEEE. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/1319505>. Acesso em: 11 mar. 2023.

GRIMMELMANN, J., **All Smart Contracts Are Ambiguous** 2 J. OF L. & INN. 2, 9, 2019.  
HADDAD, Hisham; QU, Feiyang; SHAHRIAR, Hossain. **Smart Contract-based Secured Business-to- Consumer Supply Chain Systems**. 2019 IEEE International Conference on Blockchain. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8946227>. Acesso em: 27 abr. 2023

HAYS, Demelza. **Blockchain 3.0 The Future of DLT?**. Crypto Research, 17 jun. 2018. Disponível em: <<https://cryptoresearch.report/crypto-research/blockchain-3-0-future-dit/>> Acesso em: 23 ago. 2023.

HILEMAN, G., & RAUCHS, M. (2017). **2017 Global Blockchain Benchmarking Study**. <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.3040224>. Acesso em 22 de junho de 2023.

IBM INSTITUTE FOR BUSINESS VALUE. **Blockchain reinvents the consumer experience**. Somers: IBM Corporation, 2018.

JENTZSCH, C. **slock.it fully integrates with Blockchains, LLC**. slock.it blog, 9 setembro 2020. Disponível em: <<https://blog.slock.it/slock-it-fully-integrates-with-blockchains-llc-d5a2553eedb6>>. Acesso em: abril 2023.

JOSA, L. **Os avanços da CBDC brasileira e seu impactos para os bancos e criptoativos**. Exame Future of Money, 28 maio 2021. Disponível em: <<https://exame.com/future-of-money/cbdc-moedas-privadas/os-avancos-da-cbdc-brasileira-e-seu-impactos-para-os-bancos-e-criptoativos/>>. Acesso em: abril 2023.

JUELS, Ari; MARINO, Bill. **Setting Standards for Altering and Undoing Smart Contracts**. Rule Technologies. Research, Tools, and Applications. Springer, 2016.

KAHNEMAN, Daniel & TVERSKY Amos, **Intuitive Prediction: Biases and Corrective Procedures**. Cambridge University Press. 1997.

LARENZ, K. **Base del negocio jurídico y cumplimiento de los contratos**. 1ª. ed. Madrid: Comares, 2003 [1956].

LAUSLAHTI, Kristian; MATTILA, Juri; SEPPALA, Timo. **Smart contracts**—How will blockchain technology affect contractual practices?. Etna Reports, n. 68, 2017.

Law Commission. **Smart Contracts Call for Evidence**. Dez. 2020. Disponível em: <https://s3-eu-west-2.amazonaws.com/lawcom-prod-storage-11jsxou24uy7q/uploads/2020/12/201216-Smart-contracts-call-for-evidence.pdf>. Acessado em 27 abr. 2023.

LEAL, S. D. R. C. S. **Contratos eletrônicos**: validade jurídica dos contratos via Internet. São Paulo: Atlas, 2007.

LESSIG, L. **Code and Other Laws of Cyberspace**. 2ª. ed. Nova Iorque: Basic Books, 2006.

LESSIG, L. **Code and Other Laws of Cyberspace**. New York: B. Books. 1999

LESSIG, Lawrence. **Code**: Version 2.0. Nova York: Basic Books, 2006. Disponível em: <https://tigerprints.clemson.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1183&context=cheer>. Acessado em: 21 mar. 2023.

LEVI, Stuart D.; LIPTON, Alex B. LEVI, Stuart D.; LIPTON, Alex B. **An Introduction to Smart Contracts and Their Potential and Inherent Limitation**. Harvard Law School Forum on Corporate Governance. 2018. Disponível em: <https://corpgov.law.harvard.edu/2018/05/26/an-introduction-to-smart-contracts-and-their-potential-and-inherent-limitations/>. Acesso em: 27 abril de 2023.

LEVY, K. E. C. **Book-Smart, Not Street-Smart**: Blockchain-Based Smart Contracts and The Social Workings of Law. Engaging Science, Technology, and Society, n. 3, 2017.

LIMA JÚNIOR, João Manoel de; PORTO, Antônio Maristrello; SILVA, Gabriela Borges. **Tecnologia Blockchain e Direito Societário**: Aplicações práticas e desafios regulatórios. Revista de Informação Legislativa, Brasília, ano 56, n. 223, p. 11-29, jul./set. 2019.

LÔBO, Paulo. Direito Civil: **Contratos**. São Paulo: Saraiva, 2011.

LUESLEY, A. Unravelling Smart Contracts: Smart Contracts and the Law of Rescission in Canada. **Asper Review of International Business and Trade Law**, Winnipeg, n. 19, 2019.

MANDAL, Lopamudra. **Ricardian Contracts**: Bridging the gap between smart contracts and tradicional contracts. Orientador: E. P. M. Vermeulen. 52 p. Master Thesis (LLM) – International Business Law, Tilburg University, Tilburg, Países Baixos, 4 jun. 2019. Disponível em: <http://arno.uvt.nl/show.cgi?fid=149417>. Acessado em 20 abril de 2023.

MCGRATH, Ian. The future is blockchain-based smart contracts. 2017. Disponível em: <https://it.toolbox.com/blogs/the-future-is-blockchain-based-smart-contracts> 122017. Acesso em: 2 jun. 2023.

MEIRELES, R. M. V. **Autonomia privada e dignidade humana**. Rio de Janeiro: Renovar, 2009.

MIK, Eliza. **Blockchain: A Technology for decentralized marketplaces**. In: CANNARSA, Michel; DiMATTEO, Larry A.; PONCIBÒ, Cristina (org.). *The Cambridge Handbook of Smart Contracts, Blockchain Technology and Digital Platforms*. United Kingdom: Cambridge University Press, 2020.

MIK, Eliza. **Smart Contracts**: Terminology, technical limitations and real world complexity. *Law, Innovation and Technology*, vol. 9, n. 2, out. 2017. Disponível em: <https://core.ac.uk/download/pdf/132698353.pdf>. Acessado em: 20 abril 2023.

MIRANDA, P. D. **Tratado de direito privado**. São Paulo: Revista dos Tribunais, v. XXXVIII, 2012.

MOREIRA, Rodrigo. **Investigação Preliminar sobre A Natureza e Os Critérios de Interpretação dos Smart Contracts**. Disponível em: [https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/5111812/mod\\_resource/content/0/MOREIRA%20Uma%20investigação%20preliminar%20sobre%20a%20natureza%20dos%20smart%20contracts.pdf](https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/5111812/mod_resource/content/0/MOREIRA%20Uma%20investigação%20preliminar%20sobre%20a%20natureza%20dos%20smart%20contracts.pdf). Acesso em: 27 abr. 2023.

NAKAMOTO, S. **Bitcoin: A Peer-to-Peer Electronic Cash System**. Bitcoin Org., 2008. Disponível em: <<https://bitcoin.org/bitcoin.pdf>>. Acesso em: maio 2022.

NARAYANAN, Arvind; *et al.* **Bitcoin and Cryptocurrency Technologies: A Comprehensive Introduction**. Artech Princeton: Princeton University Press, 2016.

O'SHIELDS, R. **Smart Contracts: Legal Agreements for the Blockchain**. North Carolina Banking Institute, Chapel Hill, v. 21, 2017.

OECD. **OECD Blockchain Primer**. 2018. Disponível em: <<https://www.oecd.org/finance/OECD-Blockchain-Primer.pdf>>. Acesso em: 15 dez. 2022.

PEREIRA, C. M. D. S. **Instituições de direito civil**. Rio de Janeiro: Forense, v. III, 2014 [1963].

PEREIRA, Caio Mário da Silva. **Instituições de Direito Civil: Contratos**. 3 vol. Revisão e atualização de Caitlin Mulholland. 19. ed. Forense: Rio de Janeiro, 2015. p. 139.

PERLINGIERI, P. **O direito civil na legalidade constitucional**. Rio de Janeiro: Renovar, 2008.

PIMENTA, Eduardo Goulart. **Teoria da Empresa em Direito e Economia**. Revista do Instituto do Direito Brasileiro. Faculdade de Direito da Universidade de Lisboa. Ano 1 (2012), nº 8, 4913-1942.

POLINSKY, A. M.; SHAVELL, S. (Eds.). **Handbook of law and economics**. Amsterdam: Elsevier, 2007.

POPPER, N. **A Hacking of More Than \$50 Million Dashes Hopes in the World of Virtual Currency**. The New York Times, 17 junho 2016. Disponível em: <<https://www.nytimes.com/2016/06/18/business/dealbook/hacker-may-have-removed-more-than-50-million-from-experimental-cybercurrency-project.html>>. Acesso em: abril 2021.

POPPER, N. **Decoding the Enigma of Satoshi Nakamoto and the Birth of Bitcoin**. The New York Times, 2015. Disponível em: <<https://www.nytimes.com/2015/05/17/business/decoding-the-enigma-of-satoshi-nakamoto-and-the-birth-of-bitcoin.html>>. Acesso em: abril, 2023.

POPPER, N. **Lost Passwords Lock Millionaires Out of Their Bitcoin Fortunes**. The New York Times, 2021. Disponível em: <<https://www.nytimes.com/2021/01/12/technology/bitcoin-passwords-wallets-fortunes.html>>. Acesso em: 20 janeiro 2023.

POSNER, R. A. **Economic analysis of law**. New York: Aspen Publishers, 2010.

RADIN, M. J. **Boilerplate: The Fine Print, Vanishing Rights, and the Rule of Law**. Princeton: Princeton University Press, 2014.

RADIN, M. J. **Humans, Computers, and Binding Commitment**. Indiana Law Journal, Indianapolis, v. 75, n. 4, p. 1125-1162, outono 2000.

RADIN, M. J.; WAGNER, R. P. **The Myth of Private Ordering: Rediscovering Legal Realism in Cyberspace**. Chicago-Kent Law Review, Chicago, v. 73, p. 1295-1317, 1998.

RASKIN, M. **The Law and Legality of Smart Contracts**. Georgetown Law Technology Review, Washington, v. 1, n. 2. 2017.

RATANASOPITKUL, Pholapatara. **Blockchain – Revolutionize Green Energy Management**. Int Conf Util Exhib Green energy sustain Dev ICUE. 2018.

REBOUÇAS, R. F. **Contratos Eletrônicos: Formação e Validade**. 2ª. ed. São Paulo: Almedina, 2018.

REPÚBLICA DE MALTA, Act No. XXXI of 2018 - Malta Digital Innovation Authority Act. Disponível em: <https://www.parlament.mt/media/95199/act-xxxi-malta-digital-innovation-authority-act.pdf> Acessado em: 30 abril 2023.

REY, Alain, **Dictionnaire Historique De La Langue Française**, 1037. Le Robert, 1992.



RIBEIRO, Marcia Carla Pereira; SONAGLI, Joseliane. **A Teoria de Coase e o Papel Do Direito Para a Eficiência Das Relações Empresariais**. *Economic Analysis of Law Review*, V. 8, nº 1, p. 18-34, fan-fun, 2017.

RIBEIRO, R. M. L. **Smart contracts no ordenamento de direito privado brasileiro à luz da teoria do fato jurídico**: estudo de lawtech curitibana. Dissertação (Mestrado em Tecnologia e Sociedade). Universidade Tecnológica Federal do Paraná., Curitiba, 2020.

RIZZO, P. **How Barclays Used R3's Tech to Build a Smart Contracts Prototype**. Coindesk, 26 abril 2016. Disponível em: <<https://www.coindesk.com/markets/2016/04/26/how-barclays-used-r3s-tech-to-build-a-smart-contracts-prototype/>>. Acesso em: julho 2023.

RODRIGUES, Carlo K. da S.; ROCHA, Vladimir E. M. **Uma Avaliação da Tecnologia Blockchain considerando Eficiência e Segurança de Aplicações do Ecossistema IoT**. Disponível em <<https://sol.sbc.org.br/index.php/sbseg/article/view/19232>>. Acesso em 13 jul. 2023.

ROPPO, E. **O Contrato**. Coimbra: Livraria Almedina, 1988.

ROPPO, Enzo. **O Contrato**. Tradução de Ana Coimbra e M. Januário C. Gomes. Coimbra: Almedina, 2009.

SANTOS, J. M. D. C. **Código civil brasileiro interpretado**. 8ª. ed. Rio de Janeiro: Freitas Bastos, v. XV, 1975.

SANITT, A. Smart Contracts: Challenges and Solutions. **International Journal of Online Dispute Resolution**, Haia, v. 4, n. 2, junho 2018.

SAVELYEV, Alexander. **Contract Law 2.0**: “Smart” contracts as the beginning of the end of classic contract law. *Information & Communications Technology Law*, 2017. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/13600834.2017.1301036>. Acessado em: 12 abr. 2023.

SCHMITZ, A. J.; RULE, C. Online Dispute Resolution for Smart Contracts. **Journal of Dispute Resolution**, Columbia, n. 2, p. 103-126, 2019.

SCHNEIER, Bruce. **Secret & Lies**: Digital security in a networked world. Indianapolis: Wiley Publishing, 2004.

SCHNEIDER, J. et al. **Blockchain**: Putting Theory into Practice. Profiles in Innovation Series. Nova Iorque: The Goldman Sachs Group, Inc., 2016.

Shuai Wang et al, **An Overview of Smart Contract**: Architecture, Applications, and Future Trends, 4 IEEE INT. VEH. SYMP. 108, 111. 2018.

SINHA, S. **State of IoT 2021**: Number of connected IoT devices growing 9% to 12.3 billion globally, cellular IoT now surpassing 2 billion. IoT Analytics, 22 setembro 2021. Disponível em: <<https://iot-analytics.com/number-connected-iot-devices/#:~:text=Reports%20%26%20Databases-,State%20of%20IoT%202021%3A%20Number%20of%20connected%20IoT%20devices%20growing,IoT%20now%20surpassing%20%20billion>>. Acesso em: junho 2023.

STARK, J. **Making Sense of Blockchain Smart Contracts**. CoinDesk, 24 junho 2016. Disponível em: <<https://www.coindesk.com/markets/2016/06/04/making-sense-of-blockchain-smart-contracts/>>. Acesso em: abril 2023.

SUN, Z. **What Are Smart Contracts?** Nasdaq, 7 outubro 2021. Disponível em: <<https://www.nasdaq.com/articles/what-are-smart-contracts-2021-10-07>>. Acesso em: outubro 2023.

SWAN, M; DE FILIPPI, P. **Towards a Philosophy of Blockchain**. Metaphilosophy, Wiley, 2017. Disponível em: <<https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01676883>> Acesso em: 29 jun. 2023.

SWAN, M. **Blockchain**: Blueprint for a New Economy. Sebastopol: O'Reilly, 2015.

SZABO, N. **Cypherpunk trends & visions**. 15 agosto 1993. Disponível em: <<https://cypherpunks.venona.com/date/1993/08/msg00426.html>>. Acesso em: agosto 2023.

SZABO, N. **Formalizing and Securing Relationships on Public Networks**. First Monday, v. 2, n. 9, Setembro 1997. Disponível em: <<https://firstmonday.org/ojs/index.php/fm/article/view/548/469>>. Acesso em: dezembro 2022.

SZABO, N. **Smart Contracts**. Smart Contracts, 1994. Disponível em: <<https://www.fon.hum.uva.nl/rob/Courses/InformationInSpeech/CDROM/Literature/LOTwinterschool2006/szabo.best.vwh.net/smart.contracts.html>>. Acesso em: dezembro 2022.

SZABO, Nick. **Smart Contracts: Building blocks for digital markets**. p. 01-23. 1996. Disponível em: [https://www.alamut.com/subj/economics/nick\\_szabo/smartContracts.html](https://www.alamut.com/subj/economics/nick_szabo/smartContracts.html). Acessado em: 10 agosto 2023.

TAPSCOTT, D.; TAPSCOTT, A. **Blockchain Revolution: How the technology behind bitcoin and other cryptocurrencies is changing the world**. Nova Iorque: Portfolio/Penguin, 2016.

TARTUCE, F. **Direito civil**. 9ª. ed. São Paulo: Método, v. III, 2014.

TEPEDINO, G. Premissas metodológicas para a constitucionalização do direito civil. In: TEPEDINO, G. **Temas de direito civil**. 4ª. ed. Rio de Janeiro: Renovar, 2008.

TEPEDINO, G.; KONDER, C. N.; BANDEIRA, P. G. **Fundamentos do Direito Civil: Contratos**. 2ª. ed. Rio de Janeiro: Forense, v. 3, 2020.

TORRES, Thiago Menossi. **CONTRATOS INTELIGENTES REALIZADOS POR MEIO DA TECNOLOGIA BLOCKCHAIN E OS EMPECILHOS PARA IMPLEMENTAÇÃO**. Intertem@ s ISSN 1677-1281, v. 42, n. 42, 2021.

TURING, A. Systems of Logic Based on Ordinals. **Proceedings of the London Mathematical Society**, Londres, v. 45, n. 1, p. 161-228, 1939.

UHDRE, Dayana de Carvalho. **Blockchain, Tokens e Criptomoedas: Análise Jurídica**. São Paulo: Almedina, 2021.

UNSWORTH, R. **Smart Contract This! An Assessment of the Contractual Landscape and the Herculean Challenges it Currently Presents for “Self-executing” Contracts.** In: CORRALES, M.; FENWICK, M.; HAAPIO, H. *Legal Tech, Smart Contracts and Blockchain.* Singapura: Springer, 2019.

VERSTRAETE, M. **The Stakes of Smart Contracts.** *Loyola University Chicago Law Journal*, Chicago, v. 50, n. 3, p. 743-796, primavera 2019.

WERBACH, K. **Trust, but Verify: Why the Blockchain Needs the Law.** *Berkeley Technology Law Journal*, Berkeley, v. 33, n. 2. Outubro 2018.

WERBACH, K.; CORNELL, N. **Contracts Ex Machina.** *Duke Law Journal*, v. 67, n. 2. Novembro 2017.

WRIGHT, A.; DE FILIPPI, P. **Blockchain and the Law: The Rule of Code.** Cambridge: Harvard University Press, 2019.

WRIGHT, A.; DE FILIPPI, P. **Decentralized Blockchain Technology and the Rise of Lex Cryptographia**, março 2015. Disponível em: <<https://ssrn.com/abstract=2580664>>. Acesso em: abril 2023.

WRIGHT, B. **The Law of Electronic Commerce.** Boston: Little, Brown and Company, 1991.

XU, X.; WEBER, I.; STAPLES, M. **Architecture for Blockchain Applications.** Cham: Springer, 2019.

XU, Xiwei et al., **A Pattern Collection for Blockchain-based Applications**, 18 PROC. OF THE 23RD EUR. CONF. ON PAT.LANG. OF PROG. 10. 2018.

ZHENG, Z., XIE, S., DAI, H., CHEN, X., WANG, H.: **An overview of blockchain technology: Architecture, consensus, and future trends.** In: *Proceedings of the 2017 IEEE BigData Congress.* pp. 557–564. Honolulu, Hawaii, USA (2017).