

ISSN 2236-0859

DIREITO & DESENVOLVIMENTO

REVISTA DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM DIREITO
MESTRADO EM DIREITO E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

COMERCIALIZAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA PEER-TO-
PEER, CONTRATOS INTELIGENTES E A REGULAÇÃO DO
ACESSO À ENERGIA NO BRASIL

MATEUS DE OLIVEIRA FORNASIER
NORBERTO MILTON PAIVA KNEBEL

COMERCIALIZAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA PEER-TO-PEER, CONTRATOS INTELIGENTES E A REGULAÇÃO DO ACESSO À ENERGIA NO BRASIL

PEER-TO-PEER ELECTRIC POWER MARKETING, SMART CONTRACTS AND THE REGULATION OF ENERGY ACCESS IN BRAZIL

Recebido: 29/03/2021
Aprovado: 22/05/2021

Mateus de Oliveira Fornasier¹
Norberto Milton Paiva Knebel²

RESUMO:

Este trabalho objetiva, em linhas gerais, identificar como a comercialização de energia elétrica *peer-to-peer*, teoricamente, se relaciona com a regulação jurídica brasileira. A hipótese que se apresenta é a de que, no atual estado de coisas, há um conflito entre esses negócios jurídicos e a regulação da energia elétrica, sendo a possibilidade de coexistência entre o sistema nacional e essa nova forma de comercialização algo de necessária regulamentação atualizada. Seus objetivos específicos são: i) explorar o conceito de comercialização *peer-to-peer* e a tecnologia da *blockchain*; ii) estudar a operacionalização dessas tecnologias por meio dos contratos inteligentes; iii) tratar acerca das contradições entre esse tipo de negócio jurídico e os direitos fundamentais e humanos. Como resultado, tem-se que O vácuo normativo identificado é natural nessas tecnologias disruptivas faz com que seja necessário, no caso brasileiro, manter uma firme regulação sob os princípios da continuidade, universalidade e modicidade tarifária para a energia elétrica enquanto promove o desenvolvimento tecnológico. Assim, compreende-se possível a realização dessa forma econômica desde que não ofenda a universalização do acesso aos vulneráveis, sendo possível a coexistência dos sistemas de distribuição de energia — a rede distribuída e as microrredes. Metodologia: método de procedimento dedutivo, de abordagem qualitativa e técnica de pesquisa bibliográfico-documental.

Palavras-chave: Energia elétrica. Comercialização *peer-to-peer*. Contratos inteligentes. *Blockchain*. Direitos fundamentais.

ABSTRACT:

This paper aims to identify how the commerce of peer-to-peer electricity, theoretically, is related to Brazilian policy. Its hypothesis is that, in the present state of affairs, there is a conflict between these businesses and the electricity policy, being the possibility of coexistence between the

¹ Doutor em Direito pela Universidade do Vale do Rio dos Sinos (UNISINOS, Brasil) (2013), com Pós-Doutorado pela University of Westminster (Reino Unido) (2018-2019). Atualmente é professor/pesquisador da Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul (UNIJUI), no programa de Pós-Graduação Stricto Sensu (Mestrado e Doutorado) em Direito. Tem experiência na área de Direito, com ênfase em Sociologia Jurídica e Direito Constitucional, atuando principalmente nos seguintes temas: regulação da tecnologia, inteligência artificial e Direito, filosofia da tecnologia, democracia eletrônica e cidadania digital. Email: mateus.fornasier@gmail.com

² Doutorando em Direito no Programa de Pós-Graduação em Direito Humanos da Unijui-RS, na linha de pesquisa “Democracia, Direitos Humanos e Desenvolvimento”, com bolsa CAPES/PROSUP. Mestre em Direito pela Universidade La Salle - Canoas/RS com bolsa integral CAPES/PROSUP. Especialista em Direito Penal e Processo Penal (IMED). Especialista em Direito Ambiental (FMU). Advogado. Pesquisador do Grupo de Pesquisas Teorias Sociais do Direito da Universidade La Salle. Email: norberto.knebel@gmail.com

national system and this new way of commerce something that needs an updated regulation. Its specific objectives are: i) to explore the concepts of peer-to-peer marketing and blockchain technology; ii) to study the operationalization of these technologies through smart contracts; iii) to address the contradictions between this type of legal business and fundamental and human rights. As a result, the normative vacuum identified is natural in these disruptive technologies, so it is necessary, in the Brazilian case, to maintain a firm regulation under the principles of continuity, universality and tariff affordability for electric energy while promoting technological development. Thus, it is possible to realize this economic form as long as it does not offend the universalization of access to the vulnerable, being possible the coexistence of energy distribution systems - the distributed network and the micro networks. Methodology: deductive procedure method, qualitative approach and bibliographic-documentary research technique.

Keywords: Electric power. Peer-to-peer marketing. Smart contracts. Blockchain. Fundamental rights.

INTRODUÇÃO

O desenvolvimento tecnológico na era do *big data* tem impactado a Economia e o Direito no sentido que a ubiquidade da informação — na produção e reprodução dos dados digitais — é influente na vida cotidiana. A energia elétrica como elemento essencial para a vida contemporânea também tem passado por transformações importantes relativas a seu acesso e sua distribuição — tanto na ascensão de redes inteligentes como em novas possibilidades de armazenagem e distribuição locais de energia, tendo em vista o compartilhamento de infraestrutura de produção energética.

Este artigo analisa a possibilidade de comercialização de energia elétrica *peer-to-peer*, ou seja, de serem estabelecidos negócios jurídicos de distribuição de energia entre consumidores, principalmente relativos às práticas de microrredes (*microgrids*) — que estabelecem formas locais de geração, armazenagem e distribuição de energia. A ascensão tanto das redes inteligentes ligadas ao contexto da Internet das Coisas (IoT) — em que dispositivos se conectam entre si (M2M) — quanto dessas microrredes constitui tecnicamente essa nova possibilidade de comercialização de energia elétrica.

A geração, transmissão e distribuição de energia elétrica tem passado por uma transformação, eis que o desenvolvimento de novas tecnologias tem permitido a criação de novas formas de rentabilização. A principal tecnologia que tem sido vista como a solução dos problemas da velocidade e da dinâmica das tecnologias da informação é o da *blockchain*, que promove transações ponto a ponto sem a auditoria de terceiros (OCHOA; SILVA; LEITHARDT, 2019, p.1). As três razões pelas quais a transação *peer-to-peer* (P2P) via *blockchain* é uma via adequada são descritas por Wang et al. (2019, p. 2720): (I) o *blockchain* permite a armazenagem das transações entre pares sem alterações e respeitando o comportamento de cada usuário; (II) a *blockchain* ajuda a reduzir os custos da produção local de energia, permitindo parcerias locais; (III) os contratos inteligentes são a plataforma ideal para implementação de negócios P2P devido à sua resposta imediata a demandas e os mecanismos de automação.

No campo jurídico, o instrumento utilizado é do que se conceitualmente se chama de contratos inteligentes (*smart contracts*). Eles são considerados uma forma totalmente nova de contratar (e não simplesmente uma forma específica de contrato), aliados ao contexto da automação algorítmica em que contratos podem ser executados e ajustados de acordo com os *frameworks* gerados de acordo com o contexto (do usuário, do ambiente e do espaço).

Portanto, há uma forma de comercialização de energia ligada às novas tecnologias, a comercialização P2P, e uma forma jurídica de operacionalização desses negócios, que são os

contratos inteligentes. Entretanto, a partir disso surge um problema (o qual constitui, também, a questão central deste artigo), ao se identificar que a regulação da energia elétrica no Brasil busca respeitar o acesso a energia como direito fundamental, sendo, por isso de competência exclusiva da União. Dessa forma, como estabelecer negócios *peer-to-peer* no contexto do regulação nacional de energia elétrica?

Assim, o objetivo geral deste trabalho é identificar como a comercialização de energia elétrica *peer-to-peer*, teoricamente, se relaciona com a regulação brasileira. Para isso, é necessário, num primeiro momento, explorar o conceito desse negócio jurídico sob sua forma econômica — a tecnologia *blockchain* — e sua forma jurídica — os contratos inteligentes. Em segundo lugar, é preciso, também, apontar quais as possíveis contradições entre os direitos fundamentais e os direitos humanos e o estabelecimento desse tipo de comercialização de energia elétrica.

O método de procedimento adotado é de reflexão dedutiva, de abordagem qualitativa e técnica de pesquisa bibliográfico-documental, orientada pela hipótese de que há um conflito entre esses negócios jurídicos e a regulação da energia elétrica, sendo a possibilidade de coexistência entre o sistema nacional e essa nova forma de comercialização algo de necessária regulamentação. Para isso, na primeira parte do texto será explorado o conceito de comercialização *peer-to-peer* e a tecnologia da *blockchain* (forma econômica); na segunda parte a operacionalização dessas por meio dos contratos inteligentes (forma jurídica); enquanto na terceira parte serão tratadas das contradições entre esse negócio jurídico e os direitos fundamentais e humanos.

1 FORMA ECONÔMICA: *BLOCKCHAIN* E A ENERGIA ELÉTRICA PEER-TO-PEER

As propriedades características da tecnologia *blockchain*, segundo Greve (2018, p. 3-4), são: (I) Descentralização: a confiança das transações se dá entre as partes sem intermediário; (II) Disponibilidade e Integridade: o sistema possui dados transparentes e constantes, não sendo possível perdê-los com o tempo; (III) Transparência e Auditabilidade: as transações são públicas e podem ser auditadas facilmente; (IV) Imutabilidade e Irrefutabilidade: os registros são imutáveis, sendo as atualizações possíveis somente em novas transações (e novo consenso); (V) Privacidade e Anonimidade: não há terceiro fiscalizador e as chaves de acesso são individuais; (VI) Desintermediação: integra diversos sistemas de forma direta; (VII) Cooperação e Incentivos: O consenso sob demanda funciona como incentivo.

O uso das tecnologias *blockchain* aponta para uma nova era do consenso sob demanda, que ao implementar máquinas que mantêm um consistente estado compartilhado de pares distribuídos em rede, em um conjunto e ordem de transações aceitas por todos os participantes, institui protocolos de consenso (GREVE, 2018, p. 2). Essa forma tecnológica pode oferecer soluções para a indústria da energia elétrica, como os proeminentes projetos de implementação que contemplam negócios P2P e aplicações de IoT, criando mercados descentralizados. O impacto potencial da *blockchain* na possibilidade de instaurar uma modalidade de comércio de energia elétrica entre pares, cliente-cliente, é resumido por Andoni et al. (2019, p. 151-52) em dez características:

(I): cobranças: os contratos inteligentes podem concretizar transações automatizadas para consumidores e geradores, tanto com micro-pagamentos recorrentes ou conforme o uso. A diminuição do custo administrativo pode reduzir o custo da tarifa ao mesmo tempo que a rastreabilidade da energia produzida e consumida a cada ponto da rede informa os consumidores sobre a origem e o custo da energia em tempo real — ajustando a demanda e a organização de segurança contra ataques de terceiros (ANDONI et al., 2019, p. 157);

(II) vendas e marketing: as vendas podem ser focadas conforme as individualidades do perfil de cada consumidor, em tempo real, por meio das inteligências artificiais (AI) e do *machine learning*. Isso institui um modelo de gestão energética baseado na demanda — *demand-side management* (DSM) — que se organiza a partir das decisões tomadas pelos consumidores, tanto de maneira informada, quanto na criação de figuras artificiais inteligentes ativas nas residências, capazes de tomar decisões baseadas na otimização do consumo (DI SANTO et al., 2018, p. 152-161).

(III) operações de mercado: podem promover, para empresas, venda e comércio de ações e títulos em plataforma autônoma. As criptomoedas são uma popular aplicação da *blockchain*, inclusive, com a ascensão de criptomoedas e *tokens* de energia específicos para a atividade de comercialização de energia elétrica, que descentralizam as redes ao intermediar transações de energia — gerando um contínuo *feedback* de validação dos *tokens* entre pares.³ A digitalização do mercado da distribuição de energia elétrica institui um novo modelo de negócios baseado na flexibilidade e em operações múltiplas (PEREIRA et al., 2018, p. 435).

(IV) automação: implementa o controle de sistemas de energia descentralizado e dos *microgrids* ao promover inteligências artificiais para gerir produção e distribuição local de energia. A utilização de negócios automatizados via *blockchain* vira uma realidade a partir das inteligências artificiais capazes de gerir a demanda e também estabelecer tarifas. Na distribuição corresponde aos sistemas automáticos de medição e no uso final aos sistemas de gerenciamento de energias prediais e residenciais (FALCÃO, 2009, p. 4).

(V) *smart grids*: conexão entre os dispositivos de transmissão e armazenagem de energia, como os sensores inteligentes de controle de consumo. É a tecnologia que desenvolve a maximização dos benefícios e utilidades dos serviços de energia ao usar eficientemente todos os recursos disponíveis - é uma rede inteligente que combina a informação em tempo real com as redes de energia elétrica existentes (ou novas)⁴, é a sensibilização dos dispositivos de produção e distribuição de energia tendo em vista a comunicação pela internet e o contexto (KAKRAN; CHANANA, 2018, p. 525).

(VI) gerenciamentos das redes de energia: pode ser flexibilizado e automatizado por recursos flexíveis. Impacta tanto as redes inteligentes que universalizam o acesso a energia quanto as micro-gerações distribuídas: nas primeiras, ele pode identificar os padrões locais de consumo e distribuição, enquanto nas pequenas redes pode flexibilizar e automatizar o comportamento dos produtores-consumidores (*prosumers*) de energia. Nesse sentido, os negócios via *blockchain* garantem uma integração dessas plataformas (ANDONI et al., 2019, p. 151-152).

(VII) segurança e proteção de identidade: as transações são criptografadas e a confidencialidade de dados é um princípio, tendo em vista o *blockchain* ser uma plataforma resiliente capaz de anotar negócios interconectados (MYLREA; GOURISETTI, 2017, p. 21). Do ponto de vista das identidades, as transações via *blockchain* são sempre assinadas e verificadas⁵ ao mesmo tempo que completamente anônimas (AITZHAN; SVETINOVIC, 2016, p. 2-4), enquanto que para os dispositivos, no âmbito da IoT, promove mecanismo de autenticação atualizados e criptografia — sendo necessários mecanismos de segurança como *firewall* e a formação de ambientes seguros de execução das aplicações (MINOLI; OCCHIOGROSSO, 2018, p. 10-11).

(VIII) compartilhamento de recursos: pode proporcionar o uso de dispositivos conforme a necessidade em tempo real dentro de uma rede. A rede pode se integrar aos sistemas da infraestrutura das telecomunicações, por exemplo, sendo capaz de praticar a eficiência

³ Como o modelo exposto por Cong, Li e Wang (2018, p. 39).

⁴ Há a possibilidade de se constituírem redes inteligentes de energia independentes ou em operações em aliança com as redes tradicionais (MARZBAND et al, 2018)

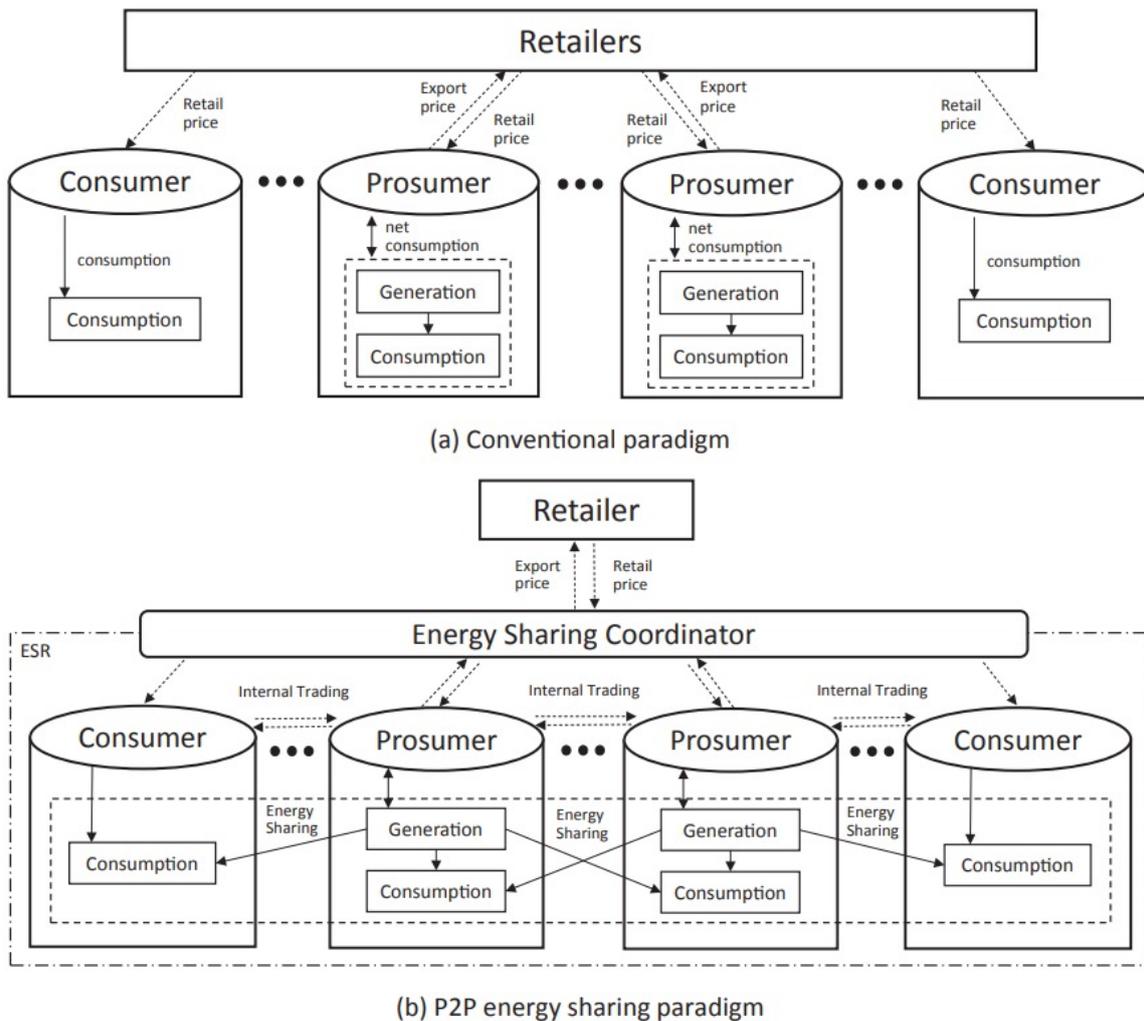
⁵ A arquitetura de uma *blockchain* é dividida em três partes: (I) prova de trabalho (*proof-of-work*): resolve os conflitos e tem o poder de adicionar informações a essa base de dados, (II) verificação de validade e (III) criptografia das informações (GABRICH; COELHO; COELHO, 2017, p. 7-8)

energética ao captar, via sensores, dados de mobilidade, clima e tempo (LAMIN, 2013, p. 145-146). Também, possibilita uma comunicação bidirecional que aumenta a quantidade de informação dos sistemas e sustenta uma demanda mais eficiente entre pares, que podem compartilhar recursos e infraestrutura de acordo com o melhor uso em tempo-real (ZAFAR; MAHMOOD; RAZZAQ; ALI; NAEEM; SHEHZAD, 2018, p. 1675).

(IX) competitividade: contratos inteligentes podem simplificar e acelerar o processo entre os fornecedores de energia, dando maior mobilidade e eficiência. O incentivo a uma maior dinâmica de preços tende a fazer com que os distribuidores ajustem as tarifas mais rapidamente e de acordo com a demanda, tornando a competitividade de fornecimento algo em tempo-real e descentralizado⁶ (CLASTRES, 2011, p. 5403-5404).

(X) transparência: registros imutáveis e processos transparentes melhoram os processos de auditoria e regulação. A arquitetura das transações de energia elétrica via *blockchain* permitem uma coleta de dados amplas pelos consumidores e pelos dispositivos que permitem a informação em tempo real do consumo e orienta a participação de outros atores ao prever a demanda por energia, portanto, o mercado de energia dos *prosumers* se baseia na transparências dos dados das operações (HWANG; CHOI; LEE; JEON; KIM; PARK; PARK, 2017, p. 196)

Figura 1: em (a) o modelo convencional de comercialização de energia e em (b) o modelo *peer-to-peer*.



Fonte: Zhou, Wu e Long (2018, p. 996)

⁶ O que sugere, do ponto de vista regulatório, de uma flexibilização do ponto de vista tarifário para promover competitividade e inovação (KRANZ; PICOT, 2011, p. 5)

Trata-se da emergência de um mercado de energia elétrica centrado nos consumidores, até por isso a utilização do termo *prosumer*, que nada mais é que o consumidor que também é produtor de energia, constituindo um comércio multi-bilateral (PINSON *et al*, 2017, p. 27). A descentralização do comércio de energia tem se desenvolvido na ascensão das redes inteligentes conectadas mundialmente à internet, ao mesmo tempo que estabelecida em redes locais; portanto, a ideia é de redes de energia auto-organizadas como modelos de negócios locais ou organizados de forma comunitária.

Esse modelo de comercialização de energia contrapõe a organização tradicional do setor elétrico brasileiro, pois se estrutura de baixo-para-cima — a partir dos produtores-consumidores, e não da usina distribuidora de energia. As tecnologias de *blockchain* permitem o armazenamento e gerenciamento de informações sem a necessidade de uma autoridade de controle centralizada, organizado em micro redes (*microgrids*) locais (GABRICH; COELHO; COELHO, 2017, p. 1). Portanto, aqui há de se falar em uma reorganização da comercialização de energia em direção aos *smart grids* e aos *microgrids*.

Observa-se, assim, uma conexão com o avanço tecnológico que proporciona a noção de redes inteligentes de energia — ligadas ao conceito de Internet das Coisas — com a noção de microrredes — que contempla uma nova forma de comercialização de energia “de baixo para cima”, em que a gestão energética é feita localmente. A tecnologia do *blockchain* é uma ferramenta para a realização desses negócios jurídicos, em que o instrumento jurídico adotado são os contratos inteligentes — adequados a essa nova realidade.

2 FORMA JURÍDICA: CONTRATOS INTELIGENTES NA INTERNET DAS COISAS

A tecnologia *blockchain*, ao promover um consentimento descentralizado, aumenta o potencial dos espaços de contratação por meio dos chamados “contratos inteligentes”, ou *smart contracts*. Isso ocorre por meio da capacidade de eleger agentes contratantes capazes de gerir os resultados e automatizar as transferências contingentes, sendo esse elemento capaz, em teoria, de eliminar a informação assimétrica entre consumidores ao agregar o consentimento de todos os participantes (CONG; HE, 2019, p. 1757). Em suma, a taxonomia de um contrato inteligente via *blockchain* é, segundo Christidis e Devetsiokiotis (2016, p. 2297): (I) quem tem acesso a rede: a permissão de quem pode participar, podendo ser limitada em cadeias privadas ou ilimitada em cadeias públicas; (II) quem pode fazer transações ou minerar: é um filtro que identifica a função dos participantes, podendo alguns estar apenas cumprindo a função de minerar criptomoedas, não fazendo transações; e (III) o modelo de transações: pode ser baseado em *criptomoeda* ou em contas pessoais recompensadas por *tokens*.

A utilização da *blockchain* nas transações comerciais tem o potencial de ressignificar diversos institutos jurídicos (FALEIRO JÚNIOR; ROTH, 2019, p. 39): no campo da operacionalidade inter-relacional, com a chegada dos (I) contratos inteligentes — instrumento para garantir segurança jurídica nas obrigações, mas para além do mero contrato eletrônico. Também, no campo da (II) propriedade intelectual, já que a enorme multiplicação informacional salienta um papel colaborativo de criação na internet — assim, o registro de propriedade intelectual é inserido nos consensos que geram blocos, estando permanentemente ligado ao histórico de transações, não podendo ser apagado (YANG, 2019, p. 747).

O mecanismo desses negócios jurídicos é o contrato inteligente, que consistem, em síntese, nos protocolos digitais que permitem aos dispositivos executarem contratos e suas prestações de forma autônoma, sem intervenção humana (FELIU REY, 2019, p. 1). Portanto, os contratos inteligentes agem como atores autônomos em que o comportamento é completamente

previsível — pois precisa descrever todos os possíveis resultados do contrato, mesmo que sejam aprendidos ao longo do tempo pela inteligência artificial, mas precisam estar escritos no código para produzirem um resultado —, por isso eles são determinados e só produzem consenso com retornos esperados e coerentes dentro da cadeia (CHRISTIDIS; DEVETSIOKIOTIS, 2016, p. 2296-2297).

Essa noção de contratos inteligentes passou por transformações, primeiramente existiam os “*data-oriented contract*” — que são os contratos digitais, ou seja, contratos escritos em linguagem escrita traduzidos para linguagem de máquina; posteriormente, surgiram os “*computable contract*” — já ligados ao parâmetro da autonomia das máquinas programadas, sendo cumpridos de forma automática e programada. Após ainda, surgiram então os “*autonomous computable contracts*”, que consistem na forma contemporânea dos contratos inteligentes — ao possibilitarem ao mecanismo contratual pactuar contratos com outros dispositivos autônomos, é o cenário dos contratos no âmbito da Internet das Coisas (FELIU REY, 2019, p. 12-13).

Portanto, a atualidade dos contratos inteligentes não corresponde a uma forma específica de contrato, mas sim, à forma de contratar.⁷ A realidade é de dispositivos autônomos conectados à internet, executando contratos entre si e com partes humanas. Essa é a concepção dos negócios jurídicos sob a égide da Internet das Coisas, que faz convergirem vários tipos de objetos da vida cotidiana sensíveis à internet e ao contexto, sendo capazes de interagir com o mundo, detectando elementos da vida ligados à necessidade e aos interesses delimitados, e se comunicando com outros dispositivos, tomando decisões (MAGRANI, 2018, p. 44).

A ligação com os objetivos e dispositivos do dia-a-dia é importante para mensurar a transformação da vida cotidiana em razão dessas tecnologias, pois não se tratam de algo pertencente somente às grandes operações de empresas ou Estados. A Internet das Coisas se dá no cenário das cidades e das residências, ao interligar dispositivos mundialmente e em tempo-real, de forma automatizada com protocolos que tomem decisões sobre o bem-estar e a segurança.⁸ É um contexto de enorme fluxo de dados, em que os participantes (sensores em máquinas, centro de dados, aplicações e consumidores) se comunicam de forma ubíqua e em tempo real (CARRION; QUARESMA, 2019, p. 53).

A interação entre os dispositivos (elementos não humanos) e os humanos (consumidores) se dá no fluxo de dados sensíveis ao contexto — ou da tecnologia de informação sensível ao contexto. A sensibilidade ao contexto se dá quando a gestão e criação de dados digitais é corroborada de acordo com o contexto dos usuários, do ambiente e do tempo, agindo de forma ativa ao interpretar os dados — geridos e categorizados conforme o contexto específico.

A relação dos objetos/dispositivos interligados com as necessidades próprias das redes e dos usuários é o cenário que faz com que surjam os *smart grids* de energia elétrica. Isso proporciona a ascensão de arquiteturas autônomas baseadas na internet das coisas (IoT), que são as empresas de distribuição autônomas (*distributed autonomous corporations — DAC*), entidades capazes de lidar com os pagamentos e as propriedades — sendo auditáveis pelos participantes da rede, a partir do protocolo estabelecido pela *blockchain*. Portanto, enquanto as transações de energia elétrica se dão entre os pares, é possível instituir um modelo de negócio gerido autonomamente, capaz de reduzir os custos operacionais, eficiente e flexível (ZHANG; WEN, 2017, p. 984).

Entre os consensos dos participantes e das organizações autônomas, os contratos inteligentes se constituem dentro desse ecossistema humano e não-humano. Pressupõe-se a confiança e a segurança das operações distribuídas para que os contratos sejam eficazes —

⁷ Até mesmo por isso existe um vácuo regulatório, pois a execução desses contratos independente de uma forma específica disposta em lei (MILAGRE, 2018, p. 7)

⁸ Um exemplo desse cenário são as chamadas “casas automatizadas”, conforme exposto em Sanchez, Costa e Fernandes (2019).

autoexecutáveis, portanto — respeitando a coerência da cadeia de blocos, a inviabilidade da criptografia e os mecanismos descentralizados de consenso entre os pares (registro distribuído, ou *distributed ledger*).⁹ Outro componente essencial desse ecossistema são os oráculos,¹⁰ fontes de informação permanente que orientam uma previsão (de preço, por exemplo) (FELIU REY, 2019, p. 14-16).

Dessa forma, o ecossistema dos contratos inteligentes é de confiança recíproca, condição para contemplar as suas características de autoexecutabilidade e inalterabilidade, ao mesmo tempo em que executa transações autônomas que sintetizam trocas com os pagamentos (sendo dados no mesmo instante). Salvo se o código prever, as formas de transação são inalteráveis, e serão executadas sob sua forma original, devendo a flexibilidade e a correção dos erros técnicos ser um mérito da programação, ao contrário de serem continuamente executadas operações equivocadas (SCHECHTMAN, 2019, p. 7-8)

Os contratos inteligentes são, portanto, a forma jurídica e a plataforma adequada para as operações de comercialização *peer-to-peer* de energia elétrica, justamente porque a *blockchain* permite essa execução automatizada dos contratos sob as condições de consumo e distribuição estabelecidas pelos consensos em rede (ANDONI et al., 2019, p. 144) e também pela imutabilidade dos registros e a segurança criptografada (ALI et al., 2018, p. 585). Essa noção de redes inteligentes de energia elétrica sendo aplicável ao conceito de *microgrid*/microrredes, torna possível apontar que existem as condições necessárias para negócios jurídicos de comercialização de energia elétrica em pequenas redes inteligentes, conectando localmente usuário consumidores/produtores (*prosumers*) com dispositivos de produção e gestão de energia elétrica.

3 FORMA POLÍTICA: REGULAÇÃO DA ENERGIA ELÉTRICA EM REDES INTELIGENTES E MICRORREDES

A Constituição Federal de 1988 define a competência privativa da União em legislar sobre a energia (art. 22, IV). Portanto, há um paradigma regulatório da União em relação à energia elétrica no Brasil, que por esse motivo instituiu a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) — agência reguladora sob forma de autarquia, criada pela Lei nº 9.427, de 1996. Esse regime nacional de regulação tem a finalidade de fiscalizar a produção, transmissão, distribuição e comercialização de energia elétrica, considerada pela política e as diretrizes do Governo Federal como um serviço público.

Os serviços públicos podem ser concedidos ou permitidos para exploração de empresas privadas ou públicas, conforme o que é definido pela Lei nº 8.987/1995 — que aponta o poder concedente da União, dos Estados e dos Municípios para encontrarem agentes competentes para a prestação de algum serviço público adequado. A Constituição Federal aponta para a incumbência do Poder Público de executar os serviços públicos necessários diretamente ou sob o regime de concessão ou permissão (art. 175), dispondo sob (I) o regime de contratação das empresas concessionárias, (II) os direitos dos usuários, (III) política tarifária, (IV) a obrigação de manter serviço adequado.

9 Corresponde a ideia de um banco de dados distribuído pelos nós de todos os usuários conectados em uma rede descentralizada, armazenando todas as transações. A *blockchain* é uma dessas formas. (SIANO; DE MARCO; ROLÁN; LOIA, 2019)

10 Conforme a definição de Paiva Sobrinho, Garcia, Maia e Romeiro (2019, p. 162): “Independentemente da plataforma blockchain, os smart contracts possuem características comuns como o uso de oráculos. Os oráculos são simplesmente fontes de informação/dados confiáveis que servem de entrada para os contratos inteligentes. Por exemplo, o serviço de medição de temperatura de alguma instituição governamental pode ser o oráculo para fornecer os dados de temperatura que serão usados em um smart contract que utiliza representa uma aposta entre duas pessoas, isto é, se no dia específica a determinada hora a temperatura for igual a um valor específico um dos envolvidos perde a aposta e o contrato inteligente transfere automaticamente um ativo (criptomoedas) para a parte vencedora.”

Portanto, ao mesmo tempo em que há uma regulação privativa por meio da União sob a produção e comercialização de energia, ao Poder Público reserva-se a competência de decidir por conceder ou permitir que a empresa competente realize o serviço de acesso à energia elétrica para os cidadãos enquanto a explora de maneira privada, devendo restringir-se aos regulamentos da Agência Nacional de Energia Elétrica.

Dessa forma, a implementação de redes inteligentes (*smart grids*) de energia elétrica depende de iniciativas tanto governamentais quanto privadas, buscando o desenvolvimento de tecnologias, alterações na regulação do setor e elaboração de projetos pilotos (BANDEIRA, 2012, p. 8). A ANEEL publicou a chamada para um “Programa Brasileiro de Rede Inteligente” em 2011, justamente na possibilidade do setor elétrico brasileiro estabelecer projetos de pesquisa e desenvolvimento tecnológico¹¹ em conjunto com diversos agentes tendo por fim a elaboração de um “Programa Brasileiro para implantação de Redes Inteligentes”. Influenciado pelo Grupo de Trabalho¹² para redes inteligentes composto pelo Ministério de Minas e Energia, Empresa de Pesquisa Energética, Centro de Pesquisa de Energia Elétrica, ANEEL, Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS) e Câmara de Comercialização de Energia Elétrica.

O Grupo de Trabalho (MME, 2010, p. 21-22) utilizou como conceitos associados a modernização da rede elétrica: (a) confiabilidade, (b) eficiência, (c) segurança e (d) questões ambientais. E, também, como principais funções requeridas em uma rede inteligente são: (I) auto-recuperação, (II) motivar consumidores a serem mais participativos, (III) resistir a ataques físicos e cibernéticos, (IV) permitir vários tipos de geração e armazenagem de energia, (V) maior envolvimento do mercado e (VI) permitir uma maior utilização de geração intermitente de energia.

Esse cenário incentiva a prática de novas formas de distribuição de energia, promovendo maior participação dos consumidores — que também passam a ser produtores (*prosumers*), enquanto possibilita novas formas de armazenagem de energia elétrica, mesmo que mantenha a ligação com a distribuição central do operador — concessionário ou permissionário. O caderno temático sobre “Micro e Minigeração Distribuída” da Agência Nacional de Energia Elétrica explica a estrutura de regulação para o “Sistema de Compensação de Energia Elétrica”. Esse sistema foi criado pela agência após a promoção de Consulta e Audiência Pública¹³ tendo o objetivo de promover debates sobre a regulação e distribuição de energia de pequeno porte, implementando, ao final, resolução normativa que estabelece as condições gerais de fornecimento (ANEEL, 2016, p. 8).

A noção de distribuição de energia estabelecida por esse sistema é de que os sistemas de geração de energia locais sejam injetados na rede da distribuidora de energia elétrica, ou seja, que a rede receba a produção de energia local excedente e compense o produtor com créditos de energia (com valor dado pelos KWh). Entretanto, não se trata de uma relação somente do micro ou minigerador com a distribuidora, mas pode se dar das seguintes formas: (I) geração compartilhada: quando consumidores, dentro da mesma área de concessão ou permissão, por meio de consórcio ou cooperativa, que possua uma unidade de micro ou minigeração distribuída em local diferente das unidades consumidoras, nas quais a energia excedente será compensada; (II) Autoconsumo remoto: quando consumidores da mesma pessoa jurídica ou pessoa física que possua unidade consumidora com micro ou minigeração, utiliza local diferente, mas na mesma área de concessão ou permissão; (III) Empreendimento com múltiplas unidades consumidoras (condomínios): quando há utilização independente, sendo cada fração com uso individualizado

11 A ANEEL criou e regula um programa de “P&D” (Pesquisa e desenvolvimento), estabelecido pela Lei 9.991/2000 e alterada pela lei 13.280/2016, estabelecendo um investimento mínimo das concessionárias e permissionárias nessa área..

12 Criado após a portaria 440/110 do Ministério de Minas e Energia.

13 Consulta Pública realizada de 10/09/2010 até 09/11/2010 e Audiência Pública nº 42/2011 realiza de de 11/08/2011 até 14/10/2011.

(unidade consumidora) e a área comum, desde que a distribuição se limite somente a área do empreendimento (ANEEL, 2016, p. 15-16).

Portanto, há regulação da geração distribuída de pequeno porte enquanto ligada à rede distribuidora de energia, ou seja, uma coexistência dos *microgrids* com a rede universalizada. A regulação da energia elétrica no Brasil incide sobre o acesso à energia pelo cidadão e as concessões/permits para produção e exploração, também, no âmbito da micro ou minigeração de energia elétrica — conectados à rede, instituindo um sistema de compensação para a produção e o uso intermitente de energia. Portanto, o vazio normativo se dá na efetiva comercialização entre pares, forma econômica aqui estudada na perspectiva das transações automatizadas mediadas pelos contratos eletrônicos e executadas via *blockchain*. Enfim, já há uma tecnologia para essas operações comerciais, tanto na economia como no Direito — mas resta saber como se constituirá o ciclo regulatório desse fenômeno.

O marco constitucional sobre o acesso à energia elétrica no Brasil o institui como direito fundamental, que não pode ficar à mercê de operações economistas puramente privadas, e havendo também a tendência à defesa do consumidor. Há uma estreita relação entre o acesso à energia e os Direitos Humanos. Conforme a tese de Costa (2009), o direito de acesso à energia é pré condição e meio fundamental do direito ao desenvolvimento previsto na Declaração Universal de Direitos Humanos de 1948. Ademais, sendo um serviço ao público, deve a estrutura normativa garantir a sua disponibilidade — sendo uma responsabilidade irrenunciável do Estado.

Conforme Bermann (2002, p. 18), a energia é um elemento fundamental para assegurar um mínimo padrão de vida; portanto, na realidade brasileira de um contexto social não pautado pela equidade fática e de notável desigualdade na distribuição de renda, é necessário se desenvolver mecanismos de regulação capazes de identificar e prover os requisitos mínimos para satisfação das necessidades básicas, na forma de garantir o acesso aos serviços. Reconhecendo a evidente disparidade social frente às questões como habitação, educação, saúde e saneamento básico, a energia elétrica se encontra nesse complexo de relações em que, ao mesmo tempo em que se precisa exigir qualidade no serviço prestado e se desenvolver tecnologicamente de forma sustentável, urge expandir e universalizar o acesso.

Essa condição, atrelada aos direitos fundamentais, pautam a existência de políticas públicas de ampliação do acesso à energia elétrica, ou seja, a formação de uma política energética nacional. Dois exemplos de políticas no Brasil são a (I) Tarifa Social e (II) Programa “Luz para todos”, que constituem o Plano de Universalização de Energia Elétrica do Governo Federal. A primeira é regulamentada pela Lei nº 12.212/2010 e o Decreto nº 7.583, que regulamenta descontos correspondentes ao consumo de energia,¹⁴ que é regressivo conforme o maior consumo (até 220 kWh/mês). Ademais, famílias indígenas e quilombolas inscritas no Cadastro Único do Governo Federal têm desconto de 100% na tarifa (com limite de consumo de 50 (kWh/mês)).¹⁵

A instauração de classes de consumo energético (grupos tarifários) pela Lei 10.438 pode ajudar o sistema a compensar os consumidores de baixa renda — e, conseqüentemente, baixo consumo — com tarifas mais baratas, cobrando mais de quem possui alto consumo.

¹⁴ A ANEEL divide as classes residenciais e de tarifa de de acordo com a Resolução Normativa nº 414, em seu artigo 53-C: (I) residencial, (II) residencial de baixa renda, (III) residencial de baixa renda indígena, (IV) residencial de baixa renda quilombola, (V) residencial baixa renda benefício de prestação continuada da assistência social e (VI) residencial baixa renda multifamiliar.

¹⁵ A Resolução Normativa nº 414 da ANEEL define a classificação das subclasses de acordo com o art 53-d: (I) família inscrita no Cadastro Único para Programas Sociais do Governo Federal - Cadastro Único com renda familiar mensal per capita menor ou igual a meio salário mínimo nacional; (II) idosos com 65 (sessenta e cinco) anos ou mais ou pessoas com deficiência, que recebam o Benefício de Prestação Continuada da Assistência Social - BPC; (III) III - família inscrita no Cadastro Único com renda mensal de até 3 (três) salários mínimos, que tenha portador de doença ou deficiência (física, motora, auditiva, visual, intelectual e múltipla) cujo tratamento, procedimento médico ou terapêutico requeira o uso continuado de aparelhos, equipamentos ou instrumentos que, para o seu funcionamento, demandem consumo de energia elétrica.

Portanto, se institui uma estrutura tarifária baseada na eficiência energética e na promoção da capacidade de consumir energia elétrica, mesmo para aqueles vulneráveis, ou seja, ao mesmo tempo que incentiva que os consumidores com altos padrões de consumo energético pensem em consumir de forma mais adequada, permite o maior acesso à energia para aqueles de baixa renda (SCHAEFFER et al., 2003, p. 71)

O Programa Nacional de Universalização do Acesso e Uso de Energia Elétrica — “Luz para Todos” — é uma política pública com intuito de promover acesso à energia elétrica em áreas remotas rurais, considerando tal serviço algo público e essencial é regulado pelo Decreto nº 7.520/2011 destinado a quem não possui acesso ao serviço, podendo ser famílias de baixa renda, famílias beneficiárias de programas de desenvolvimento social, assentamentos rurais, comunidades indígenas ou quilombolas, ou escolas, postos de saúde ou poços de água comunitários. É um marco legislativo para concretização da universalização do atendimento de energia elétrica no Brasil (PAZZINI et al., 2002, p. 7)

Antes dessas políticas de universalização, havia indefinição sobre a operacionalização do comando constitucional dos direitos fundamentais e sociais. O programa “luz para todos” foi um marco de política pública de inclusão ao compreender que o meio urbano já possui plena universalização da oferta de energia elétrica, enquanto o meio rural ainda precisa ser explorado - tendo reflexos no Estado no viés organizacional, formando uma estrutura operacional para execução do projeto e de natureza executiva ao estabelecer metas para execução das atividades (FREITAS; OLIVEIRA, 2017, p. 153).

A necessidade de regulação do setor elétrico e a promoção de políticas públicas se dá justamente pelos amplos processos de desestatização sofridos nesse campo, tendo em vista o Programa Nacional de Desestatização (lei nº 8.031/90) que emendou a Constituição Federal e diversas Constituições estaduais brasileiras, tendo em vista delegar a promoção desse serviço público a iniciativa privada. É nesse contexto que foi criada a ANEEL e essa tendência regulatória, sendo as políticas públicas de universalização da energia uma tentativa de guiar o acesso à energia na direção do interesse público, justamente pelo controle direto¹⁶ ter sido perdido para os agentes privados (GUIMARÃES, 2015, p. 85).

Portanto, o direito fundamental de acesso à energia é o da distribuição de energia, ou seja, o serviço universalizado de distribuir a todos a energia gerada e transmitida. O simples fato de gerar ou transmitir energia não é serviço público, o que constitui um serviço público é o que ele é referente e importante para a sociedade (CALASANS JUNIOR, 2013, p. 15). Dessa forma, o que efetiva tal direito é o seu acesso, que no Brasil se dá por meio de tarifa paga às concessionárias/permissionárias, devendo ser promovido de maneira adequada. Em suma, a oferta justa (continuidade, universalidade e modicidade tarifária) do serviço constitui o direito.

A comercialização *peer-to-peer* de energia elétrica surge como um paradigma não regulado que presume um sujeito ativo produtor/consumidor capaz de negociar e gerir autonomamente a distribuição de energia, todavia, deve coexistir com o sistema de distribuição calcado na regulação que obriga a continuidade, universalidade e modicidade tarifária para as concessionárias/permissionárias. O direito ao acesso à energia pressupõe universalização do acesso, algo que impede a comercialização entre pares de ser uma regra, ou seja, se tornar a nova estrutura de distribuição no Brasil.

Por um lado, prover aos consumidores um acesso em tempo-real aos custos de produção e as tarifas aplicadas, enquanto gestor de sua própria produção, formando um perfil flexível de comercialização de energia, tende a empoderar o cidadão como participante independente do

16 Conforme Machado (2015, p. 115): “Substituiu-se a execução direta pela regulação. As estatais foram privatizadas e, posteriormente, celebraram contratos de concessão com o poder concedente, que se manteve na condição essencial de titular daquelas atividades, dada a essencialidade dos serviços e a necessidade de permanente observância daqueles princípios de continuidade, universalidade e modicidade tarifária.”

mercado. Todavia, o paradigma da vulnerabilidade dos consumidores compreende um papel passivo deste e instaura um panorama protetor - o mundo das trocas de energia na *blockchain* exige um sistema com maiores papéis de responsabilidade individual (DIESTELMEIER, 2019, p. 195).

A ascensão de um mercado recente de *microgrids*¹⁷ anuncia novas problemáticas para a regulação, como é o caso do “*Brooklyn Microgrid*”, um sistema de geração e distribuição de energia renovável em Nova Iorque que contempla uma comunidade virtual baseada na plataforma de distribuição de energia ao mesmo tempo que uma micro rede que pode operar de forma separada do sistema de energia da cidade (MENGELKAMP et al., 2018, p. 7). Essa tecnologia disruptiva funciona à margem da regulação, enquanto não interfere negativamente no acesso à energia da cidade. Todavia, o desafio da regulação é compreender esse mercado em um cenário qual a universalização do acesso à energia seja afetada.

A experiência de regulação de outros países têm enfrentado esse desafio, da tendência de aumento do papel dos consumidores na distribuição de energia, mas reconhecendo a necessidade de manter a universalização do acesso, é preciso contemplar um local comum entre o empoderamento dos consumidores, no caso os *prosumers* e a proteção necessária das vulnerabilidades, como é caso da regulação na União Européia (DIESTELMEIER, 2019, p. 195). No contexto brasileiro, de ampla desigualdade da qualidade do acesso à energia, é necessário contemplar os interesses vulneráveis, ao mesmo tempo que permita o desenvolvimento da infraestrutura tecnológica.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A conclusão, portanto, do ponto de vista regulatório, é da coexistência entre as duas formas de distribuição de energia, adotando um sistema que contemple as trocas entre pares pelos *prosumers* e o sistema unificado que garanta a universalização da distribuição — tendo em vista o direito fundamental de acesso à energia elétrica. A comercialização *peer-to-peer* de energia elétrica via *blockchain* sob a forma de contratos inteligentes traz o potencial disruptivo das novas tecnologias e o desenvolvimento de redes inteligentes cada vez mais eficientes e capazes de gerir sistemas de forma autônoma, entretanto, é preciso contemplar também quem não faça parte desses negócios ou esteja em vulnerabilidade do ponto de vista da infraestrutura.

Para descrever esse fenômeno, foi preciso mapear as três formas atinentes: econômica, jurídica e política. Na primeira parte foi explorada a forma econômica da comercialização de energia elétrica *peer-to-peer*, ou seja, a possibilidade de transações de energia elétrica entre consumidores e consumidores/produtores (*prosumers*). Essa tendência pressupõe um sistema em que micro redes (*microgrids*) consigam executar transações entre pares, não somente com a rede distribuída - que é o atual sistema de compensação da microgeração distribuída. A forma econômica que torna isso possível é a *blockchain*, pois permite uma rede descentralizada de consensos capaz de unir os usuários com os dispositivos não humanos.

Há, nesse cenário, um aprofundamento das possibilidades das redes inteligentes de energia elétrica, que vem a ser a nova forma de distribuição de energia associada às novas tecnologias e conectando dispositivos que massificam as informações trabalhadas — dignos do cenário do *big data* e da Internet das Coisas — configurando-se, assim, possibilidades tecnológicas e de infraestrutura para que os micro geradores de energia possam constituir redes sólidas sem os enormes custos de infraestrutura, e podendo se estruturar de acordo com a demanda local.

¹⁷ O trabalho de Goranovic et al. (2017) elenca outros 14 projetos pelo mundo, todos baseados na *blockchain*, tendo como diferença que alguns são públicos e outros privados.

A forma jurídica para que essas operações ocorram só pode ser, no atual estado de coisas, dos contratos inteligentes, tendo em vista que são executados sob a plataforma da *blockchain* e não constituem uma forma contratual correspondente às formas estipuladas em lei, justamente pela sua autoexecutabilidade e automação. Os contratos inteligentes são o par tecnológico das transações de energia entre consumidores de forma digital, pois conseguem contemplar o aprendizado de máquina necessário e o cenário de demanda descentralizada e distribuída. São os contratos orientados por dados, que correspondem a uma programação baseada no interesse de cada usuário ou das premissas da organização autônoma que estabelece a empresa que media as transações.

Os negócios integralmente digitais e descentralizados que a comercialização de energia elétrica *peer-to-peer* precisa são operados pelos contratos inteligentes de forma a garantir segurança jurídica para as transações por via da *blockchain* que viabiliza o consenso sob demanda, o registro perpétuo das transações e a segurança da criptografia — seja numa rede pública, seja numa rede privada. Também, a descentralização como estrutura fundamental pressupõe que esses contratos tenham a flexibilidade e a velocidade digna das necessidades ajustadas em tempo real.

Ao final, a regulação desse fenômeno encontra-se num paradigma de um novo ciclo regulatório que se defronta para com questões entre a efetivação de Direitos Humanos e fundamentais e a abertura para inovação tecnológica. A comercialização de energia elétrica nessas vias entre pares e de maneira descentralizada se alimenta de tecnologias disruptivas que se dão à margem da regulação, mesmo que não ilegais, mas sob um contexto de difícil regulação, tamanho o grau de automação e de digitalização. É preciso contemplar a universalização do acesso à energia elétrica ao mesmo tempo que possibilite a ascensão das novas tecnologias que prometem maior eficiência e qualidade no uso da energia.

Os princípios jurídicos estabelecidos pelo Brasil colocam a prestação da energia como um serviço ao público essencial e de responsabilidade da União, ao ponto que existem políticas públicas tendo por objetivo a universalização do acesso — que se dá por via tarifária. A realidade que instituiu a privatização das concessionárias/permissionárias acabou com o controle direto da Administração Pública sob o fornecimento de energia, todavia, obriga o Estado a praticar a regulação do serviço — tarefa atribuída à ANEEL.

O atual vácuo normativo identificado é natural nessas tecnologias disruptivas, sendo constatado nas tentativas de regulação pela União Européia e nos Estados Unidos a dificuldade de definir as estruturas que constituem o comércio de energia elétrica P2P, sendo necessário, no caso brasileiro, manter uma firme regulação sob os princípios da continuidade, universalidade e modicidade tarifária para a energia elétrica enquanto promove o desenvolvimento tecnológico. Portanto, compreende-se possível a realização dessa forma econômica desde que não ofenda a universalização do acesso aos vulneráveis, sendo possível a coexistência dos sistemas de distribuição de energia — a rede distribuída e as microrredes.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (BRASIL). Micro e mini geração distribuída: sistema de compensação de energia elétrica. 2. ed. Brasília: ANEEL, 2016. Disponível: <https://www.aneel.gov.br/documents/656877/14913578/Caderno+tematico+Micro+e+Minigera%C3%A7%C3%A3o+Distribuida+++edicao/716e8bb2-83b8-48e9-b4c8-a66d7f655161>. Acesso em: 29/10/2019.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (BRASIL). Projeto Estratégico de P&D “Programa Brasileiro de REDES INTELIGENTES – Chamada ANEEL nº 011/2010. Disponível em: <http://redesinteligentesbrasil.org.br/o-projeto.html>. Acesso em: 05/11/2019.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (BRASIL). **Resolução normativa nº 414**, de 09 de setembro de 2010. Disponível em: <http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2010414.pdf>. Acesso em: 09/11/2019.

AITZHAN, Nurzhan Zhumabekuly; SVETINOVIC, Davor. Security and privacy in decentralized energy trading through multi-signatures, blockchain and anonymous messaging streams. **IEEE Transactions on Dependable and Secure Computing**, v. 15, n. 5, p. 840-852, 2016. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/7589035/>. Acesso em: 11/11/2019.

ALI, Jawad; ALI, Toqeer; MUSA, Shahrulniza; ZHRANI, Ali. Towards secure IoT communication with smart contracts in a blockchain infrastructure. (**IJACSA**) **International Journal of Advanced Computer Science and Applications**, v. 9, n. 10, p. 584-591, 2018. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Jawad_Ali27/publication/328686723_Towards_Secure_IoT_Communication_with_Smart_Contracts_in_a_Blockchain_Infrastructure/links/5bdbee0e4585150b2b983c81/Towards-Secure-IoT-Communication-with-Smart-Contracts-in-a-Blockchain-Infrastructure.pdf. Acesso em: 11/11/2019.

ANDONI, Merlinda; ROBU, Valentin; FLYNN, Davi; ABRAM, Simone; GEACH, Dale; JENKINS, David; McCALLUM, Peter; PEACOCK, Andrew. Blockchain technology in the energy sector: A systematic review of challenges and opportunities. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 100, p. 143-174, 2019. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032118307184>. Acesso em 10/10/2019.

BANDEIRA, Fausto de Paula Menezes. **Redes de energia elétrica inteligentes (smart grids)**. Nota técnica. em: CÂMARA DOS DEPUTADOS (BRASIL). Consultoria legislativa. Disponível em: <http://www.provedor.nuca.ie.ufrj.br/eletrobras/estudos/bandeira2.pdf>. Acesso em: 05/11/2019.

BERMANN, Célio. **Energia no Brasil, Para que? Para quem?: crise e alternativa para um país sustentável**. 2. ed. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2002.

BRASIL. **Constituição Federal da República do Brasil**. 1988. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicaocompilado.htm. Acesso em: 28/10/2019.

BRASIL. **Decreto nº 7.510**, de 8 de julho de 2011. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2011-2014/2011/Decreto/D7520.htm. Acesso em: 09/11/2019.

BRASIL. **Decreto nº 7.583**, de 13 de outubro de 2011. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/CCIVIL_03/_Ato2011-2014/2011/Decreto/D7583.HTM. Acesso em: 09/11/2019.

BRASIL. **Lei 10.438, de 26 de abril de 2002**. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/2002/L10438compilada.htm. Acesso em: 10/11/2019.

BRASIL. **Lei nº 12.212, de 20 de janeiro de 2010**. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2007-2010/2010/Lei/L12212.HTM. Acesso em 10/11/2019.

BRASIL. **Lei nº 13.280, de maio de 2016**. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2015-2018/2016/Lei/L13280.htm. Acesso em: 06/11/2019.

BRASIL. **Lei nº 8.031, de 12 de abril de 1990**. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L8031.htm. Acesso em: 10/11/2019.

BRASIL. **Lei nº 8.987, de 13 de fevereiro de 1995**. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l8987compilada.htm. Acesso em: 28/10/2019.

BRASIL. **Lei nº 9.427, de 26 de dezembro de 1996**. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L9427compilada.htm. Acesso em: 28/10/2019.

BRASIL. **Lei nº 9.991, de 24 de julho de 2000**. Acesso em; http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/L9991.htm. Acesso em: 06/11/2019.

CALASANS JUNIOR, José. **Direito de energia elétrica: estudos e pareceres**. 1. ed. Rio de Janeiro: Synergia, 2013.

CARRION, Patricia; QUARESMA, Manuela. Internet da Coisas (IoT): Definições e aplicabilidade aos usuários finais. **Human Factors in Design**, v. 8, n. 15, p. 049-066, 2019. Disponível em: <http://www.revistas.udesc.br/index.php/hfd/article/view/2316796308152019049>. Acesso em 23/10/2019.

CHRISTIDIS, Konstantinos; DEVETSIKIOTIS, Michael. Blockchains and smart contracts for the internet of things. **IEEE Access**, v. 4, p. 2292-2303, 2016. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=7467408>. Acesso em: 12/11/2019.

CLASTRES, Cédric. Smart grids: Another step towards competition, energy security and climate change objectives. **Energy policy**, v. 39, n. 9, p. 5399-5408, 2011. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S030142151100396X>. Acesso em: 10/11/2019.

CONG, Lin William; HE, Zhiguo. Blockchain disruption and smart contracts. **The Review of Financial Studies**, v. 32, n. 5, p. 1754-1797, 2019. Disponível em: https://papers.ssrn.com/sol3/Delivery.cfm/SSRN_ID3350106_code1807042.pdf?abstractid=2985764&mirid=1. Acesso em 10/10/2019.

CONG, Lin William; LI, Ye; WANG, Neng. Tokenomics: Dynamic adoption and valuation. Becker Friedman Institute for Research in Economics. **Working Paper**, n. 2018-49, p. 18-62, 2018. Disponível em: https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=3222802. Acesso em 10/10/2019.

COSTA, Maria D'Assunção. **O Direito de Acesso à energia: meio e pré-condição** para o exercício do direito ao desenvolvimento e dos direitos humanos, 2009, 220p., Tese de Doutorado, Programa de Pós-Graduação em Energia da Universidade de São Paulo. São Paulo, Brasil.

Disponível em: <https://teses.usp.br/teses/disponiveis/86/86131/tde-11082011-112846/publico/MariaDAssuncao.pdf>. Acesso em: 10/11/2019.

DIESTELMEIER, Lea. Changing power: Shifting the role of electricity consumers with blockchain technology–Policy implications for EU electricity law. **Energy policy**, v. 128, p. 189-196, 2019. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301421518308711>. Acesso em: 10/10/2019.

DI SANTO, Katia Gregio; DI SANTO, Silvio Giuseppe; MONARO, Renato Machado; SAIDEL, Marco Antonio. Active demand side management for households in smart grids using optimization and artificial intelligence. **Measurement**, v. 115, p. 152-161, 2018. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0263224117306346>. Acesso em: 11/11/2019.

FALEIROS JÚNIOR, J. L.; ROTH, G. Como a utilização do blockchain pode afetar institutos jurídicos tradicionais?. **Atuação: Revista Jurídica do Ministério Público Catarinense**, v. 14, n. 30, p. 39-59, 31 maio 2019. Disponível em: <https://seer.mpsc.mp.br/index.php/atuacao/article/view/82>. Acesso em 10/10/2019.

FELIU REY, Jorge. Smart Contract: conceito, ecossistema e principais questões de direito privado. **REDES - Revista Eletrônica Direito e Sociedade**, v. 7, n. 3, *ahead of print*, 2019. Disponível em: <https://revistas.unilasalle.edu.br/index.php/redes/article/view/6120>. Acesso em: 10/10/2019.

FREITAS, Gilmar Fialho de; OLIVEIRA, Marcelo Leles Romarco de. Uma análise do programa luz para todos do Governo Federal. **Revista de Extensão e Estudos Rurais**, v. 6, n. 2, p. 143-155, 2017.

GABRICH, Yuri B.; COELHO, Igor M.; COELHO, Vitor N. Tendências para sistemas microgrids em cidades inteligentes: Uma visão sobre a blockchain. Em: **XLIX Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional**, Blumenau, p. 1-12, 2017. Disponível em: <http://www.sbp02017.iltc.br/pdf/169695.pdf>. Acesso em 10/10/2019.

GORANOVIĆ, Andrija; MEISEL, Marcus; FOTIADIS, Lampros; WILKER, Stefan; TREYTL, Albert; SAUTER, Thilo. Blockchain applications in microgrids an overview of current projects and concepts. In: **IECON 2017-43rd Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society**. IEEE, 2017. p. 6153-6158. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/8217069/>. Acesso em: 09/11/2019.

GREVE, Fabíola; SAMPAIO, Leobino; ABIJAUDE, Jauberth; COUTINHO, Antonio; VALCY, Ítalo; QUEIROZ, Sílvio. Blockchain e a Revolução do Consenso sob Demanda. **Livro de Minicursos do SBRC**, v. 1, p. 1-52, 2018. Disponível em: <http://www.sbrc2018.ufscar.br/wp-content/uploads/2018/04/Capitulo5.pdf>. Acesso em 10/10/2019.

GUIMARÃES, Flávia Lefèvre. A crise da energia elétrica e o seu custo. **Revista USP**, n. 104, p. 83-90, 2015. Disponível em: <http://www.periodicos.usp.br/revusp/article/view/106755/105394>. Acesso em: 10/11/2019.

HWANG, Junyeon; CHOI, Myeong-in; LEE, Tacklim; JEON, Seonki; KIM, Seunghwan; PARK, Sounghoan; PARK, Sehyun. Energy prosumer business model using blockchain system to ensure transparency and safety. **Energy Procedia**, v. 141, p. 194-198, 2017. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1876610217354437>. Acesso em: 11/11/2019.

KAKRAN, Sandeep; CHANANA, Saurabh. Smart operations of smart grids integrated with distributed generation: A review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 81, p. 524-535, 2018. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032117311188>. Acesso em 23/10/2019.

KRANZ, Johann J.; PICOT, Arnold. Toward an end-to-end smart grid: overcoming bottlenecks to facilitate competition and innovation in smart grids. **Communications of the National Regulatory Research Institute**, v. 138, 2011. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Johann_Kranz/publication/267397658_Toward_an_End-to-End_Smart_Grid_Overcoming_Bottlenecks_to_Facilitate_Competition_and_Innovation_in_Smart_Grids/links/547329810cf216f8cfaea37f/Toward-an-End-to-End-Smart-Grid-Overcoming-Bottlenecks-to-Facilitate-Competition-and-Innovation-in-Smart-Grids.pdf. Acesso em: 11/11/2019.

LAMIN, Hugo. **Análise de Impacto Regulatório da Implantação de redes inteligentes no Brasil**. Tese de Doutorado em Engenharia Elétrica, 300p., Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2013. Disponível em: http://repositorio.unb.br/bitstream/10482/13962/1/2013_HugoLamin.pdf. Acesso em: 11/11/2019.

MACHADO, Fernando Moreno. Destatização e privatização no Brasil. **Revista Digital de Direito Administrativo**, v. 2, n. 1, p. 99-119, 2015. Disponível em: http://www.periodicos.usp.br/rdda/article/view/85646/pdf_7. Acesso em: 08/11/2019.

MAGRANI, Eduardo. **A internet das coisas**. Rio de Janeiro: Editora FGV, 2018.

MARZBAND, Mousa; AZARINEJADIAN, Fatemeh; SAVGHEBI, Mehdi; POURESMAEIL, Edris; GUERRERO, Josep M.; LIGHTBODY, Gordon. Smart transactive energy framework in grid-connected multiple home microgrids under independent and coalition operations. **Renewable energy**, v. 126, p. 95-106, 2018. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960148118303264>. Acesso em 23/10/2019.

MENGELKAMP, Esther; GARTTNER, Johannes; ROCK, Kerstin; ORSINI, Lawrence; WEINDHARDT, Christof. Designing microgrid energy markets: A case study: The Brooklyn Microgrid. **Applied Energy**, v. 210, p. 870-880, 2018. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S030626191730805X>. Acesso em: 11/11/2019.

MILAGRE, José Antonio. O uso da infraestrutura Blockchain na realização de negócios jurídicos. In: **The Tenth International Conference on Forensic Computer Science and Cyber Law**. São Paulo, Brasil, October, 2018. Disponível em: <http://icofcs.org/2018/ICoFCS-2018-009.pdf>. Acesso em: 12/11/2019.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA (BRASIL). **Relatório GT Smart Grid - Portaria 440-2010**. Disponível em: http://www.mme.gov.br/documents/10584/1256641/Relatxrio_GT_Smart_Grid_Portaria_440-2010.pdf/3661c46c-5f86-4274-b8d7-72d72e7e1157?. Acesso em: 08/11/2019.

MINOLI, Daniel; OCCHIOGROSSO, Benedict. Blockchain mechanisms for IoT security. *Internet of Things*, v. 1, p. 1-13, 2018. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2542660518300167>. Acesso em: 11/11/2019.

MYLREA, Michael; GOURISETTI, Sri Nikhil Gupta. Blockchain for smart grid resilience: Exchanging distributed energy at speed, scale and security. In: **2017 Resilience Week (RWS)**. IEEE, 2017. p. 18-23. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/8088642/>. Acesso em: 11/11/2019.

OCHOA, Iago S.; SILVA, Bruno A. Da; LEITHARDT, Valderi RQ. Proposta de Arquitetura para o Uso de Blockchain em Redes Smart Grid. In: **Anais da XIX Escola Regional de Alto Desempenho da Região Sul**. SBC, 2019. Disponível em: <https://sol.sbc.org.br/index.php/eradrs/article/view/7083/6972>. Acesso em: 10/10/2019.

PAZZINI, Luiz Henrique Alves; RIBEIRO, Fernando Selles; KURAHASSI, Luiz Fernando; GALVÃO, Luiz Cláudio Ribeiro; PELEGRINI, Marcelo Aparecido; AFFONSO, Octávio Ferreira. Luz para todos no campo: a universalização do atendimento de energia elétrica na zona rural brasileira. In: **ENCONTRO DE ENERGIA NO MEIO RURAL**, 4., 2002, Campinas. Proceedings do 4º Encontro de Energia no Meio Rural. Disponível em: http://www.proceedings.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=MSC000000022002000200019&lng=en&nrm=abn. Acesso em: 10/11/2019.

PEREIRA, Guillermo Ivan et al. Technology, business model, and market design adaptation toward smart electricity distribution: Insights for policy making. **Energy policy**, v. 121, p. 426-440, 2018. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301421518304087>. Acesso em: 11/11/2019.

PINSON, Pierre; BAROCHE, Thomas; MORET, Fabio; SOUSA, Tiago; SORIN, Etienne; YOU, Shi. The emergence of consumer-centric electricity markets. **Distribution & Utilization**, v. 34, n. 12, p. 27-31, 2017. Disponível em: <http://pierrepinson.com/docs/pinsonetal17consumercentric.pdf>. Acesso em: 17/10/2019.

SANCHEZ, Renato de Brito; COSTA, Diego Augusto Miquelin; FERNANDES, João Carlos Lopes. A internet das coisas conectando casas as pessoas. **Revista Eniac Pesquisa**, v. 8, n. 1, p. 41-58, 2019. Disponível em: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6786936>. Acesso em 23/10/2019.

SCHAEFFER, Roberto; COHEN, Claude; ALMEIDA, Mauro Araújo; ACHÃO, Carla Costa; CIMA, Fernando Monteiro. **Energia e pobreza: problemas de desenvolvimento energético e grupos sociais marginais em áreas rurais e urbanas do Brasil**. Santiago: CEPAL; ONU, 2003. Disponível em: https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/6421/S038528_pt.pdf?sequence=1&isAllowed=y. Acesso em: 10/11/2019.

SCHECHTMAN, David. **Introdução a Implementação de Smart Contracts** (Introduction to Implementing Smart Contracts). Available at: SSRN 3412187, 2019. Disponível em: https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=3412187. Acesso em: 11/11/2019.

SIANO, Pierluigi; DE MARCO, Giuseppe; ROLÁN, Alejandro; LOIA, Vincenzo. A Survey and Evaluation of the Potentials of Distributed Ledger Technology for Peer-to-Peer Transactive Energy Exchanges in Local Energy Markets. **IEEE Systems Journal**, 2019. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/8671697>. Acesso em: 09/11/2019.

SOBRINHO, Ranulfo Paiva et al. Tecnologia Blockchain: inovação em Pagamentos por Serviços Ambientais. **Estudos Avançados**, v. 33, n. 95, p. 151-175, 2019. Disponível em: <http://www.periodicos.usp.br/eav/article/view/159481>. Acesso em: 11/11/2019.

WANG, Xiaonan, YANG, Wentao; NOOR, Sana; CHEN, Chang; GUO, Miao; van DAM, Koen H.. Blockchain-based smart contract for energy demand management. **Energy Procedia**, v. 158, p. 2719-2724, 2019. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1876610219311063>. Acesso em: 12/11/2019.

YANG, Fan; SHI, Yue; WU, Qingqing; LI, Fei; ZHOU, Wei; HU, Zhiyan; XIONG, Naixue; ZHANG, Yong. The Survey on Intellectual Property Based on Blockchain Technology. In: **2019 IEEE International Conference on Industrial Cyber Physical Systems (ICPS)**. IEEE, p. 743-748, 2019. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8780125>. Acesso em: 10/10/2019.

ZAFAR, Rehman; MAHMOOD, Anzar; RAZZAQ, Sohail; ALI, Wamiq; NAEEM, Usman; SHEHZAD, Khurram. Prosumer based energy management and sharing in smart grid. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 82, p. 1675-1684, 2018. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1364032117310894>. Acesso em: 08/11/2019.

ZHANG, Yu; WEN, Jiangtao. The IoT electric business model: Using blockchain technology for the internet of things. **Peer-to-Peer Networking and Applications**, v. 10, n. 4, p. 983-994, 2017. Disponível em: <https://link.springer.com/content/pdf/10.1007%2Fs12083-016-0456-1.pdf>. Acesso em: 12/11/2019.

ZHOU, Yue; WU, Jianzhong; LONG, Chao. Evaluation of peer-to-peer energy sharing mechanisms based on a multiagent simulation framework. **Applied energy**, v. 222, p. 993-1022, 2018. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0306261918302149>. Acesso em: 10/10/2019.