

**PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DO PARANÁ**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM DIREITO - PPGD**  
**MESTRADO**

**FÁBIO ANDRUKIU**

**O CONSUMO DE ENERGIA EM BLOCKCHAIN SOB O OLHAR DO DIREITO**

**Curitiba-PR**

**2020**

**FÁBIO ANDRUKIU**

**O CONSUMO DE ENERGIA EM BLOCKCHAIN SOB O OLHAR DO DIREITO**

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

Prof<sup>a</sup> Orientadora: Dra. Cinthia Obladen de Almendra Freitas

**Curitiba-PR**

**2020**

Dados da Catalogação na Publicação  
Pontifícia Universidade Católica do Paraná  
Sistema Integrado de Bibliotecas – SIBI/PUCPR  
Biblioteca Central  
Edilene de Oliveira dos Santos CRB-9/1636

	Andrúkiu, Fábio
A576c	O consumo de energia em blockchain sob o olhar do direito / Fábio Andrúkiu ; orientadora, Cinthia Obladen de Almendra Freitas. -- 2020
2020	115 f. : il. ; 30 cm
	Dissertação (mestrado) – Pontifícia Universidade Católica do Paraná, Curitiba, 2020.
	Bibliografia: f. 97-115
	1. Direito ambiental. 2. Sociedades civis. 3. Inovações tecnológicas. 4. Blockchain (Base de dados). 5. Energia – Consumo. I. Freitas, Cinthia Obladen de Almendra. II. Pontifícia Universidade Católica do Paraná. Programa de Pós-Graduação em Direito. III. Título
	Doris. 4.ed. – 341.347

## AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por ter possibilitado que eu chegasse até aqui, mesmo quando eu imaginava não ser possível. A Deus, também, agradeço pela maior bênção recebida ao longo do mestrado: a paternidade de uma filha (Raquel) que me faz voltar a valorizar as coisas simples e rever as certezas que eu possuía.

Agradeço a minha esposa, Alcimara, uma parceira de estudos e vida, que me mostra cotidianamente como prosseguir enfrentando moinhos e tempestades. Dificuldades e desafios tornados simplificados com o auxílio de meus pais, Luís e Lourdes, e minha sogra, Maria.

Agradeço à Professora Dra. Cinthia Obladen de Almendra Freitas por ter me dado esta oportunidade, transmitido conhecimento e ter tido paciência com este pobre escriba.

Pelo auxílio e compreensão agradeço ao Dr. Pedro Sanson Corat e a todos os servidores e estagiários da 4ª Vara Criminal de Curitiba/Pr, com menção especial a Giuliane Grassi Perly, que, durante essa jornada, de subordinada passou a ser chefe e me foi mais condescendente do que eu poderia ter sido.

Caso o Mestrado e paternidade não tragam desafios suficientes, permutei para a 15ª Vara Cível de Curitiba/Pr, uma área desconhecida que requeria estudo ao qual eu não podia naquele momento entregar. A isso, e ao carinho e paciência, agradeço à Dra. Aline Koentopp e à Dra. Thalita Bizerril Duleba Mendes, bem como a todos os servidores e estagiários, com menção ao, à época, chefe de secretaria, Felipe Araújo Pupo.

Não posso me esquecer de demonstrar minha gratidão pelos integrantes do Grupo vocal Somos Um e ao Ministro Samuel Vieira Barros, ambos da Primeira Igreja Batista de Curitiba/Pr, que perdoaram minhas eventuais faltas e ausências em ensaios e apresentações para poder gerar essa singela contribuição acadêmica.

Agradeço, também, à PUC-PR pela excelência na educação e aos colegas de Mestrado por compartilharem as dificuldades e soluções e às servidoras do PPGD, Eva e Nerissa, por ajudarem a tornar esse caminho mais sinalizado e acolhedor.

Por fim, agradeço ao Prof. Dr. Sandro Mansur Gibran e à Profa. Dra. Danielle Anne Pamplona por avaliarem esse trabalho e trazerem colaborações.

## RESUMO

Criptomoedas e Blockchain estão alterando diversas áreas e revolucionando a forma como se lida com o dinheiro. Mas essa mudança pode ocasionar efeitos colaterais, como o consumo excessivo de energia. Esse cenário leva a se indagar de que modo o Direito e as fontes internas da tecnologia podem contribuir para minorar essa situação. A partir da questão de pesquisa, buscou-se compreender o que é Blockchain e criptomoedas, bem como seus funcionamentos. O Direito embasa os requisitos que devem ser adimplidos pelo setor para que possa exercer suas atividades. Para tentar responder, se procedeu a uma revisão de literatura, pelo método bibliográfico. Dentre os resultados, verificou-se que o alto consumo de energia elétrica advém do mecanismo de consenso *Proof-of-Work*, o qual, por meio de um alto esforço computacional, é responsável por garantir a segurança do sistema baseado em *Blockchain*. Essa questão poderia ser solucionada caso fosse alterado o mecanismo *Proof-of-Work* para *Proof-of-Stake*, o qual evita o desperdício computacional ao vincular a participação do minerador na validação de blocos a uma caução na criptomoeda utilizada. Ressalta-se que foi observada uma crescente participação de energia renovável como fonte energética, contrariando a imagem que o setor é sustentado por fontes poluentes como o carvão. Na esfera jurídica, a legislação brasileira traz diversos instrumentos que devem ser observados, como o Estudo de Impacto Ambiental e o Licenciamento Ambiental, sendo que tais instrumentos buscam mitigar eventuais danos. No plano internacional, a Agenda 2030, com seus Objetivos do Desenvolvimento Sustentável, anseia pela valorização das pessoas, do planeta, da prosperidade, da paz mundial e da liberdade, de forma a se conciliar desenvolvimento e sustentabilidade.

**Palavras-chave:** Sociedades; Novas tecnologias; Criptomoeda; *Blockchain*; *Proof of work*; *Proof of Stake*; Energia; Direito Ambiental

## ABSTRACT

Cryptocurrencies and Blockchain are changing several areas and revolutionizing the way money is handled. But this change can cause side effects, such as excessive energy consumption. This scenario leads to the question of how the Law and internal sources of technology can contribute to alleviating this situation. From the research question, we sought to understand what Blockchain and cryptocurrencies are, as well as their workings. The law supports the requirements that must be met by the sector so that it can carry out its activities. To try to answer, a literature review was carried out using the bibliographic method. Among the results, it was found that the high consumption of electrical energy comes from the consensus mechanism Proof-of-Work, which, through a high computational effort, is responsible for ensuring the security of the Blockchain-based system. This issue could be resolved if the Proof-of-Work mechanism was changed to Proof-of-Stake, which avoids computational waste by linking the miner's participation in the validation of blocks to a collateral in the cryptocurrency used. It should be noted that there was an increasing participation of renewable energy as an energy source, contradicting the image that the sector is supported by polluting sources such as coal. In the legal sphere, the legislation brings several instruments that must be observed, such as the Environmental Impact Study and Environmental Licensing, and these instruments seek to mitigate any damages. At the international level, the 2030 Agenda, with its Sustainable Development Goals, aims at valuing people, the planet, prosperity, world peace and freedom, in order to reconcile development and sustainability..

**Key-words:** Societies; New Technologies; Cryptocurrency; Blockchain; Proof of Work; Proof of Stake; Energy; Environmental Law.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Representação de blocos na Blockchain.....	15
Figura 2: diferenças entre livro centralizado e livro distribuído .....	21
Quadro 1: Padrão vs. Modelos transacionais baseados em Blockchain .....	21
Quadro 2: Comparação entre Blockchain Público, de consórcio ou privado .....	27
Figura 3: Gráfico de índice de consumo de energia de Bitcoin.....	47
Figura 4: Gráfico de índice de consumo de energia de Bitcoin.....	47
Quadro 3: Custo em dólar para minerar 1 Bitcoin, com base na taxa média de eletricidade por país .....	50
Figura 5: Estimativa de localização dos mineradores de Bitcoin.....	51
Quadro 4: Estimativa de distribuição dos mineradores de Bitcoin .....	52
Quadro 5: Estimativa de percentual de fonte renovável utilizado pelos mineradores de Bitcoin na China .....	57
Quadro 6: Estimativa de percentual de fonte renovável utilizado pelos mineradores de Bitcoin .....	63

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AIA - Avaliação de impacto ambiental

ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica

APA - Área de proteção ambiental

CADE - Conselho Administrativo de Defesa Econômica

CBECI - Cambridge Bitcoin Electricity Consumption Index

CNAE - Classificação Nacional de Atividades Econômicas

CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente

EIA - Estudo de Impacto Ambiental

ELETRORÁS - Centrais Elétricas Brasileiras S.A.

EPIA - Estudo Prévio de Impacto Ambiental

IBAMA - Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e Recursos Naturais Renováveis

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

Kv - Quilovolt

kWh - Quilowatt-hora

MW - Megawatt

ODM - Objetivos de Desenvolvimento do Milênio

ODS - Objetivos do Desenvolvimento Sustentável

ONS - Operador Nacional do Sistema Elétrico

ONU - Organização das Nações Unidas

PoS - Proof-of-Stake

PoW - Proof-of-Work

RIMA - Relatório de impacto ambiental

SEMA - Secretaria Especial de Meio Ambiente

SIN - Sistema Interligado Nacional

SUPREM - Superintendência de Recursos Naturais e Meio Ambiente

TWh - Terawatt-hora



## SUMÁRIO

INTRODUÇÃO .....	9
1. BLOCKCHAIN E CRIPTOMOEDAS .....	12
1.1. Blockchain .....	12
1.2. Criptomoedas .....	27
2. MINERAÇÃO .....	37
2.1. Mineradores, <i>proof-of work</i> , <i>proof-of-stake</i> e remuneração .....	37
2.2. Consumo energético .....	44
2.3. Localização dos mineradores e fonte energética utilizada .....	49
2.3.1 China .....	52
2.3.2 Estados Unidos da América .....	58
2.3.3 Canadá .....	61
2.3.4 Outros países importantes .....	62
2.3.5 Brasil .....	64
3. REGULAMENTAÇÃO JURÍDICA NACIONAL E ESTRANGEIRA DA TEMÁTICA .....	66
3.1. Evolução do Direito Ambiental .....	71
3.2. Legislação ambiental brasileira .....	74
3.3. Agenda 2030 .....	86
CONCLUSÃO .....	91
REFERÊNCIAS .....	97

## INTRODUÇÃO

A globalização ocasionou a redução das distâncias físicas, disseminou a transmissão de conhecimentos e informações, bem como facilitou o acesso a bens e produtos, além de outros fatores. A esse cenário Klaus Schwab nomeia de Quarta Revolução Industrial, que estaria em seu início, com inúmeras descobertas nos mais diversos setores, cuja tecnologia acaba por produzir resultados rápidos seja na forma digital, física ou biológica (SCHWAB, 2016, p. 16-17).

Esse avanço pode ser constatado pela forma como a *Blockchain* é empregado com entusiasmo nos mais diversos setores. As indicações de uso são vastas, podendo ser utilizado pelos mais diversos tipos de interessados, sejam consumidores, produtores, fornecedores, não importando qual finalidade se tenha. Exemplificando, a rede de supermercados Walmart passou a utilizar a *Blockchain* para acompanhar o envio de mangas oriundas do México para os Estados Unidos da América, de modo que se tivesse conhecimento de onde foi plantada, data e demais informações, documentando cada etapa, desde o plantio até a disponibilização na gôndola do supermercado, com redução do tempo gasto para levantar todas essas informações, que no das mangas era de 6 dias e passou para 2 segundos (FELIN; LAKHANI, 2018, p. 37).

A *Blockchain* é um livro público, disposto em uma sequência de blocos, nos quais são anotadas informações imutáveis, dotadas de criptografia (BASHIR, 2018, p. 163). Os blocos são constantemente acrescentados na cadeia e cada bloco reúne milhares de transações realizadas, permitindo que seu histórico seja acompanhado (FRANCO, 2015, p. 105).

Por ser um registro rápido, barato e público, o uso de *Blockchain* pode verificar se efetivamente um champanhe vem da região de Champanhe ou se um diamante foi extraído licitamente. Mas seu uso pode ir muito além da rastreabilidade de produtos, sendo possível utilizar no sistema eleitoral ou até no registro e verificação de documentos públicos, podendo trazer melhorias nos serviços públicos (BOUCHER; NASCIMENTO; KRITIKOS, 2017, p. 4).

O uso inicial da *Blockchain* foi direcionado às criptomoedas, mais especificamente ao Bitcoin, eis que se buscava uma forma de efetuar transações

financeiras sem a presença de intermediários e que permitissem que as partes confiassem na integralidade da operação (SEBASTIAN, 2019, p. 1).

Satoshi Nakamoto descreveu em 2008 como seria o funcionamento de uma criptomoeda, nomeada de Bitcoin. Ela seria um arquivo individualizado, possível de ser reconhecido em relação ao demais e seu histórico poderia ser identificado ao longo da cadeia *Blockchain* (CRYPTO TECH ACADEMY, 2018, p. 3).

Para as criptomoedas funcionarem e, especificamente, o Bitcoin, o minerador deve atuar para verificar as transações realizadas e validá-las, reunindo-as em um bloco, que será adicionado a uma cadeia de blocos em sequência, a *Blockchain*. Essa cadeia será repassada pela internet para que haja inúmeras cópias, o que garantirá a segurança contra eventuais alterações (KENT; BAIN, 2019, p. 31).

Cada criptomoeda possui um sistema pelo qual será distribuída a tarefa de armazenar as transações aos blocos. O modelo escolhido por Nakamoto para o Bitcoin atende por *Proof-of-Work* e requer um processo computacional intenso para que se alcance qual será o minerador responsável por anotar as transações na *Blockchain* (ZHENG et al., p. 359).

Esse processo computacional requer um grande consumo energético, comparável ao consumo anual de países, como a Áustria (DIGICONOMISTA, 2019, p. 1) e maior do que requerido pelas empresas de cartão de crédito, como a Visa (SHANE, 2017, p. 1).

Nesse cenário surge o problema da presente pesquisa: como Direito e o setor de mineração de criptomoedas podem agir frente ao consumo de energia ocasionado pelas criptomoedas?

A hipótese é que ambos detêm as ferramentas para que os efeitos socioambientais sejam mitigados, pois o histórico da tecnologia demonstra uma constante evolução pautada em melhorias, ao passo que o Direito se manifesta de forma posterior ao cenário constituído, trazendo regulações pertinentes.

Assim, tem-se como objetivo geral investigar de que modo o Direito e o setor de mineração de criptomoedas podem responder aos danos causados pelo consumo energético e aos advindos da mineração de criptomoedas.

Como objetivos específicos:

- a) conhecer à *Blockchain* e as criptomoedas, atentando a suas particularidades de funcionamento;
- b) compreender a função do minerador de criptomoeda e o método empregado para validar cada criptomoeda e inclui-la na *Blockchain*;
- c) identificar o arcabouço jurídico aplicado e aplicável às atividades relacionadas ao uso de criptomoedas.

Adotou-se para a elaboração do trabalho o conceito de que o desenvolvimento transpassa o mero crescimento pautado em questões econômicas. Há que se perquirir melhorias e igualdades em diversos segmentos, tais quais sociais, ambientais, culturais, tecnológicos (SEN, 2010).

O método utilizado foi o dedutivo, partindo de teorias, legislações e material referente ao tema, com procedimento monográfico e técnica de pesquisa bibliográfica e documental, com recorte espacial para os países nos quais se destaca a mineração de criptomoedas, quais sejam China, Estados Unidos, Canadá, Islândia, Noruega, Geórgia, Suécia, Irã, Cazaquistão e Brasil.

A busca pelo equilíbrio entre desenvolvimento e sustentabilidade é que justifica o trabalho a analisar um setor inovador e recente, como das criptomoedas, o que aliado à tecnologia da *Blockchain* que traz implicações nas mais diversas áreas. Mas, para esse campo tecnológico se desenvolver há dependência de grandes quantidades de energia, que sejam fornecidas a preços mais baixos, o que pode afetar o equilíbrio acima destacado, causando efeitos socioambientais.

Como resultado esperado aponta-se que o setor de mineração de criptomoedas busque extrair a energia elétrica necessária para seu consumo advinda de fontes renováveis, o que reduziria impactos ambientais. Ainda, o Direito pode contribuir com legislação que direcione para uma conduta mais responsável, ambientalmente adequada, e que alie desenvolvimento e sustentabilidade.

Espera-se que a contribuição da Dissertação se dê pelo olhar ambiental nessa nova área de criptomoedas e *Blockchain*, pois é comum apenas a abordagem econômica, a substituição das moedas *flat* em prol dessa inovação. Toda inovação é desejável, mas deve almejar evoluir constantemente para que seja sustentável e utilizável pelo maior número de pessoas a um custo mais baixo.

## 1 **BLOCKCHAIN E CRIPTOMOEDAS**

*Blockchain* pode ser responsável por alterar a forma de trabalho de diversas empresas e setores, que já implementaram ou vão desenvolver mudanças estruturais devidas a essa nova possibilidade de tecnologia distribuída (FELIN; LAKHANI, 2018, p. 33-34).

Esse uso por parte dos mais diversos setores é algo mais recente, pois no início a *Blockchain* era usada para armazenar e compartilhar os dados das criptomoedas, em especial do Bitcoin. Nessa relação umbilical, a *Blockchain* é o sistema operacional, atuando como o Microsoft Windows, enquanto que o Bitcoin é um dos aplicativos que podem ser executados nessa plataforma (GUPTA, 2017, p. 6).

O funcionamento da *Blockchain* e suas particularidades é tema do item 1.1, de forma que seja possível compreender o funcionamento dessa tecnologia disruptiva.

### 1.1 *Blockchain*

David Chaum escreveu dois textos, sendo um em 1983 e outro em 1992, cujos estudos resultaram no sistema *eCash*, o qual foi disponibilizado para diversos bancos e empresas de cartões nos Estados Unidos da América e em outros países, como a Finlândia. O avanço se dava pelo uso de assinaturas por meio de criptografia para proteger a privacidade dos usuários ao realizar pagamentos, podendo as transferências ocorrerem *online* ou *off-line* (CHUEN; NIAN, 2015, p. 8-9).

Esse sistema era um avanço porque o uso de cartão de crédito na Internet era arriscado, eis que muitos dados pessoais deviam ser informados e as taxas eram altas quando comparadas com as quantias que se almejava repassar. Essa revolução levou diversas empresas, como a Microsoft, a quererem implementar esse sistema dentro de seu *software*. Porém, a *DigiCash*, empresa de Chaum que era detentora desse sistema *eCash*, faliu em 1998 porque o público não se preocupava com privacidade e segurança *online* (TAPSCOTT; TAPSCOTT, 2016, p. 34).

Posteriormente, Nick Szabo e Wei Dai lançaram seus projetos em 1998, de forma independente um do outro, sendo chamados de *bitgold* e *b-money*, respectivamente. O objetivo de ambos era a ausência de um servidor central, pois haveria um banco de dados distribuído (FRANCO, 2015, p. 164).

O *b-money*, de Wei Dai, funcionava por meio de um problema computacional difícil, que quanto mais difícil fosse, aumentava a quantidade de moeda gerada. E para criar a moeda há que se passar pelo planejamento, quando os donos de conta discutem qual quantia e a cada quanto tempo será criada. Após, os interessados na criação da moeda fazem lances e apontam problemas que seriam solucionados. A seguir, na etapa da computação, quem efetuou lance tem que resolver o problema informado. Por fim, os corretores das contas verificam se efetivamente os problemas foram solucionados e desses, quem deu o lance mais alto terá creditada em sua conta as moedas apontadas no lance. O ponto fraco era, caso alguém detivesse poder computacional muito grande, isto geraria muito dinheiro na rede e poderia afetar o equilíbrio do sistema (DAI, 1998, p. 1).

O *bitgold*, de Nick Szabo, também requeria a resolução de problemas matemáticos difíceis, mas vinculava cada etapa de resolução de problemas a ser respondida à etapa vencida anteriormente, tornando as tarefas conectadas. Assim, não haveria variação monetária conforme a dificuldade e esse esforço poderia ser ajustado (FRANCO, 2015, p. 165). Mas esse ajuste só foi possível com as análises do desenvolvedor Hal Finney, que em 2004 sugeriu mudanças no mecanismo de resolução de problemas-, o que tornou possível modular essa dificuldade (DUPONT, 2014, p. 1).

Com as inovações trazidas por Chaum, Nick Szabo, Wei Dai e Hal Finney foi possível que em 2008, Satoshi Nakamoto publicasse um artigo descrevendo o Bitcoin e seu funcionamento na *Blockchain* (ANTOPOULOS, 2017, p. 3).

A *Blockchain* é um livro digital de registro de transações distribuído na Internet com múltiplas cópias idênticas mantidas em vários computadores controlados por inúmeras entidades diferentes. Seu *software* permite que os dados registrados sejam transmitidos, processados, armazenados e apresentados de forma que seja legível ao usuário (LAGO, 2018, p. 35).

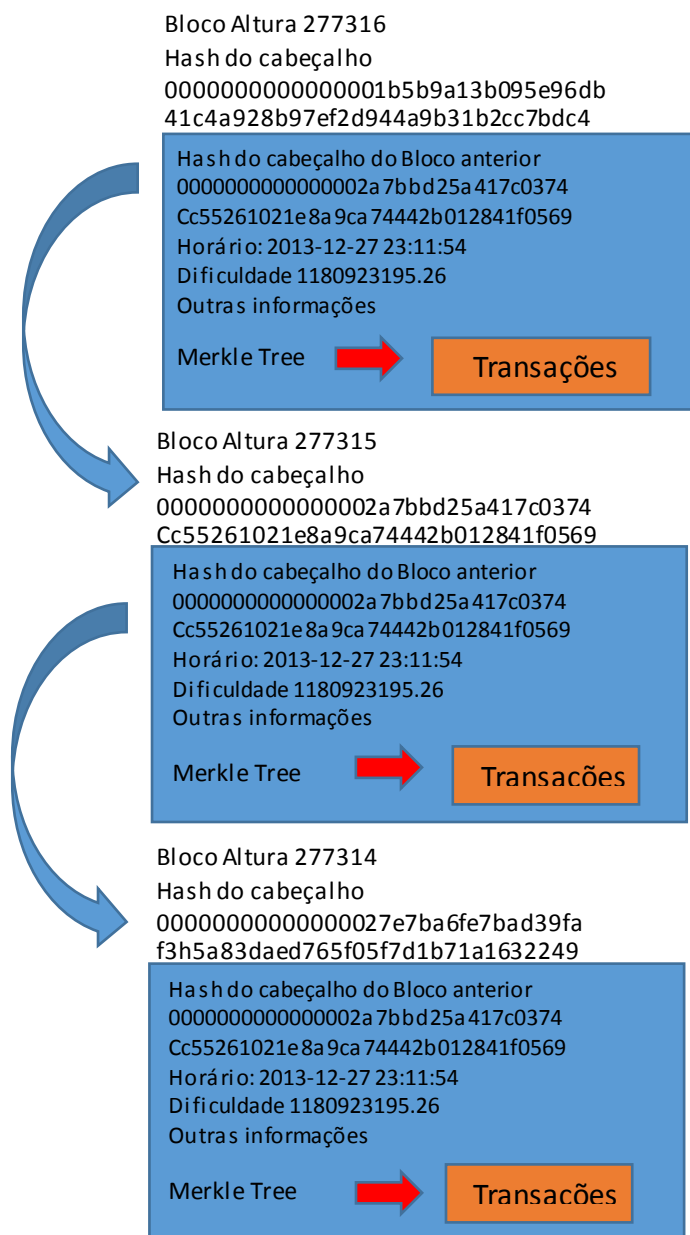
As transações são anotadas em ordem cronológica dentro de um bloco que é gerado e inserido na cadeia *Blockchain*, na qual há diversos blocos anteriores e que continua recebendo novos blocos em sequência. Isto permite que os participantes acompanhem a ocorrência de registros sem que tenham que ter cópias ou registros guardados em seus computadores, pois tudo resulta armazenado na base de dados da *Blockchain* (ZHENG et al., p. 354).

Esses dados armazenados nos blocos são imutáveis, sendo praticamente impossível de serem alterados, pois seria necessário um esforço computacional muito grande e muito caro financeiramente, chamado de ataque 51%, que será abordado nas criptomoedas. Essa imutabilidade permite que os dados sejam auditados, que se conheça a origem e destino daquilo que foi registrado (JOSHI; HAN; WANG; 2018, p. 124-125).

O nome *Blockchain* é oriundo dessa forma de armazenamento de transações, por colocá-las dentro de blocos, os quais são interligados, formando uma extensa cadeia de blocos, pois *block*, em inglês, é bloco e *chain* é cadeia (GUPTA, 2017, p. 13).

Normalmente se visualiza a *Blockchain* como uma pilha vertical de blocos, sendo um sobreposto ao demais, o que leva a nomear cada bloco por “altura” quando se busca individualizá-lo, como, por exemplo, altura 277316, conforme demonstrado pela Figura 1. Esse número de altura fará referência à distância do bloco para o bloco gênese. Por outro lado, o último bloco criado na cadeia, que é o mais recente, é denominado de “topo” ou “ponta” (ANTONOPOULOS, 2017, p. 163).

Figura 1 – Representação de blocos na *Blockchain*



Fonte: Adaptado a partir de ANTONOPOULOS (2017, p. 169).

Para garantir a sua segurança, a *Blockchain* possui em sua estrutura diversos itens que visam a garantir a eficiência, com um banco de dados modesto e arquivos simples, mas seguro e utilizável nas mais diversas áreas (JOSHI; HAN; WANG; 2018, p. 125).

Cada bloco da cadeia está conectado, interligado ao anterior e ao posterior por meio da criptografia, mais especificamente, de *hash* criptográfico. *Hash* é uma impressão digital daquele bloco, um código único que é gerado pela



criptografia e identifica univocamente o bloco atual, cujo pedaço do código contém um pedaço do código do bloco anterior, estando todos os blocos vinculados. Isto impede que seja inserido um bloco entre dois blocos, pois não existirá essa conexão, o *hash*, entre eles (GUPTA, 2017, p. 14).

O primeiro bloco inserido na *Blockchain* é chamado de gênese, tendo surgido em 2009, sendo a origem de todos os blocos posteriores. Para ilustrar melhor como seria um *hash*, essa combinação criptográfica, o do bloco gênese é 00000000019d6689c085ae165831e934ff763ae46a2a6c172b3f1b60a8ce26f, um conjunto de números e letras com um total de 64 caracteres, sendo que o *hash* do bloco seguinte, é 00000000839a8e6886ab5951d76f411475428afc90947ee320161bbf18eb6048 (ANTONOPOULOS, 2017, p. 166-167).

Antes que se passe a comparar o *hash* do bloco gênese com o bloco seguinte, cabe uma explicação: a segurança por meio da criptografia que permite conectar um bloco ao outro não se refere a repetir um pedaço do código, uma sequência de letras e números, do bloco anterior para o posterior. Não é assim tão simples.

A função *hash* é um algoritmo que coleta os dados, não importando o seu tamanho, quantidade, e os transforma em um valor *hash*, ou apenas *hash*, com tamanho fixo de 64 caracteres (FRANCO, 2015, p. 95). Uma pequena variação de conteúdo, como “olá” ou “Olá”, alterando apenas uma letra minúscula por maiúscula, ou inserir uma vírgula dentro de um texto de duas páginas, altera o resultado do *hash*, de modo que há um novo *hash*, diferente do anterior. E é importante fixar que se o conteúdo for igual, o *hash* será o mesmo, porque o *hash* não é criado de forma aleatória, ele é feito com base na informação trazida (NORMAN, 2017, p. 40).

O *hash* do cabeçalho do bloco é composto pelo *hash* do bloco anterior, pelo horário, pelo grau de dificuldade para minerar o bloco, pelo horário e pelo *Merkle Tree*, dentre outras informações (ver Figura 1). Isso significa que esse *hash*, esse conjunto de 64 caracteres, é gerado com base nessas informações coletadas dentro do presente bloco e com base no *hash* do bloco anterior (BASHIR, 2018, p. 164).

*Merkle Tree* é uma estrutura de dados binária composta por diversos *hash*. A sua função é coletar os dados de todas transações que estão inseridas

dentro do bloco e criar um resumo para elas, uma impressão digital por meio de um hash que demonstre quais transações estão inseridas naquele bloco. Desta forma, não é necessário procurar transação por transação em cada bloco. Com o *hash* da *Merkle Tree* é possível criptograficamente saber se a transação está ou não inserida naquele bloco (ANTONOPOULOS, 2017, p. 170).

Deste modo, o bloco anterior e o posterior estão ligados pelo *hash* e caso haja uma tentativa de uma pequena alteração em alguma informação existente no bloco, isso fará com que um novo *hash* seja criado, diferente do existente, o que ficará demonstrado ao se comparar com as inúmeras cópias da *Blockchain* (NORMAN, 2017, p. 43).

Da mesma forma, caso se tente inserir um bloco no meio da cadeia, esse bloco teria que reunir em seu *hash* de cabeçalho as informações do *hash* do bloco anterior, o que seria possível realizar. Todavia, como se está em um pedaço da cadeia, há blocos posteriores e o bloco imediatamente posterior teria que conter em seu *hash* de cabeçalho as informações do *hash* desse bloco que se está tentando inserir, algo que não é possível, pois já há um *hash* ali e para o plano obter êxito seria necessário alterar todos os blocos posteriores, até o último (NORMAN, 2017, p. 43).

Com os dados inseridos na *Blockchain*, o registro digital e acessível facilita que qualquer coisa seja negociada e rastreada, não importando se o ativo é tangível - como uma casa, um terreno, um carro ou uma quantia em dinheiro – ou intangível – como propriedade intelectual: direitos autorais, patentes ou marcas (GUPTA, 2017, p. 3).

Desta forma, na plataforma *Blockchain* cada parte da transação possui um endereço *Blockchain*, que são *hashs* de suas chaves criptográficas públicas geradas pelo próprio sistema. A parte não precisa que uma entidade ou órgão autentique, crie ou valide o seu endereço, o que evita que haja vulnerabilidade dessas informações. Assim, a parte remetente indica os endereços, de origem e destino, entre os quis deseja transferir uma quantia em criptomoeda ou outro conteúdo (HARI; LAKSHMAN, 2016, p. 205).

Outra parte integrante da estrutura da *Blockchain* é o carimbo de hora digital, que se equivale ao carimbo de data e hora físico que é lançado quando se há o recebimento de uma carta por um organismo oficial. Seu objetivo é provar

que as informações e dados ali inseridos existem e foram juntados naquele exato momento representado pelo carimbo (FRANCO, 2015, p. 99).

A arquitetura da *Blockchain* realiza o compartilhamento das atualizações e cópias da cadeia por meio da rede *peer-to-peer* (P2P) ou ponto a ponto, que significa que cada participante, também chamado de nó, poderá atuar como editor e assinante da informação. Cada pessoa com acesso à Internet e que está conectada à cadeia é um nó e quando recebe ou envia transações para outros nós remete de um ponto a outro. Conforme os dados são enviados a cadeia da *Blockchain* vai atualizando e sincronizando as cópias (GUPTA, 2017, p. 6).

Cada nó recebe uma cópia completa da *Blockchain*. As transações recém-criadas e ainda não inseridas em nenhum bloco são chamadas de transações não confirmadas, o que se altera caso sejam inseridas e, portanto, se tornam transações confirmadas. E quando mais blocos forem inseridos acima (lembrar que a *Blockchain* é uma pilha) do bloco no qual consta essa transação, mais difícil será modificar essas informações (FRANCO, 2015, p. 110).

As transações realizadas e ainda não confirmadas ficam em um rol de memória aguardando a confirmação e, conforme as transações vão sendo incluídas nos blocos, elas vão sendo retiradas desse rol de não confirmadas. Esse ato de confirmação costuma levar alguns minutos, mas caso a rede esteja com uso intenso, com alta demanda de transações não confirmadas, é possível que diversos blocos sejam gerados para, por fim, se anotar todas as transações (FRANCO, 2015, p. 110).

Outra medida de segurança é a adoção de criptografia, por meio de assinatura digital assimétrica. A parte cria a sua assinatura, não sendo possível que outro faça por ele, sendo possível apenas que verifique se é válida. Essa assinatura será vinculada a um documento específico, o que impede que seja copiada e utilizada por outra pessoa em outro documento (NARAYANAN *et al.*, 2016, p. 43-44).

A assinatura digital assimétrica funciona por meio de duas chaves, uma pública e outra privada, sendo uma criptografada e outra para descriptografar, respectivamente. A chave pública pode ser disponibilizada a qualquer pessoa, pois seu objetivo é criptografar a mensagem. E apenas a pessoa com a correta chave privada pode descriptografar, de forma que essa chave deve ser mantida escondida (AGRAWAL; MISHRA, 2012, p. 879).

Os objetivos da criptografia são (PATIL; GOUDAR, 2013, p. 61):

- a) Confidencialidade: Apenas quem é autorizado que poderá ter acesso à informação;
- b) Autenticação: A mensagem terá um remetente identificado corretamente, tendo ciência que não é falsa a identidade;
- c) Integridade: Apenas quem está autorizado pode modificar, escrever, alterar ou excluir as informações transmitidas;
- d) Não repúdio: Nem o remetente, tampouco o destinatário da mensagem podem negar a transmissão;
- e) Controle de Acesso: É possível que o acesso às informações seja controlado para ou pelo sistema de destino;
- f) Disponibilidade: As informações devem estar disponíveis para as partes necessárias quando seja necessário.

Assim, para funcionar as partes Y e X conhecem as chaves públicas de ambos, sendo que a chave privada é conhecida apenas pelo dono. Então, Y se utiliza da chave pública de X, criptografa uma mensagem de texto sem formatação e a transmite para X. Ele recebe o texto criptografado e insere sua chave privada, o que faz descriptografar a mensagem, podendo ser lida a mensagem (AGRAWAL; MISHRA, 2012, p. 879).

Para Price (2017, p. 14), apesar de coletar diversos dados e inseri-los dentro de blocos que ficam disponíveis para consulta, esse sistema possui como diferencial, ou seja, a privacidade quando comparado com o modelo atual no mercado financeiro de cartões de crédito ou débito. O autor explica que quando se vai a uma loja, se escolhe o produto e se dirige ao caixa para proceder ao pagamento, oportunidade na qual se insere um cartão em uma máquina que repassará os dados do comprador a um intermediário, que pode ser o *PayPal*, a Visa, Mastercard ou outros. Essa empresa intermediária terá uma lista contábil com as transações intermediadas, contendo o nome do comprador, a bandeira e o número do cartão, cujos dados podem ser usados por outros para eventuais compras fraudulentas, o que não ocorre com a *Blockchain*, que anota as partes e dados referentes à transação, mas sem descrever o nome da pessoa, apenas o codinome (PRICE, 2017, p. 14).

Essa privacidade pode ensejar uma falsa compreensão que seja possível a utilização da *Blockchain* para promover ilícitos financeiros ou a

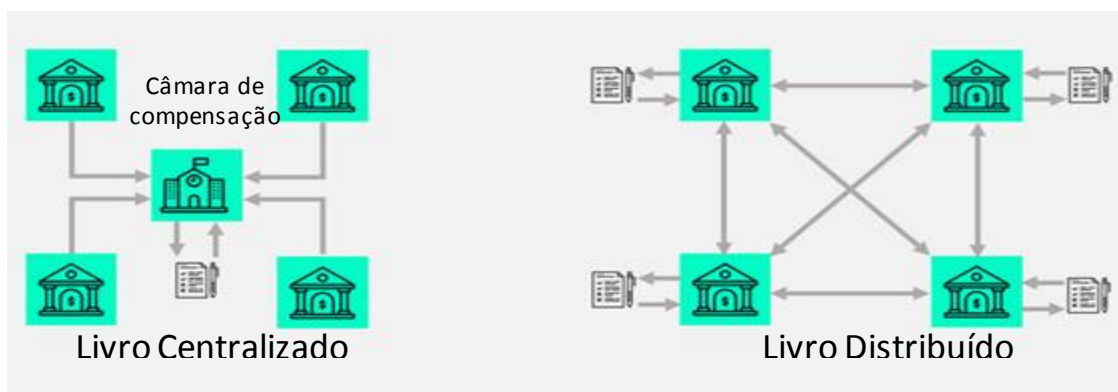
utilização deste modo como pagamento relacionados a ilícitos, como na modalidade de lavagem de dinheiro. Todas as transações registradas na *Blockchain* estão disponíveis para consulta, mas sem estar visíveis as informações acerca do usuário, apenas o seu endereço de remessa ou envio. E com esse endereço é possível verificar o saldo existente nele, bem como pesquisar as interações com outros endereços (FRANCO, 2015, p. 209).

Enquanto o uso de moeda tradicional permite que haja a transmissão física de uma pessoa a outra como pagamento por um ilícito, o fato de a *Blockchain* permitir a rastreabilidade possibilita que os crimes sejam desvendados, como ocorrido na Operação Silk Road, ou Rota da Seda, na qual houve a descoberta de pagamentos com Bitcoin relacionados a ilícitos (CHUEN; NIAN, 2015, p. 24).

Uma alternativa a essa centralização se dá com o uso da *Distributed Ledger Technology*, a qual se trata de uma base de dados, reunindo muita informação, podendo estar em muitos locais ou sendo compartilhada entre várias pessoas, as quais não se encontram em um mesmo local. A *Blockchain* é uma espécie, um tipo de Base de dados distribuída (BELIN, [s.d.], p. 1).

A inovação da Blockchain pode resultar em uma transição entre os ambientes centralizados, com donos, e aqueles descentralizados, o que pode ser um risco para os intermediários e aqueles que atuam como detentores centrais da relação, como mostrado na Figura 2. Essa estrutura tradicional, central, apresenta três problemas: a) o intermediário, ao qual se deposita a confiança em cuidar da relação e dados talvez não seja confiável, podendo ser passível de aceitar suborno ou outras formas de corrupção ou ilícitos; b) o controlador do banco de dados central por censurar ou rejeitar determinadas pessoas de participarem da relação por motivos pessoais e/ou discriminatórios; c) a centralização não evita que se percam os registros dos dados (COLLOMB; SOK, 2016, p. 95-96).

Figura 2: diferenças entre livro centralizado e livro distribuído



Fonte: adaptado e traduzido de BELIN (s.d., p. 1).

Conforme o Quadro 1, apesar de o usuário ser o mesmo, que pode ter acesso aos dados, constatam-se diferenças entre modelo de transações padrão, em que há centralização nas informações, ao passo que haveria a distribuição dos dados na *Blockchain*. A distribuição de cópias trará agilidade na conferência dos dados, frente à redução de diversos livros de dados dispersos, reduzindo também os custos, uma vez que os intermediários são eliminados (GUPTA, 2017, p. 6).

Quadro 1: Padrão vs. Modelos transacionais baseados em *Blockchain*

Padrão	MODELO	Blockchain
Terceiro confiável/ coordenador central	Paradigma	Sistema de confiança / participantes anônimos
Servidor centralizado / muitos clientes	Arquitetura	Rede ponto a ponto
Cópia única	Base de dados	Múltiplas cópias
Acesso controlado / firewall	Segurança	Criptografia
Intermediação	Preço / custo	Consenso / prova de trabalho
Privado		Público

Fonte: traduzido de COLLOMB e SOK (2016, p. 95).

O funcionamento e organização da *Blockchain* está baseado em princípios tecnológicos implícitos que em momento algum foram trazidos de

forma clara por Satoshi Nakamoto, mas são citados em estudos, como Tapscott (2016, p. 61) e Gupta (2017, p. 11). Satoshi tinha em mente a solução de problemas financeiros, mas sua criação possui uma abrangência muito maior, permitindo uma revolução na Internet nos mais diversos setores. E esses princípios demonstram a base de sustentação na qual a *Blockchain* foi criado, buscando trazer em um ambiente colaborativo a confiança daqueles que o utilizarão, pela sua integridade, descentralização e segurança, bem como visando à resolução de problemas existentes no modelo tradicional, centralizador (TAPSCOTT, 2016, p. 58-60). Tais princípios são:

a) Princípio da integridade na rede: a integridade é destacada por Tapscott (2016, p. 61) e nomeada por GUPTA como um atributo seguro, privado ou indelével (2017, p. 11). Esse princípio se refere à confiança que as partes depositam em cada etapa do processo, por ser distribuída entre muitos, sem que haja uma figura central na tomada de poder que possa interferir.

Essa garantia faz com que as partes se sintam motivadas a interagir, participar da relação, envolvendo quantias financeiras ou de outro conteúdo, sem que haja medo acerca da conduta a ser praticada pela outra parte, eis que o modelo incentiva a honestidade e qualquer ato contrário a esta direção pode causar consequências, o que torna difícil a prática de uma má conduta por resultar em um ato que possa aumentar o tempo despendido, a quantia gasta, a energia utilizada e a reputação na rede (TAPSCOTT, 2016, p. 61).

b) Princípio do Poder Distribuído: Gupta (2017, p. 11) chama de Distribuído ou Sustentável, enquanto que Tapscott (2016, p. 65) trata como Poder Distribuído. Esse princípio relembra que a *Blockchain* é um livro compartilhado entre todos, sendo constantemente atualizado à medida em que novos blocos vão sendo inseridos na cadeia, sendo as inúmeras cópias espalhadas pela rede atualizadas em tempo real, o que impede que uma autoridade central possa desligar todo o sistema, por mais que parte da cadeia seja afetada, as demais partes tomarão conhecimento da ocorrência.

Na Internet, o contrato social e o respeito ao usuário nem sempre são verificados caso alguma instituição, empresa ou governo detenha uma ampla gama de usuários, sejam clientes, servidores ou com algum outro vínculo. O poder dessas entidades, empresas, faz com que elas possam atuar com vieses pessoais em detrimento do esperado pelo usuário, podendo coletar dados e

analisá-los indevidamente, de modo a interferir de diversas formas (TAPSCOTT, 2016, p. 65), como no caso *Cambridge Analytica*, em que essa empresa se valeu de dados coletados no Facebook para conhecer cada usuário e os amigos de seus usuários, podendo remeter mensagens destinadas especificamente aqueles que estavam indecisos ou inclinados a votar em Donald Trump para presidente dos Estados Unidos (ISAAK; HANNA, 2018, p. 57-58).

c) Princípio do valor como incentivo: A *Blockchain* foi criado de forma que todos os participantes tenham seus incentivos alinhados, pois as partes terão a segurança na confiança do registro, da imutabilidade, e que a outra parte atua de forma honesta, enquanto que aqueles que trabalham dentro do sistema são recompensados, o que reforça o cuidado com toda a estrutura para manter o seu valor, pois todos podem ter algo a perder (TAPSCOTT, 2016, p. 67).

Satoshi sabia que as partes poderiam atuar de forma egoísta e que era fundamental deter sistemas de proteção, manter a rede integrada e com credibilidade. Assim, o sistema favorece que muitos atuem para descentralizar e premia aos mineradores (ver item 2.1), responsáveis por efetuar os registros (TAPSCOTT, 2016, p. 67-68).

d) Princípio da segurança: Medidas de segurança fazem parte da rede, com o objetivo de garantir que falhas não ocorram, bem como que os atos sejam mantidos com confidencialidade, autenticidade, integridade e acessibilidade; uma vez que todos os envolvidos utilizam criptografia assimétrica, (TAPSCOTT, 2016, p. 71-72).

Gupta (2017, p. 11) trata de certa forma deste princípio como transparência e auditabilidade, uma vez que cada participante de uma transação possui acesso aos mesmos dados, podendo validar a transação e verificar se é realmente aquela parte que está do outro lado ou se ela possui aquilo que alega, tudo em tempo real e registrado.

e) Princípio da Privacidade: Os dados pertencem a cada parte, que decide o que fará com eles, de que forma atuará, se compartilhará ou o restringirá o acesso. Ao ter um sistema baseado em criptografia, a *Blockchain* permite que a identidade das pessoas seja preservada, o que é tão valorizado atualmente em face a cada vez mais serem coletados dados na Internet e não se ter conhecimento acerca do seu uso. (TAPSCOTT, 2016, p. 73-74). E, conforme já exposto, essa preservação não significa anonimato, sendo possível



a verificação das operações registradas na cadeia para se descobrir a identidade;

f) Princípio dos direitos preservados: Este princípio se relaciona com a transparência e permissão de execução dos direitos de propriedade, bem como com o respeito e reconhecimento às liberdades individuais. Na Internet é comum haver intermediários que acabam por decidir ou interferir nas liberdades e propriedades e, muitas vezes, até difamar, censurar ou bloquear, sem que traga riscos ao causador. Com o sistema da *Blockchain* a propriedade é confirmada, com dados imutáveis, servindo como se fosse um registro público (TAPSCOTT, 2016, p. 77-78).

g) Princípio da inclusão: A inclusão visa à redução de obstáculos à participação, com intuito de que todos sejam inseridos e façam parte, obtendo benefícios. A economia formal não permite que todos estejam inseridos, o que se percebe quando se verifica que há muitas pessoas que não possuem acesso a contas bancárias, por exemplo. Mas o acesso a *Blockchain* se dá por meio de celular, o que está presente do cotidiano das pessoas. Isso pode levar a um questionamento, eis que os bancos também criaram meios digitais de acesso às contas, de forma que o celular poderia ser usado para o sistema bancário formal. Mas, a distinção seria nas taxas dos serviços cobrados pelas instituições bancárias, as quais acabam por restringir o acesso da sociedade de um modo geral (TAPSCOTT, 2016, p. 81-82).

Com o estabelecimento dos princípios que fundamentam a *Blockchain* surge a necessidade de se alertar que apesar de se tratar por *Blockchain*, no singular, como se fosse um único livro, há inúmeros livros, como o que registra as transações de Bitcoin ou o *Ethereum*, plataforma que registra a criptomoeda *Ether*. Porém, o uso desse meio de registro vai muito além das criptomoedas, podendo ser gerado um *Blockchain* conforme a aplicação pretendida, como por exemplo, para gerenciar direitos de propriedade (SAVELYEV, 2018, p. 551). E a geração pode ter como objetivo uma rede anônima ou privada, podendo aceitar qualquer membro ou apenas aqueles que receberam um convite, onde a descentralização e transparência se daria dentro de um grupo restrito (LOIACONO, 2018, p. 49).

A *Blockchain* inicial, que também atende por *Blockchain 1.0*, é usada para criptomoeda (LI et al., 2018, p. 3), sendo que em 30/11/2019 haviam 2371 criptomoedas criadas no mundo todo (COINMARKETCAP, 2019, p. 1).

Na *Blockchain 2.0*, além do uso por criptomoedas são introduzidos os contratos inteligentes, que são suportados por diversos sistemas que tem por base a tecnologia *Blockchain*, como a *Blockchain* do *Ethereum* (LI et al., 2018, p. 3).

Uma comparação entre os tipos de *Blockchain* pode assim ser estabelecida:

a) *Blockchain pública*: Nesse tipo, qualquer pessoa com acesso à rede pode ser considerada um nó, podendo validar as transações e participar do consenso<sup>1</sup>, além de poder receber uma cópia completa da plataforma *Blockchain*. Por ser aberto ele é redundante, ou seja, é verificado diversas vezes o mesmo pedaço, o que o torna muito seguro, mas acaba por ficar lento e ineficiente. Esse mecanismo acaba por requerer uma quantia muito alta de energia elétrica para cada transação, pois há milhares de nós que verificam e a cada novo nó, é mais energia gasta nessa verificação (JOSHI; HAN; WANG, 2018, p. 130).

Criptomoedas como Bitcoin se utilizam desse formato, que realiza menos de uma dúzia de transações por segundo, ao passo que as empresas de cartão realizam centenas de milhares nos horários de pico. Esse problema de escalabilidade está sendo estudado para que a diferença seja reduzida (VOSHMGIR, 2019, p. 1).

Para tornar mais próximo ao cotidiano, uma geladeira que disponha de freezer e tenha capacidade de 400 litros consome mensalmente, em média, 58, kWh (ANEEL, [s.d.], p. 1). Já uma única transação, dentre as milhares de transações inseridas em um bloco *Blockchain*, consome, em média, 658 kWh (DIGICONOMIST, 2020, p. 1). Assim, uma única transação consome o equivalente a 11,35 horas de funcionamento da geladeira.

Apesar de mais lento e com maior gasto energético, esse sistema proporciona a total transparência da transação ao mesmo tempo em que traz o

---

<sup>1</sup> Consenso é um mecanismo por meio do qual os usuários chegam a um acordo acerca do bloco a ser inserido na cadeia da *Blockchain* (BASTIANI, 2019b, p. 1).

anonimato, a privacidade à parte, sendo a maneira mais eficiente de descentralizar uma rede verificação (JOSHI; HAN; WANG, 2018, p. 130).

b) Blockchain privada: na *Blockchain* privada o acesso aos dados é mais rigoroso, não sendo permitido que qualquer pessoa com acesso à rede possa analisar as transações e validar, pois, uma empresa ou organização é quem cuida desse procedimento, o que torna o a validação mais eficiente e ágil. E por ser privada é possível alterar os níveis de acesso permitido a cada parte, podendo haver diferentes funções, como apenas visualização ou a possibilidade de se promover a validação (JOSHI; HAN; WANG, 2018, p. 131).

Como vantagem pode ser destacada que as regras podem ser alteradas com maior facilidade em relação a uma *Blockchain* pública, não requerendo muitos custos, eis que o próprio grupo restrito pode validar, não sendo necessários sistemas mais complexos ou de criptografia. Como o grupo se conhece não há dúvidas acerca a confiança na outra parte, havendo interconexões diretas, eliminando riscos (TAPSCOTT, 2016, p. 102).

Esse modelo pode atender a governos e empresas, eis que há uma autoridade central, em um modelo mais seguro, eficiente e rápido (JOSHI; HAN; WANG, 2018, p. 131). Mas por ser restrito, é possível que qualquer parte altere as regras de forma mais fácil, bem como que não haja neutralidade. Ainda, há que se considerar que a tecnologia fica mais vulnerável e pode ficar estagnada, sem novas melhorias, justamente por estar fechada, o que não permite novas contribuições externas (TAPSCOTT, 2016, p. 102).

c) Blockchain de consórcio: Essa *Blockchain* acaba por ser um misto entre a pública e privada, pois a validação e acesso aos blocos se dá por um conjunto pré-selecionado de nós, ou pessoas previamente escolhidas. Um exemplo prático seria a união de 15 instituições financeiras, sendo cada uma responsável por um nó e para ser válido o bloco a ser inserido na cadeia será necessário que 10 dos participantes assinem. O direito de visualizar a *Blockchain* e seus blocos pode ser público ou restrito, podendo haver a necessidade que seja utilizada uma determinada quantia de criptografia (BUTERIN, 2015, p. 1). O Quadro 2 resume a comparação entre os tipos de *Blockchain*.

Após a exposição da *Blockchain* é necessário adentrar aos pormenores das criptomoedas e, em especial, ao Bitcoin, que é a mais valiosa e mais utilizada, de forma que pode causar maiores efeitos em relação às outras.

Quadro 2: Comparação entre *Blockchain* Público, de consórcio ou privado

<b>propriedade</b>	<b>público</b>	<b>de consórcio</b>	<b>privado</b>
Determinação de consenso	todos mineradores	conjunto selecionado de nós	organização específica
Permissão de leitura	Pública	Pode ser pública ou restrita	Pode ser pública ou restrita
Imutabilidade	Quase impossível de adulterar	Pode ser adulterada	Pode ser adulterada
Eficiência	Baixa	Alta	Alta
Centralização	não	Parcial	Sim
Processo de consenso	sem permissão	Permitido	Permitido

Fonte: traduzido de (ZHENG et al., p. 358).

## 1.2 Criptomoedas

Criptomoeda, essencialmente, é uma versão do dinheiro eletrônico distribuída em uma rede ponto a ponto (P2P), possibilitando que pagamentos e transferências *online* sejam realizados diretamente entre as partes, sem a necessidade de um intermediário (CHUEN; NIAN, 2015, p. 8).

A criptomoeda configura uma forma digital do dinheiro eletrônico e permite que trocas de valores sejam realizadas, sendo classificadas como pertencentes ao grupo das moedas digitais e ao grupo das moedas alternativas. A primeira criptomoeda descentralizada foi o Bitcoin, sendo seguido de diversas outras, as quais são chamadas de *altcoins*, uma referência a serem alternativas ao Bitcoin (PRABHU, 2017, p. 304).

Anonimato é uma característica difícil para o dinheiro eletrônico alcançar, pois se refere ao desconhecimento por parte dos usuários e a impossibilidade de vincular o histórico de transações executadas pelo mesmo usuário, sendo que a *Blockchain* é pública e pode ser conferido, o que dificultaria o anonimato. A vantagem do anonimato é que acaba gerando fungibilidade, que ocorre quando há a troca entre itens diferentes, realizando uma cotação paralela de valor entre um e o outro bem. E se há falta de anonimato acaba por não permitir a fungibilidade, pois a origem dos fundos pode ser rastreada (FRANCO, 2015, p. 161).

As propostas que criam as criptomoedas versam acerca da busca pelo anonimato ou pela descentralização ou ambos, sendo que as primeiras criptomoedas buscavam a preservação da privacidade do usuário, ao passo que o foco posterior foi na descentralização. O Bitcoin busca uma descentralização do poder e das informações, mas no registro de transações não requer o nome do usuário que transaciona, apenas o seu endereço da rede, o que leva ao anonimato de seus usuários. Mas há diversas criptomoedas que surgiram para que o sistema descentralizado impeça qualquer forma de identificação (FRANCO, 2015, p. 161).

Em 2008, Satoshi Nakamoto divulga o conceito de uma criptomoeda intitulada Bitcoin, a partir de um modelo em meio digital, cuja utilização eliminaria a necessidade de terceiros ao possuir um sistema que trouxesse a confiança a todos, por meio da tecnologia *Blockchain*, explicada anteriormente, a qual serve de base para que as criptomoedas sejam transacionadas e registradas (TAPSCOTT; TAPSCOTT, 2016, p. 36-37).

A criptografia aplicada tanto na *Blockchain* quanto no Bitcoin garante a existência de arquivo único, específico, identificável e rastreável, podendo servir para realizar trocas com outros produtos, físicos ou não, ou ser guardado tal qual uma reserva de valor. Este arquivo não possui um valor de face, institucional, eis que o uso por parte do público, em uma relação de oferta e demanda, acaba por gerar uma cotação equivalente momentaneamente a uma dada quantia tal qual a moeda comum de cada país (CRYPTO TECH ACADEMY, 2018, p. 3).

O uso do Bitcoin se iniciou em 2009, com a implementação proposta por Nakamoto, a qual foi revisada desde então por milhares de programadores. Satoshi Nakamoto não é uma pessoa conhecida e tampouco se sabe se efetivamente é um nome real, um apelido, de uma ou mais pessoas, tendo parado de atuar sob esse nome em abril de 2011. Deste modo, nem Nakamoto, e tampouco qualquer outra pessoa, exerce poder central relacionado ao Bitcoin (ANTONOPOULOS, 2017, p. 4).

Em 22 de maio de 2010, um usuário chamado Laszlo Hanyecz propôs uma troca na Internet, oferecendo 10 mil Bitcoins em troca de 2 pizzas a serem entregues em sua casa. A oferta foi aceita e a troca foi realizada porque ambos visualizavam que o Bitcoin era líquido, tinha um valor econômico, podendo ser

trocado, ainda que naquela época o valor associado a 1 Bitcoin fosse baixo (SURDA, 2014, p.4-6).

O termo Bitcoin pode causar equívocos quanto ao que se está tratando, eis que nomeia três coisas. A primeira interpretação condiz à plataforma que é utilizada conjuntamente com a plataforma *Blockchain*. A segunda possibilidade se refere ao protocolo executado sobre a tecnologia Blockchain para demonstrar a transferência de ativos na cadeia *Blockchain*. Por último, o termo trata da moeda digital, a mais conhecida das criptomoedas (SWAN, 2015, p. 1).

Quanto ao funcionamento, a *Blockchain* seria o banco de dados distribuído, que armazena todas as transações da plataforma Bitcoin, que foi projetado, inicialmente, para a remessa da criptomoeda Bitcoin e permite, atualmente, que outras informações e documentos sejam inseridos (LAURENCE, 2017, p. 43).

Para se utilizar da rede Bitcoin há 03 (três) modalidades de acesso:

a) *Full node*, ou nó completo. O detentor deste cadastro armazena a cadeia completa de transações de Bitcoin de todos os usuários, sendo a cadeia constantemente atualizada, podendo realizar transações diretamente pela rede Bitcoin. Essa modalidade independe de outro servidor ou de serviços de terceiros (ANTOPOULOS, 2017, p, 6). O papel do *full node* é de suma importância, sendo responsáveis por validar as transações realizadas, distribuindo as cópias de todos os registros já realizados. E quanto mais nós com essa atribuição existirem, maior será a dificuldade em invadir a rede para alterar informações, uma vez que a descentralização estará mais evidenciada (BASTIANI, 2019a, p. 1).

b) *Light node* é aquele que armazena a carteira dos usuários, mas caso queira ter acesso a transações e à rede Bitcoin deverá buscar pelos servidores de terceiros. Nessa modalidade não se armazena a cadeia completa com todas as transações, de modo que há dependência de terceiros que validam as transações. O usuário precisa confiar no serviço de tais terceiros (ANTOPOULOS, 2017, p, 6). Ao invés de deterem cópia integral da cadeia, esses usuários arquivam apenas a *hash* do cabeçalho dos blocos de transações já existentes, de modo a possibilitar averiguar se o novo bloco é compatível, se está conectado ao anteriores, bem como a redistribuir tal informação. Pelo fato de estarem vinculados a um *full node* e deterem apenas um pedaço das

informações, os requisitos computacionais são menos exigentes, dispensando a necessidade de que se adquira um equipamento potente, mais caro, específico para a atividade, o que reduz os gastos (BASTIANI, 2019a, p. 1). A importância deste tipo de modalidade de acesso se verifica em um cenário hipotético em que um *cracker* ataque um nó completo e altere as informações na cadeia, o que será comparado com os registros existentes no cliente *light*, de forma que será descartada a alteração, por ser falsa, o que descentralizada ainda mais a cadeia (BASTIANI, 2019a, p. 1).

c) Cliente da Internet é aquele que se utiliza de um navegador da Internet e armazena a sua carteira (*wallet*)<sup>2</sup> em um servidor pertencente a terceiros, sendo totalmente depende dos outros (ANTOPOULOS, 2017, p. 6). Analisando a distribuição espacial dos *full nodes*, em 02 de dezembro de 2019 havia 9.519 nós, sendo que havia 93 países com pelo menos um nó referente à cadeia do Bitcoin, sendo que 2.473 nós estavam localizados nos Estados Unidos da América, o que representa 25,98% do total. Por outro, a Alemanha é a segunda colocada, com 1.886 nós ou 19,81%, seguida de França, com 604 ou 6,35%, Holanda, com 500 ou 5,25% e Singapura, com 351 ou 3,69%. O Brasil detinha 39 nós (BITNODES, 2019, p. 1).

No artigo que explanou acerca do Bitcoin, Satoshi Nakamoto explica que as instituições bancárias intermedeiam as transações e pagamentos eletrônicos das moedas tradicionais, cuja presença traz confiança ao sistema por deter um ente que possa corrigir eventual erro. Porém, caso haja uma transação que não seja possível reverter ou cancelar, referente a um serviço não reversível, que não teria como voltar atrás, os custos de mediação e transação podem ser maiores, eis que entes ou instituições possam ser requeridos para dirimir a transação, cujo resultado prático é a estipulação de uma quantia mínima para transacionar. Essa insegurança e a figura do mediador podem ser desnecessárias se um sistema eletrônico criptográfico for utilizado, garantindo que as partes atuem de forma direta, sem receio de fraudes (NAKAMOTO, [s.d.], p. 1).

---

<sup>2</sup> *Wallet* ou carteira é onde as chaves privadas e públicas são armazenadas, sendo como se fossem porta-chaves ao invés de porta-moedas (ANTONOPOULOS, 2017, p. 84-85).

Ao se comparar as moedas tradicionais com as criptomoedas, as criptomoedas podem ser categorizadas como a seguir (LI et al., 2018, p. 3):

a) Irreversíveis e rastreáveis: Quando se realiza uma operação de transferência utilizando criptomoeda não há como cancelar ou estornar a remessa caso a transação tenha sido concluída. Porém, todos os comportamentos dos usuários estão salvos permanentemente na *Blockchain*, podendo ser rastreados;

b) Descentralizadas e anônimas: Não há autoridade central controlando toda a estrutura da criptomoeda e tampouco alguém que gerencie as regras. E, apesar de as informações serem rastreáveis, o comportamento de cada usuário é anônimo, sendo difícil desvendar a real identificação do usuário;

c) Seguros e sem permissão: A criptografia de chave pública (ou assimétrica) e o mecanismo de consenso garantem a segurança da criptomoeda, dificultando que haja uma violação por criminosos. E, apesar de seguro, não há necessidade de requerer autorização a algum ente, podendo qualquer pessoa passar a utilizar da criptomoeda;

d) Rápidas e globais: As transações não demoram muito tempo para serem registradas e, portanto, concluídas, demorando, normalmente, alguns minutos. E como a estrutura da *Blockchain* tem por base uma cadeia pública, se utilizando da Internet, qualquer pessoa pode ter acesso, o que a torna de uso global, eis que a localização geográfica não impede o acesso e tampouco interfere na velocidade da transação.

Cabe ressaltar outra vantagem que é a redução de custos de transação, algo que costuma impactar em transações internacionais. Exemplificando, o banco Caixa Econômica Federal apresenta que uma remessa ao exterior terá tarifa cobrada para conversão da moeda nacional para a estrangeira de 1% do valor a ser remetido, cujo valor mínimo a ser cobrado é US\$ 40,00 e máximo US\$ 200,00 (CAIXA ECONOMICA FEDERAL, 2019, p. 1). No entanto, diversas transações vultosas de Bitcoin já foram registradas com cobranças diferenciadas, com uma ocorrida em 04/12/2019, que remeteu 43.000 Bitcoins, avaliados em mais de US\$ 310 milhões, e que recolheu taxas aproximadas de US\$ 1,00 (SANTOS, 2019, p. 1).

E há diversas formas de se ter acesso a uma criptomoeda, como ao se comprar por meio de uma corretora de criptomoedas, chamada de *Exchange*,



cujo pagamento pode se dar por moeda corrente do país ou por meio de troca por outra criptomoeda. Outra possibilidade é não se utilizar de intermediários, tal qual proposto por Nakamoto, de forma a se comprar diretamente de outro usuário, seja por meio de alguma plataforma de negociação, ou por contato direto, cuja negociação se chama de “troca P2P. É possível, também, atuar como minerador (ver item 2) e, nesse caso, a remuneração se dará pelo recebimento de uma quantia da criptomoeda minerada (HOUBEN; SNYERS, 2018, p. 25).

Muitas vezes a criptomoeda não surge do início, para deriva de uma divisão ocorrida em outra criptomoeda, chamada de *fork*, de modo que todos que detinham uma quantia na criptomoeda originária receberão uma quantia determinada da nova criptomoeda, ficando com ambas as criptomoedas (NARAYANAN et al., 2016, p. 207).

Em alguns casos é possível se obter a criptomoeda direto do ofertante, como quando há o lançamento de uma nova criptomoeda, chamado de Oferta Inicial de Moeda, conhecido pela sigla ICO (*Initial Coin Offering*). Assim a moeda pode ser disponibilizada de forma gratuita, como ocorreu com a *Stellar Lumens*. Outra possibilidade decorre quando o ofertante da moeda organiza uma venda para multidões, como ocorreu com a criptomoeda *Ethereum*, que o foi realizado para cobrir determinados custos de desenvolvimento de sua plataforma (HOUBEN; SNYERS, 2018, p. 25).

Por fim, é possível se obter como uma doação ou presente proveniente de outro usuário ou ao se efetuar uma transação, na qual se entrega algum ou alguns bens ou serviços e se recebe, em troca, a criptomoeda como contraprestação (HOUBEN; SNYERS, 2018, p. 25).

Para armazenar suas criptomoedas há o uso de carteiras ou *wallets*, devendo se deixar claro que elas não ficam armazenadas na carteira, pois estão armazenadas na *Blockchain*, dentro de um bloco no qual se estabeleceu uma transação com aquela quantia para um destino de sua propriedade. A correlação entre a criptomoeda e a propriedade se dá no momento em que a parte insere a sua chave privada, que é verificada com a chave pública, de forma que se comprova que essa pessoa é proprietária daquela criptomoeda (ANTONOPOULOS, 2017, p. 84-85).

É importante destacar que há diversas opções de carteira e caso o usuário perca a carteira, acabará perdendo todo o conteúdo que estava dentro,

não havendo como recuperar. Foi o que ocorreu com James Howells, que durante uma limpeza em sua mesa acabou jogando no lixo o disco rígido que armazenava 7.500 Bitcoins. Ele até tentou localizar o disco rígido no aterro sanitário de Newport - EUA, mas não foi possível (HANSEL, 2017, p. 30).

A primeira opção seria a carteira online, acessível por meio de diversos sites, como Blockchain.info e Bitcoin.com que fornecem o serviço de carteira *online*, podendo ser acessada por meio de um aplicativo em *smartphone*. Para garantir a segurança, geralmente se requer a autenticação em dois fatores, ou seja, é necessário inserir uma senha e depois, em uma segunda etapa, há que escrever um código recebido por algum aplicativo de autenticação ou o código recebido por *email*. Apesar dos métodos de criptografia e segurança empregados, o que traz segurança, é possível que o site seja invadido e sofra danos (HOLMES, 2018, p. 1352).

Um terceiro método seria se utilizar de uma *cold storage*, uma espécie de armazenamento *off-line*. As formas *online* de se armazenar as criptomoedas são chamadas de hot wallet, ou armazenamento quente, como se fosse quando se guarda uma cédula de papel na carteira física ou na bolsa. A outra opção, *off-line* e, portanto, sem conexão com a Internet, é chamada de *cold storage*, ou armazenamento a frio. É possível remeter uma quantia armazenada *online*, para um endereço *off-line*, sendo que cada endereço terá as suas chaves privadas e públicas de segurança, de modo a não permitir que se um conjunto de chaves for descoberto possa levar ao uso de outro (NARAYANAN *et al.*, 2016, p. 110).

Para que seja possível a remessa do armazenamento *online* para o *off-line* há a geração de diversos endereços de destino, como se fossem contas bancárias ou carteiras, e, conforme a necessidade de se transferir de *online* para *offline*, é selecionado um dos endereços criados, que receberá a quantia escolhida para essa outra modalidade de armazenamento. Quando houver a intenção em transacionar aquela criptomoeda ou remeter para outro local de armazenamento, será necessário se conectar à rede, tornando-a online e os dados de transações serão atualizados (NARAYANAN *et al.*, 2016, p. 110).

Esse método de armazenamento *off-line* pode se dar por meio de uma carteira de papel, imprimindo as informações e as guardando em um local seguro, como um cofre de banco. Outra possibilidade é se utilizar de algum computador que não tenha acesso à Internet ou algum dispositivo de *hardware*

específico para isso (LAURENCE, 2017, p.188). Essa modalidade também possui riscos, como a perda do papel ou a sua inutilização, o que faz com que alguns usuários façam diversas cópias e plastifiquem. Mas um número maior de cópias aumenta a possibilidade que outra pessoa encontre e tente transferir essa quantia para um endereço *online*. Além do que deve ser considerado que a impressora quando imprime pode estar com acesso à Internet e deixar o histórico de impressão, podendo o conteúdo ser acessado (LAURENCE, 2017, p.188).

Ainda, tal qual na Bolsa de Valores, há Corretoras de Criptomoedas ou (*cryptocurrency exchanges*), que são plataformas *online* para a compra e venda de criptomoedas, podendo ser trocadas por dinheiro fiduciário, como real ou dólar, ou por outras criptomoedas, como Bitcoin em troca de *Ethereum*. Para funcionar, a pessoa deve transferir para a corretora uma quantia em dinheiro ou uma quantia em criptomoeda, sendo que elas ficarão sob a gestão desse terceiro confiável, que é a corretora. O próximo passo é realizar a transação, seja dinheiro por criptomoeda, criptomoeda por criptomoeda ou criptomoeda por dinheiro. Essa transação não será registrada na *Blockchain* porque as criptomoedas disponíveis dentro da plataforma da corretora são cuidadas por ela, normalmente armazenadas off-line e uma pequena parte armazenada *online* para caso algum cliente solicite a remessa de alguma quantia em criptomoeda para um endereço fora da plataforma. Assim, quando um cliente transaciona com outro dentro da plataforma, a criptomoeda não muda de registro na *Blockchain*, apenas a corretora altera os registros internos de informações e saldos referentes a cada parte. Então, quando a pessoa transfere a criptomoeda para a corretora, esse armazenamento e conservação, segurança, se dá por meio da corretora (FRANCO, 2015, p. 40-42).

Há que se alertar para o risco dessa decisão em manter armazenado em uma corretora, eis que já houve casos de ataques de *cracker* que resultaram em prejuízos enormes, como no caso da corretora Mt. Gox., que foi vítima em 2014 de um ataque que a fez encerrar suas atividades pelo desaparecimento de 850 mil Bitcoins, sendo que entre 2013 e 2014 essa corretora chegou a ser responsável por mais de 70% das transações mundiais (ABRATTE, 2018, p. 415).

No plano nacional, houve o caso do Grupo Bitcoin Banco, que reúne as empresas Bitcoin Banco, Tem BTC, Zater, NegocieCoins, OpenCoin, TagMob,

Principal e Dream World. O Grupo alegou que passava por problemas internos motivados por supostas fraudes (ANTUNES, 2019, p. 1) e passou não permitir que os clientes efetuassem saques, o que gerou inúmeras ações judiciais (MARINS, 2019, p. 1), que culminou em um pedido de recuperação judicial do Grupo, cujo último levantamento aponta que a dívida seria de R\$ 2,7 bilhões (ANTUNES, 2020, p. 1).

Após a obtenção da criptomoeda e a preocupação com relação à forma de armazenamento é necessário se ater a possíveis riscos decorrentes da *Blockchain* e das criptomoedas que podem afetar a funcionalidade ou causar a perda da criptomoeda. Tais riscos envolvem:

a) **Ataque de 51%:** A *Blockchain* detém um mecanismo distribuído responsável por aumentar a confiança entre todos, chamado de consenso, que ocorre por meio da disputa entre os mineradores para verificar quem será o responsável pela inserção nas transações no bloco e desse bloco na cadeia *Blockchain*. Todavia, nos sistemas de mineração baseados em *proof-of-work*, quando uma empresa ou grupo detiver 51% do poder computacional, é possível que seja lançado um ataque para alterar ou manipular as informações contidas na *Blockchain*. Nos sistemas baseados em *proof-of-stake*, o ataque também pode ocorrer caso um minerador detenha 51% das criptomoedas (LI et al., 2018, p. 4-5). Porém, em que pese seja teoricamente possível, é extremamente difícil que ocorra com a rede Bitcoin, eis que a dificuldade para realizar o ato aumenta quando mais nós adentram à cadeia e passam a armazenar informações da cadeia, eis que o invasor deve possuir uma capacidade enorme de processamento, demandando a produção de energia equivalente à produzida pela Irlanda. E com tanto esforço e investimento a recompensa é baixa, eis que permitiria reverter apenas as transações do invasor, sem poder alterar de outras pessoas em seu favor (LAURENCE, 2017, p. 46).

b) **Segurança de chave privada:** Como já abordado no item 1.1, a chave privada representa identidade do usuário, que deve mantê-la segura em sua posse, não podendo repassar a terceiros. Caso a criptomoeda seja armazenada *offline* a chave do usuário será importada de um sistema para realizar tal ato. Nessa modalidade, não há um número grande o suficiente de combinações que impeçam que a assinatura seja distinta de todas as demais, de modo que se alguém descobrir essa assinatura, poderá adulterar os dados ou movimentar a

quantia, algo que será difícil de rastrear e, dificilmente, o valor será recuperado (LI et al., 2018, p. 5).

c) Atividade criminal: O endereço de armazenamento do Bitcoin não possui correlação com a identidade do usuário e é possível que um usuário detenha inúmeros endereços. Caso houvesse correlação, seria possível identificar o usuário e fazer um levantamento do histórico de transações da pessoa. Uma vez garantido o pseudônimo, dificulta-se a identificação, mas não é totalmente anônimo (ULRICH, 2014, p. 21). Dada essa dificuldade na identificação, ocorrem tentativas de fraude, como no caso da remessa de vírus que sequestram sites ou bancos de dados infectados, cujo pedido de resgate se dá pelo pagamento em criptomoedas, sob pena de não recuperar os dados, que afetam muitas pessoas, como no caso do *malware Ransomware* chamado *WannaCry*, que afetou 300 mil vítimas em 150 países (PAQUET-CLOUSTON; HASLHOFER; DUPONT, 2018, p. 1). Outra possibilidade é ocorrer o uso de criptomoedas na *Deep Web*, sites secretos, não acessíveis a todos, nos quais se transacionam itens controlados ou proibidos, como descoberto da Operação organizada pelo FBI chamada de Rota da Seda (ULRICH, 2014, p. 31)

d) Gasto duplo ou *Double Spend*: Ele ocorre quando há duas transações distintas que indicam a mesma quantia, os mesmos fundos, para serem descontados. A primeira transação inserida no bloco será validada, enquanto a outra será ignorada por meio do protocolo do Bitcoin. Isso garante que o sistema descentralizado se defenda sem que uma autoridade central tenha que intervir e decidir acerca da validade de cada bloco. Assim a segurança é reforçada à medida em que novos blocos vão sendo inseridos ao topo da pilha, pois se o fraudador tentar interferir naquele bloco, terá que alterar todos os blocos já inseridos (FRANCO, 2015, 113).

Este capítulo buscou apresentar os conceitos necessários sobre o funcionamento da *Blockchain* e das criptomoedas, os quais se constituem em uma nova tecnologia já em uso e com possibilidade de crescimento no que se refere à sua aplicação prática. Mas, para que *Blockchain* e as criptomoedas funcionem há a necessidade que um determinado profissional atue, o minerador, que será objeto do Capítulo 2.

## 2. MINERADORES DE CRIPTOMOEDAS

No item 1.1 se verificou que a *Blockchain* detém toda a informação das transações, como no caso das criptomoedas e, da mais famosa, o Bitcoin, descritos no item 1.2. O presente capítulo se destina a explicar quem é o responsável por registrar essa transação de Bitcoin na *Blockchain*, ou seja, o minerador.

A forma como se dá a sua atuação e remuneração são explanadas para que se compreenda de onde decorre o consumo energético requerido por esta atividade, que pode vir de uma fonte renovável de energia ou não, dependendo da localização na qual se está fixado o minerador.

### 2.1 Mineradores, modelos de consenso e remuneração

O nome minerador pode causar confusão com o minerador de ouro, mas o uso é intencional: em ambos casos o ativo, seja ouro ou criptomoeda, está fora do mercado, sem circular, e após o esforço do minerador ele se molda a uma forma que é inserida na economia, passando a circular e ter valor reconhecido (KENT; BAIN, 2019, p. 31).

Cada transação realizada deve ser registrada em um bloco e inserido na cadeia da *Blockchain*, sendo que esta tarefa exige esforço computacional, de forma que se mantenha um sistema descentralizado, sem a presença de um terceiro de confiança. Esse papel para garantir a segurança se dá por meio do mecanismo de consenso descentralizado (LI et al., 2018, p. 2).

Essa tarefa é importante em virtude de se chegar a um acordo, um consenso, entre todos os nós acerca de qual sequência implementar, pois pode ocorrer que dois blocos estejam sendo juntados ao mesmo tempo (DRESCHER, 2018, p. 260).

Outra serventia é evitar que transações fraudulentas ou tentativas de remeter a mesma quantia mais de uma vez, o chamado duplo gasto, sejam realizadas, pois são os mineradores que realizam a anotação nos blocos (ANTOPOULOS, 2017, p. 177).

Como não há uma intervenção humana centralizada, a coordenação cabe ao algoritmo referente a cada modelo de consenso escolhido pelas

criptomoedas. Esse algoritmo controla a frequência, o tempo e o número de novas criptomoedas emitidas, sendo que eventuais tentativas de adulteração serão rejeitadas (MEYNKHARD, 2019, p. 74).

Essa coordenação tem por base o Problema dos Generais Bizantinos. Nesse problema, uma cidade está cercada por diversas tropas de diferentes generais. Mas o ataque só será vencedor se houver integração entre todos os generais, pois a desunião e o conseqüente ataque desordenado levará a perda da batalha. Neste problema, não podem haver generais traidores, que deixem de atacar de forma proposital para que haja uma derrota. Nesse ambiente incerto é que deve haver um acordo entre os generais acerca do melhor momento para atacar de forma conjunta, estando cada general em um território distinto (ZHENG et al., p. 358).

Por não deter uma autoridade central e ser uma rede distribuída é fundamental que haja um consenso acerca do ataque ou retirada a ser executado. Esse é o papel dos modelos de consenso, por meio de algoritmos para garantir a integridade do sistema (JOSHI; HAN; WANG; 2018, p. 127).

Na plataforma Bitcoin o mecanismo de consenso atende por *Proof-of-work* (PoW), ou prova de trabalho, que significa resolver problemas matemáticos baseados em algoritmo de *hash* criptográfico. Quem resolver o problema incluirá a resposta no novo bloco, tornando-o conectado ao anterior e será responsável por registrar as transações (ANTOPOULOS, 2017, p. 177).

*Proof-of-work* foi desenvolvido, inicialmente, para o combate ao lixo eletrônico. O seu objetivo é forçar que seja executada alguma forma de trabalho para que se use um serviço, como envio de *email* ou adição de transações à *Blockchain*. O custo deve existir, mas que seja modesto para aquele que pretende usar isoladamente, ao passo que quem desejar atuar milhares de vezes terá um custo muito alto. Essa questão de custo se refere não a valores, mas a exigências relacionadas ao poder de processamento para que o algoritmo seja executado (KENT; BAIN, 2019, p. 52).

O minerador é um nó na rede e o problema matemático, ou quebra-cabeças, que ele deve resolver se refere à quantidade específica de zeros existentes no início do *hash* (ver 1.1) do bloco a ser gerado. Essa quantia é chamada de *nonce* e sua busca se dá por meio de esforço computacional (MEDEIROS, 2017, p. 218).

A dificuldade para se solucionar o quebra-cabeça proposto pelo software do Bitcoin é analisada a cada 2016 blocos, sendo que cada bloco, em média, é minerado a cada 10 minutos, o que leva cerca de 2 semanas (NARAYANAN et al., 2016, p. 141), havendo casos de diferenças menores, como ocorreu entre os blocos 609324 e 609325 e os blocos 609326 e 609327, que levaram 8 minutos, ou diferenças bem maiores, como entre os blocos 609325 e 609326, que levaram 38 minutos (BLOCKCHAIN.COM, 2019, p. 1).

Essa mudança na dificuldade significa aumentar a complexidade e decorre pela quantia do poder de computação. Assim, quando há um acréscimo de novos equipamentos participando da mineração, seja novos mineradores ou novas máquinas de mineradores já atuantes, haverá um aumento no poder computacional, representado pela taxa *hash* ou *hashrate*, que, em tese, significará que o resultado do cálculo matemático será atingido de forma mais rápida. Caso isso se mantenha na rede durante o período de análise, a dificuldade será aumentada para que o tempo seja mais prolongado. E se houver uma redução no poder computacional, uma menor taxa *hash*, significa que mineradores estão deixando de atuar na rede, o que fará a busca pelo resultado ser mais demorada e, será corrigido pela redução da complexidade (MEYNKHARD, 2019, p. 75).

A atividade do minerador no mecanismo *Proof-of-Work* deve ser remunerada e há duas maneiras de isso ocorrer: pelo recebimento de novas moedas e pelas taxas de transação recebida (ANTOPOULOS, 2017, p. 177).

O minerador responsável pela criação do bloco é remunerado com uma quantia fixa de Bitcoins, que ao início da existência da moeda era de 50 Bitcoins a cada bloco minerado. Houve a estipulação que a cada 210 mil blocos adicionados, o que representa aproximadamente 4 anos, a taxa é reduzida à metade (NARAYANAN et al., 2016, p. 68), de modo que se reduziu para 25 e atualmente está em 12,5 Bitcoins por bloco (FRANCO, 2015, p. 108).

O *software* Bitcoin foi gerado para criar até aproximadamente 21 milhões de Bitcoins, com estimativa que o último Bitcoin seja minerado em 2140, sendo que o ritmo de criação é decrescente, de forma a que se mantenha uma taxa de inflação controlada, eis que nesse modelo se evita que ocorra uma produção excessiva concentrada, o que poderia gerar desvalorização (CHOLAN, 2019, p. 1-2).



Ao início do funcionamento da plataforma, a quantia fixa era maior para atrair interessados, reduzindo e sendo limitado para gerar escassez, o que levaria a um aumento do valor de cada Bitcoin (FRANCO, 2015, p. 16). Cabe ressaltar que o Bitcoin possui oito casas decimais, permitindo que pequenas quantias sejam transacionadas ou sirvam para recolhimento de taxas de mineração, sendo que a menor unidade (0,00000001) é chamada de *satoshi* (MEDEIROS, 2017, p. 248).

O próximo *halving*, como é chamada essa redução da remuneração, eis que significa metade em inglês, é aguardado para 14 de maio de 2020, havendo até um site que faz a contagem regressiva (BITCOINBLOCKHALF.COM, 2019, p.1).

Essa redução da taxa fixa cria um mito da valorização da criptomoeda em si, pela escassez. O Bitcoin passou pelo primeiro *halving* em 11/08/2012, quando era avaliado em US\$ 12,22, e no segundo *halving*, em 07/09/2016, era avaliado em US\$ 657,61 (FOXBIT, 2019, p. 1), sendo que em 19/12/2019 estava cotado em US\$ 7.200,00 (INVESTING.COM, 2019, p. 1).

Nessa redução de remuneração o preço do Bitcoin possui um impacto importante, pois se constata que quando se recebia um maior número de Bitcoin por cada bloco minerado o valor individual do Bitcoin era menor (JIANG, 2017, p. 20). Exemplificando, em 10 de abril de 2017 se recebia 12,5 Bitcoins por bloco, sendo que cada Bitcoin valia US\$ 1220,30, totalizando US\$ 15.253,75, enquanto que em 10 de abril de 2012 o valor de cada Bitcoin era US\$ 4,80, que multiplicados por 50 Bitcoins resultam em US\$ 240,00 (INVESTING.COM, 2019, p. 1).

Esses números trazem uma confirmação da valorização, mas há estudos que lançam dúvidas acerca disso, como é o realizado pela Strix Leviathan, empresa que desenvolve e usa softwares de negociação algorítmica específicos para o mercado de criptomoedas. Ela analisou 32 eventos de *halving* ocorridos em 24 criptomoedas, cujo resultado foi que há impacto limitado no preço quando se compara com o mercado em geral o preço anterior e o posterior durante um período mais prolongado, eis que as demais criptomoedas que não sofreram *halving* no período também se valorizaram ou decresceram de forma similar (CORDEIRO; MASUCCI, 2019, p. 1).

As duas criptomoedas mais transacionadas do estudo, Bitcoin e Litecoin, tiveram comportando contrário, eis que o Litecoin se valorizou acima do mercado antes do *halving* em 02 momentos, enquanto que após o *halving* acabou sendo superado pelo mercado. Já o Bitcoin estava se desvalorizando em relação ao mercado antes do *halving* e ultrapassou após o *halving*. O entendimento é que mais importante do que o *halving* em si, eventuais valorizações de preço decorrem do entusiasmo do mercado e não propriamente da redução da oferta, que não se comprovou em todas as análises (CORDEIRO; MASUCCI, 2019, p. 1).

Além da taxa fixa por bloco, o minerador recebe taxas decorrentes pela publicação na *Blockchain*. Todavia, essas taxas são uma pequena fração da remuneração, representando aproximadamente apenas 1% do todo. E como há a redução da taxa fixa, as taxas de publicação deverão representar uma fatia maior (FRANCO, 2015, p. 16).

O minerador solo e aquele que participa de um grupo de mineração recebem suas remunerações de formas distintas, eis que quando se atua de forma individual o minerador apenas recebe aquilo que ele conseguiu decifrar. Esse grupo é chamado de *mining pool*, que é traduzido para fazendas de mineração no idioma português. Nele, as remunerações fixas são recebidas pelo operador do grupo, que as distribui de forma proporcional à contribuição, não importando se tenha sido ela a que foi responsável por desvendar o cálculo ou tenha apenas participado e auxiliado no processo (CAUGHEY, 2013, p. 269-276).

Cabe ser ressaltado que o equipamento é específico para a mineração, sendo um custo alto para a sua compra com relação a um computador comum, em uma indústria competitiva que está em contínuo processo de atualização, com a introdução de novos componentes, de forma que se recomenda que o minerador tenha os equipamentos atinentes à área e atue em um grupo (LAURENCE, 2017, p. 48-49).

Outra distinção ocorre com relação às taxas de transação, eis que elas ficam integralmente com aquele que atuou de forma individual, enquanto que se houve a descoberta em grupo, essas taxas são repassadas ao operador do grupo que não as repassará, ficando como um lucro pela administração do grupo (CAUGHEY, 2013, posição 283).

O minerador que não conseguiu decifrar o código solicitado pelo algoritmo não receberá qualquer remuneração, em que pese tenha realizado gastos (energia, equipamentos, horas de trabalho, entre outros), o que incentivará a gastar mais energia na esperança de lograr êxito (ROHR, 2017, p. 1).

Isso leva a uma busca pela redução de custos em prol de um lucro, favorecendo a migração do minerador para os mais diversos países, que nem sempre estão preparados para isso, como a Islândia, que recebeu inúmeros pedidos para instalação de fazendas de mineração, o que poderia ocasionar no uso de toda a energia lá produzida apenas para esta atividade (BARANIUK, 2018, p. 1).

Outro mecanismo de consenso é o *Proof-of-Stake* (PoS), o qual depende da quantidade de criptomoeda que a pessoa detém para que possa validar as transações de um bloco. A premissa desse protocolo é que quanto maior o número de criptomoedas que o usuário possuir, menor será a probabilidade de realizar um ataque à rede (JOSHI; HAN; WANG; 2018, p. 128).

À época em que Satoshi Nakamoto desenvolveu a *Blockchain* com o uso do *Proof-of-Work* (2009) não havia outras formas de propriedade digital que pudessem trazer segurança por meio de protocolos criptográficos, eis que os sistemas de pagamento eram centralizados, como cartão de crédito e paypal, fazendo com que não ocorresse a descentralização esperada (BUTERIN, 2013, p. 1).

Diferentemente do *Proof-of-Work*, no *Proof-of-Stake* não há uma competição entre quem detém maior poder energético e computacional, sendo necessário ter propriedade da criptomoeda para executar a validação. Isso elimina o desperdício da atividade computacional daqueles que não alcançaram o resultado matemático para poder criar o bloco, resultando na redução do consumo de energia, que não será anulado porque ainda será necessário o uso de equipamentos conectados à rede. Ainda, a recompensa pela prestação do serviço é calculada proporcionalmente à quantia de criptomoedas que o validador possui, enquanto que no *Proof-of-Work* seria uma remuneração fixa, que para o Bitcoin está em 12,5 Bitcoins (DAVARPANA; KAUFMAN; PUBELLIER, 2015, p. 3).

Deste modo, aquele que detiver 1% de toda aquela específica criptomoeda disponível poderá, em teoria, atuar na validação de 1% dos blocos que estão sendo criados. A vantagem de se vincular a atividade à propriedade da criptomoeda é que não será vantajoso financeiramente querer atacar a rede caso se tenha uma quantia considerável, eis que isso resultaria em redução do preço da criptomoeda, cujo maior prejudicado seria o próprio atacante (FRANKENFIELD, 2019, p. 1).

Além do baixo consumo energético, esse mecanismo confirma as transações de forma mais ágil que no *Proof-of-Work* porque cada bloco apresenta um tamanho maior, trazendo informação que seria colocada em outros blocos. Ainda, após a criação do bloco há que ser validado esse rol de informações, que no *Proof-of-Stake* ocorre mais rápido (NGUYEN; et al., 2019, p. 85731-85732).

Para participar, o interessado deve possuir a criptomoeda utilizada e a deixar depositada em uma conta, não sendo possível realizar operações com ela, como se fora dada em caução. A partir daí é possível ser escolhido para validar o bloco, realizando a união das informações no bloco. Caso não execute sua função de forma adequada ou ataque à estrutura, a quantia depositada é perdida em favor da estrutura (GUI; HORTAÇSU; TUDÓN, 2018, p. 2).

Percebe-se que nesse mecanismo não se fala em minerador, mas em validador. E para validar não basta possuir a criptomoeda, mas adentrar ao mecanismo para fazer parte da seleção, cujo critério de escolha pode se dar apenas pela maior quantia dada em garantia, ou pela antiguidade da criptomoeda na carteira, ou escolha aleatória de blocos (BINANCE ACADEMY, [s.d.], p. 1).

Outra melhoria em relação ao *Proof-of-Work* é quanto à desnecessidade de adquirir equipamentos potentes específicos para a tarefa, eis que não serão eles que decidirão o escolhido (NARAYANAN et al., 2016, p. 243-244). E a remuneração no *Proof-of-Work* vai sendo reduzida em virtude da inflação, o que levará os mineradores a receberem menos, podendo ser uma quantia menor do que o custo de minerar, fazendo que haja desistência em atuar e possibilidade de um ataque de 51% à rede. Já no *Proof-of-Stake* a remuneração se mantém proporcional à quantia depositada em garantia (FRANKENFIELD, 2019, p. 1).

Deste modo, no *Proof-of-Stake* o consumo de energia é reduzido por cada validador estar desempenhando uma atividade específica, validando um bloco, sem competição, não necessitando de equipamento computacional específico e caro. Enquanto que no *Proof-of-Work* cada minerador necessita de equipamento computacional específico e potente em poder de processamento, que fica ligado, em uma competição para ver quem será o responsável por minerar aquele bloco. Logo, considerando um exemplo hipotético, no *Proof-of-Work* há 100 mineradores consumindo energia para apenas um bloco, no *Proof-of-Stake* estas 100 pessoas, agora chamados de validadores, poderiam estar atuando em 100 blocos distintos.

## 2.2 Consumo energético

Apesar da inovação decorrente da *Blockchain*, com suas inúmeras possibilidades, bem como da revolução que as criptomoedas podem causar na relação das pessoas para com as finanças, não há apenas pontos positivos. O mecanismo *Proof-of-Work* requer um grande consumo de energia, que será objeto deste subtópico.

Para compreender a quantia energética gasta, em um cálculo envolvendo apenas o uso de Bitcoin, sendo extraídas as demais criptomoedas, em dezembro de 2017 foram utilizados 32 terawatts de energia (TWh) ao redor do mundo, o que é compatível com o uso de 3 milhões de lares estadunidenses, os quais dispõem de um acervo eletrônico e gasto energético maior do que de outros países. Em uma comparação com a empresa de cartões Visa, esta consome ao longo do ano uma quantia que se assemelha a 50 mil casas estadunidenses (SHANE, 2017, p. 1).

Ainda, uma pessoa durante uma hora em um voo em um Boeing 747 produz uma pegada de carbono<sup>3</sup> equivalente à produzida em uma única transação anotada em um bloco (NIRANJAN, 2017, p. 1).

---

<sup>3</sup> O conceito de pegada de carbono possui diversas definições, sendo uma delas a soma de todas as emissões de dióxido de carbono causadas, de forma direta ou não, por uma atividade ou acumulada ao longo das etapas de produção de um produto (WIEDMANN; MINX, 2008, p. 2-4).

Outro adendo pertinente é que apenas 1/3 das transações registradas são oriundas de negociações ou pagamento por bens ou serviços, enquanto que há diversas explicações para o restante, cuja uma delas é a remessa de quantia de uma carteira (*wallet*) para outra (ver 1.2), sem que seja alterado o dono, apenas o local de armazenamento, algo que parece simples, mas acaba por gerar repercussões, como a conferência por diversos usuários acerca da validade da remessa, bem como o custo financeiro pago para realizar a tarefa, bem como o gasto energético na conferência e na execução (KHARIF, 2018, p. 1).

Esse gasto energético pode alcançar grandes números, como em julho de 2018, quando, de acordo com o site Digiconomist, foram utilizados 72,82 TWh, o que é próximo ao consumo anual da Áustria e, naquela comparação com casas estadunidenses, se conseguiria atender a 6,7 milhões de residências (DIGICONOMISTa, 2019, p. 1).

Até 18 de novembro de 2018 essa demanda se manteve acelerada, com estimativa de 73,12 TWh, decrescendo em seguida para 42,13 TWh, estimados em 16 de dezembro. E, em nova ascensão atingiu 49,38 TWh em 11 de fevereiro de 2019, equiparando-se a 4,5 milhões de lares estadunidenses ou a demanda anual de Singapura, o que significa 0,22% do consumo mundial. Na sequência, em 16 de julho de 2019 se retornou aos patamares de 73 TWh, o que se mantém desde então (DIGICONOMISTa, 2019, p. 1).

O gasto estimado com a mineração de *Ethereum*, a segunda criptomoeda em valor de mercado, é de aproximadamente 8,29 TWh, próximo ao consumo de Honduras, o 104º país na escala de consumo, e, caso se some com o gasto em Bitcoin, seria o 38º país mais consumista (DIGICONOMISTb, 2019, p. 1).

Mas há que se considerar que levantar o consumo energético provenientes das máquinas de mineração não é uma tarefa simples, eis que é possível que seja levantado o poder computacional da rede, mas isso não traz informações precisas acerca das máquinas utilizadas para esse poder, bem como das suas quantidades e consumo, eis que há máquinas mais eficientes, que produzem um poder computacional maior com um menor gasto energético. Assim, há uma estimativa do consumo por meio do cálculo da eficiência de diversos hardwares (VRIES, 2019, p. 801-802).

Em julho de 2019 surgiu uma nova ferramenta de consulta estimada para o gasto energético, que se soma ao Digiconomist: o Índice de consumo de eletricidade de Bitcoin (CBECI, do inglês *Cambridge Bitcoin Electricity Consumption Index*), mantido por pesquisadores da Universidade de Cambridge - Inglaterra. O objetivo é comparar o gasto energético com fatos do cotidiano, como a energia gasta pelos aparelhos, nos Estados Unidos, que estão ligados, mas fora de uso. Esses aparelhos gastam em 1 ano o que seria suficiente para alimentar a rede do Bitcoin por 4 anos (VINCENT, 2019, p. 1).

Uma comparação interessante foi com as luzes de natal instaladas nos Estados Unidos, em uma época na qual se decoram os telhados, jardins e interiores das casas, com consumo de energia para esta finalidade de 6,63 TWh, acima dos 5,3 TWh consumidos pelos 105 milhões de habitantes da Etiópia (COMBEN 2018, p. 1) e próximo do consumo de *Ethereum* informado anteriormente (8,29 TWh).

A abordagem do CBECI reconhece que não há como ter certeza da quantia gasta, de forma que se estima um consumo mínimo e um máximo, cuja média resulta em uma estimativa mais realista. Para o cálculo mínimo se consideram que todos mineradores se utilizam dos aparelhos mais eficientes em termos de energia, enquanto que o pior cenário considera o uso dos piores aparelhos existentes no mercado, mas desde que permitam a rentabilidade com o seu uso. Deste modo, o resultado traduziria uma mescla dos aparelhos disponíveis no mercado, seja os mais atualizados ou não (CBECIb, 2019, p.1).

Dadas as metodologias distintas, que podem ser observadas nas figuras 3 e 4, atualmente o Digiconomist informa um consumo energético anual de 73,12 TWh (DIGICONOMISTa, 2019, p. 1), enquanto que a CBECI traz uma estimativa de 69 TWh (CBECIa, 2019, p. 1). Apesar de números próximos, a CBECI traz comparações que reduzem a percepção do valor gasto, eis que informa que o consumo de Bitcoin seria equivalente a 0,32% do consumo mundial ou 0,28% do total produzido. E, caso se compare com fontes renováveis de energia, se verifica que a energia hidráulica produzida (4167 TWh) poderia fornecer o necessário para 60 anos, enquanto que biocombustíveis e resíduos (577 TWh) responderiam por 8 anos, ao passo que a energia solar, eólica e outras fontes renováveis (1405 TWh) forneceriam para 20 anos (CBECIc, 2019, p. 1).

Figura 3: Gráfico de índice de consumo de energia de Bitcoin



Fonte: (DIGICONOMISTA, 2019, p. 1).

Figura 4: Gráfico de índice de consumo de energia de Bitcoin



Fonte: (CBECLA, 2019, p. 1).

Esse consumo já levou países a tomarem medidas, como no Quirquistão, que cortou a eletricidade de 45 empresas de mineração de criptomoedas, que consumiam mais do que três regiões locais somadas (PARTZ, 2019, p. 1). No Irã, autoridades identificaram um aumento de 7% no consumo de eletricidade e passaram a investigar se era referente à mineração, sendo descobertas 2 fábricas antigas, sendo apreendidas 1 mil equipamentos de mineração. E há a suposição que dentro das mesquitas haveriam cerca de 100 mineradores, que se aproveitariam da energia gratuita a estes locais (ALEXANDRE, 2019, p. 1).

Na região de Zhenjiang, na província de Jiangsu, na China, houve a descoberta que mineradores de Bitcoins que desviavam energia, gerando um



prejuízo de cerca de US\$ 3 milhões, o que levou à apreensão de quase 4 mil equipamentos de mineração (AGENCE FRANCE PRESS, 2019, p. 1).

Mas a comparação com o gasto energético do sistema bancário e da empresa de cartões de crédito Visa é analisada de outra forma por outros pesquisadores, como Carlos Domingo (DOMINGO, 2017, p. 1). Para o autor, não basta verificar o consumo apenas da Visa, mas de todo o sistema, eis que no ato da transação as informações do cartão são coletadas pela empresa cuja máquina é utilizada, que as analisará e remeterá para a associação referente ao cartão utilizado (Visa, Mastercard, dentre outros), que fará a validação acerca das informações e se há saldo, retornando essa informação na via contrária (DOMINGO, 2017, p. 1).

Logo, ao se comparar com o sistema bancário seria necessário analisar toda a sua estrutura, incluindo número de bancos (estimados em 30 mil), os seus servidores para manter a infraestrutura e contabilidade (uma média de 100 servidores por banco), as suas agências com funcionários atendendo (estimadas em 665 mil) e os caixas eletrônicos (estimados em 3 milhões), cujo resultado seria um gasto anual de 26 TWh em servidores, 58 TWh nas agências e 13 TWh nos caixas eletrônicos, totalizando 97 TWh de consumo no setor bancário (DOMINGO, 2017, p. 1).

Atualmente se estima que o consumo energético de Bitcoin seria equivalente a 6,7 milhões de lares estadunidenses (DIGICONOMISTa, 2019, p. 1), que tornaria essa criptomoeda com um consumo muito maior do que o uso dos cartões da Visa, com consumo anual equivalente a 50 mil casas estadunidenses, conforme informados acima. Mas, ao se considerar o setor bancário com um todo, a sua estimativa de consumo seria de 97 TWh frente a 73 TWh de Bitcoin, o que altera a percepção do maior consumo por parte da criptomoeda.

Deste modo, tal qual pregado por Katrina Kelly-Pitou, novas tecnologias iniciam com um consumo alto de energia e com o passar do tempo vão se tornando mais eficientes, econômicos, eis que a redução do consumo energético proporciona economia de custos. Mais importante do que se ater ao número consumido é analisar onde se dá esse consumo e qual a sua origem energética (KELLY-PITOU, 2018, p. 1).

### 2.3 Localização dos mineradores e fonte energética utilizada

Minerar criptomoedas requer energia, cujo preço pode variar muito de país para país, conforme Quadro 3. Nessa pesquisa realizada em janeiro de 2018, pela EliteFixtures, houve o levantamento do preço médio para minerar 1 Bitcoin em 114 países, sendo que o país mais barato era Venezuela, com gasto de US\$ 531, seguida de Trindade e Tobago, Uzbequistão, Ucrânia e Kuwait. O país mais caro é a Coreia do Sul, com custo de US\$ 26.170. A China é o 15º país mais barato, com custo de US\$ 3.172, enquanto na América do Sul o mais barato é o Paraguai, que se beneficia da Usina Hidrelétrica de Itaipu, na 14ª posição, com custo de US\$ 3.140, ao passo que o Brasil tem custo de US\$ 6.741, na 59ª posição (ELITEFIXTURES, 2018, p. 1).

Os preços acima podem variar e se tratam de preços médios praticados até o começo de 2018, sendo possível que determinadas regiões ofereçam acordos mais vantajosos, seja por excesso de oferta ou tentativa de atrair alguma empresa ou setor. Exemplificando, em 10/01/2018 a maior tarifa de energia para a indústria na China era de US\$ 0,13 por kWh no varejo, sendo que se houvesse acordo no atacado esse preço poderia cair para US\$ 0,06 por kWh e, nas regiões com excedente de geração o preço pode chegar a US\$ 0,03 por kWh (MURTAUGH, 2018, p. 1).

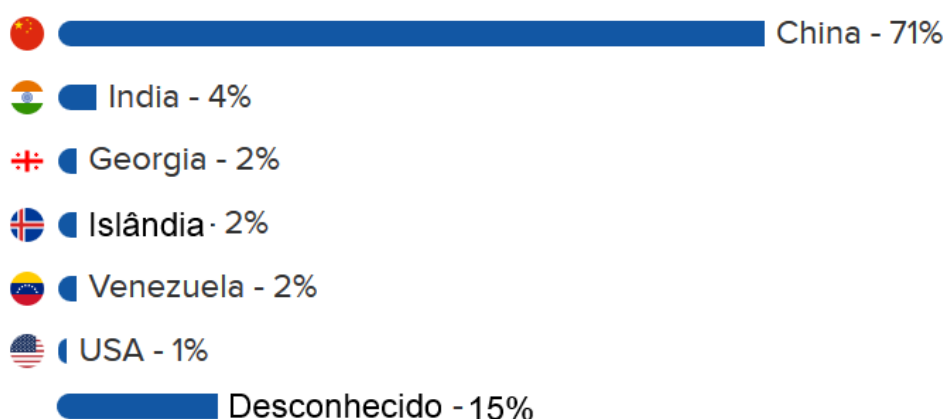
Há divergências e alterações de estimativa ao longo do tempo, mas a China se mantém como o país no qual a maioria dos mineradores estão situados. Em 28/01/2019 Jordan Tuwiner estimou que 71% dos mineradores estariam lá, com o restante dividido em pequenos percentuais, conforme Figura 5 (TUWINER, 2019, p. 1).

Quadro 3: Custo em dólar para minerar 1 Bitcoin, com base na taxa média de eletricidade por país

África do Sul	5948	Espanha	11103	Japão	8723	Polônia	6931
Albania	3894	Estados Unidos	4758	Jordânia	9913	Portugal	10825
Alemanha	14275	Estônia	5551	Kiribati	12966	Reino Unido	8402
Arábia Saudita	3172	Etiópia	2855	Kosovo	3133	Romênia	5698
Argentina	4560	Fiji	5155	Kuwait	1983	Ruanda	8922
Austrália	9913	Filipinas	7137	Laos	4845	Rússia	4675
Bahrein	16773	Finlândia	7122	Letônia	7122	Samoa	12689
Bangladesh	2379	França	7930	Liechtenstein	8164	Samoa Americana	10706
Bélgica	13482	Geórgia	3316	Lituânia	5155	Sérvia	3133
Bielorrússia	2177	Gibraltar	5710	Luxemburgo	7693	Singapura	5936
Bósnia Herzegovina	4084	Grécia	9120	Macedônia	3914	Sri Lanka	11630
Brasil	6741	Guiana	10627	Malásia	5147	Suécia	4746
Brunei	4758	Holanda	9449	Malta	6079	Suiça	7494
Bulgária	4362	Honk Kong	7930	México	7645	Suriname	2956
Camboja	8327	Hungria	5365	Mianmar	1983	Tailândia	4943
Canada, Ontário	3965	Ilhas Cook	15861	Moldávia	4651	Taiti	11103
Cazaquistão	2835	Ilhas Marshall	14751	Montenegro	6384	Taiwan	3774
Chile	9120	Ilhas Solomon	16209	Nepal	3569	Tonga	14671
China	3172	Ilhas Turcas e Caicos	14033	Nicarágua	8613	Trindade e Tobago	1190
Chipre	8723	Índia	3274	Nigéria	5321	Turquia	4984
Colombia	7157	Indonésia	4329	Niue	17566	Tuvalu	14493
Coréia do Sul	26170	Irã	3217	Noruega	7784	Ucrânia	1852
Croácia	5551	Iraque	6543	Nova Zelândia	7593	Uganda	7637
Curaçao	11896	Irlanda	11103	Palau	9053	Uruguai	8723
Dinamarca	14275	Islândia	4746	Papua Nova Guiné	9913	Uzbequistão	1788
Egito	3172	Israel	6087	Paquistão	7137	Vanuatu	13085
Emirados Árabes	3569	Itália	10310	Paraguai	3140	Venezuela	531
Eslováquia	4746	Jamaica	7867	Peru	4140	Vietnã	4717
Eslovênia	7645					Zâmbia	3569

Fonte: adaptado de: (ELITEFIXTURES, 2018, p. 1).

Figura 5: Estimativa de localização dos mineradores de Bitcoin



Fonte: (TUWINER, 2019, p. 1).

Em relatório da CoinShares, de junho de 2019, houve estimativa que 60% dos mineradores estariam na China, sendo que a província de Sichuan seria responsável por 50% da mineração mundial, sendo os outros 10% restantes distribuídos nas províncias de Yunnan, Xinjiang e Mongólia Interior. Para os outros 40% dos mineradores, 5% estariam distribuídos em diversos países sem que seja possível precisar, enquanto que 35% estariam divididos em proporções parecidas nos estados de Washington e Nova Iorque, nos Estados Unidos, na cidade de Quebec e nas províncias de Colúmbia Britânica, Alberta, Terra Nova e Labrador, todas essas no Canadá, na Islândia na Noruega, na Suécia, na Geórgia e no Irã (BENDIKSEN; GIBBONS, 2019a, p. 8).

No relatório da Coinshares, de dezembro de 2019, a China aumentou seu percentual para 65%, sendo que a província de Sichuan detinha 54% da produção mundial, enquanto que as províncias de Yunnan, Xinjiang e Mongólia Interior subiram de 10% para 11%. O percentual não proveniente da China era 40% e agora é estimado em 35%, sendo que a distribuição não conhecida seria de 4%, enquanto que os 31% restantes são divididos nos estados de Washington e Nova Iorque, nos Estados Unidos, na cidade de Quebec e nas províncias de Colúmbia Britânica, Alberta, Terra Nova e Labrador, todas essas no Canadá e nos países da Islândia, Noruega, Suécia, Cazaquistão, Geórgia e Irã e no Distrito Federal Siberiano da Rússia (BENDIKSEN; GIBBONS, 2019b, p. 8-9).

As regiões nominadas de restantes no Quadro 4, representam os demais países, mas é possível atribuir um percentual maior para as regiões da Flórida, Texas e Arizona, nos Estados Unidos, estados da Austrália Ocidental e Nova

Gales do Sul, ambos na Austrália, Bélgica, Bielorrússia, o Distrito Federal do Noroeste da Rússia, Argentina e Venezuela (BENDIKSEN; GIBBONS, 2019b, p. 6 e 8).

Quadro 4: Estimativa de distribuição dos mineradores de Bitcoin

	China		Regiões relevantes				
	Sichuan	Yunnan, Xinjiang e Mongólia Interior	Washington e Nova Iorque (EUA)	Quebec, Colúmbia Britânica, Alberta, Terra Nova e Labrador (Canadá)	Islândia, Noruega, Suécia, Geórgia e Irã	Cazaquistão e Distrito Federal Siberiano da Rússia	restante
Jun 2019	50	10	35			-	5
Dez 2019	54	11	31				4

Fonte: adaptado de (BENDIKSEN; GIBBONS, 2019a, p. 8) e (BENDIKSEN; GIBBONS, 2019b, p. 8-9).

Com a estimativa dos países nos quais os mineradores se situam, o próximo passo é analisar a origem da energia utilizada para a mineração de Bitcoin. Assim, a seguir apresenta-se tal análise tendo por base os seguintes países: China, Estados Unidos da América, Canadá, outros países importantes (a exemplo da Islândia, Noruega, Geórgia, Suécia, entre outros) e, finalmente, o Brasil.

### 2.3.1 China

Conforme mostrado na Figura 7, a China é o país onde se localiza a grande maioria dos mineradores, um país em que há oferta de energia barata, a qual é resultante de usinas carvão, o que acentua a poluição e a pegada de carbono (BRASSAW, 2018).

Outros diferenciais que favorecem a mineração na China são a mão de obra barata para a construção e manutenção das instalações, o excesso de energia disponível e o acesso facilitado ao equipamento necessário para minerar

(BRAM, 2019, p. 1).

A fabricação do equipamento específico para minerar criptomoedas, ASIC, é concentrada entre 4 empresas chinesas (Bitmain, Whatsminer, Canaan e Eband), que detém aproximadamente 95% do mercado, com estimativa de passar para 98% em 2020. Apesar de serem empresas chinesas, nem toda produção é gerada na China, havendo fábricas em outros locais. Deste modo, 62% de todo o equipamento produzido no mundo é proveniente da Ásia e, desse percentual, 73% vem da China, que seria responsável, então, por 45,2% da fabricação mundial (WANG; XU; ZHAO, 2020, p. 10-11).

Em 2016 foram consumidos 23.106,86 TWh de energia por todos os países, cuja fração da China foi de 5.898,89 ou 25,52% do consumo mundial (INTERNATIONAL ENERGY AGENCY, 2019, p. 1). Em 2007 ela atingiu o posto inglório de maior emissora de gás carbônico, sendo que 83% da geração era advinda do carvão, o que aliado a diversas discussões internacionais na área ambiental, posteriores ao Protocolo de Kioto e que serviram de prévia para a Conferência das Partes (COP) 15, levaram à promoção de formas para reduzir seus números, com enfoque na implantação de fontes renováveis (LIU; POLENSKE; XI; GUO; 2010, p. 6153).

Essa substituição energética resultou na redução da participação do carvão na geração de energia para 62% do total (LIY, 2017, p. 1), o que, apesar de ter ocorrido um avanço, ainda preocupa, eis que a média mundial é de 27,1%, conforme relatórios da Agência Internacional de Energia (INTERNATIONAL ENERGY AGENCY, 2019b, p. 1).

Em que pese os Estados Unidos da América deterem 23,7% das reservas mundiais de carvão, a Rússia 15% e Austrália 14%, enquanto que a China detém 13,2%, é esta quem mais produz, pois foi responsável em 2018 por 46,7%, ao passo que Estados Unidos deteve apenas 9,3%, Rússia 5,6% e Austrália 7,7%. Ainda, a China também é o país que mais consumiu carvão, com participação de 50,5%, sendo que Estados Unidos (8,4%), Rússia (2,3%) e Austrália (1,2%) pouco utilizaram (BRITISH PETROLEUM, 2019, p. 42 e 44).

Desde o fim da década de 1980, quando se iniciou um projeto desenvolvimentista, a China vem aumentando o uso do carvão, culminando com um consumo quase 5 vezes maior em 2009 frente a 1980 e cujo destino de 90%

desta produção, em 2012, era às indústrias de metalurgia, química, energia e construção civil (SHEN; GAO; CHENG; 2012, p. 274).

Em 2014 houve queda na produção (3,87 bilhões de toneladas) e no consumo do carvão (3,51 milhões de toneladas), mas havia meta de consumo para 2020 estimada em 4,2 bilhões, cujo aumento de 690 milhões de toneladas é maior do que a produção da Índia, que é a terceira maior produtora, com 605 milhões de toneladas. Todavia, em que pese haja aumento nos números absolutos, o crescimento das outras fontes de geração de energia fará cair o percentual de capacidade instalada de 66% em 2012, para 58% em 2020 e 42% em 2050 (TAN; et al., 2015, p. 95).

Na região desértica de Ordos, na Mongólia Interior, haviam prédios inacabados ou vazios em uma cidade que se tornou fantasma, retrato de um boom especulativo que fracassou, mas deixou a preços módicos mão de obra, terra e eletricidade advinda do carvão. Em 2015 a empresa Bitmain comprou a estrutura de mineração criada no ano anterior, aberta em face à atração pelo desconto de 30% no preço da energia, a qual é utilizada para a manutenção das máquinas ligadas ininterruptamente, bem como para refrigerar os armazéns nos quais os equipamentos estão, eis que a temperatura exterior ultrapassa, com frequência, os 30° C, o que poderia causar danos às máquinas (HUANG; WONG, 2017, p. 1).

Essa disponibilidade e uso do carvão deveria regredir em prol de uma política ambiental, o que estaria de acordo com o fato de a China ser líder global em desenvolvimento de energia renovável, seja em projetos financiados na China quanto no exterior. Porém, em 19 de abril de 2019 a Administração Nacional de Energia da China atualizou sua lista de províncias que estariam com excesso de capacidade de energia de carvão. Nessa atualização, 11 províncias estavam proibidas de aumentar a capacidade de produção e passaram a ser autorizadas, o que permite novos investimentos nessa área (YU; SHEARER, 2019, p. 1).

Com esse percentual de uso do carvão é natural que surjam conclusões envolvendo a geração de energia via carvão à mineração de Bitcoin, como Tuwiner faz (TUWINER, 2019, p. 1), enquanto que Hileman e Rauchs informaram que tanto as usinas de carvão quanto as hidrelétricas fornecem energia em virtude do potencial delas não ser utilizado por outros setores que

eram esperados e acabaram não se desenvolvendo, de modo que o uso evita o desperdício (HILEMAN; RAUCHS, 2017, p. 100).

Esse pensamento é compartilhado por Stoll, KlaaBen e Gellersdörfer, que informam que nas províncias de Yunnan e Sichuan aproximadamente 80% da energia consumida seria proveniente de usinas hidrelétricas, ao passo que na Mongólia Interior o carvão seria a fonte principal, cuja origem da energia elétrica consumida pelos mineradores na China seria advinda 58% das usinas hidrelétricas e 48% das usinas de carvão. Porém, esses percentuais podem ser alterados para o futuro, em face à possibilidade que os mineradores migrem suas operações para locais próximos a fontes de energia renovável (STOLL; KLAABEN; GALLERSDÖRFER, 2019, p. 1655).

Essa migração já ocorre internamente, mas de forma sazonal, eis que inúmeros *pools* de mineração se mudam para Sichuan ou Yuann entre abril e maio, pois logo em seguida há o início do período de chuvas da primavera, o que torna a energia hidrelétrica da região mais barata em virtude da sua abundância. Esse fenômeno é comparado localmente à migração de aves conforme a época do ano (BRAM, 2019, p. 1).

Mas esse cenário de estação chuvosa com o clima frio em área montanhosa se estende de maio a setembro, de modo que transpassado esse período há a estação seca, de outubro a abril. Durante esse período, a geração de eletricidade cai de tal forma que falta para suprir a necessidade de todos consumidores. Assim, as autoridades de Sichuan pressionam os mineradores para reduzirem suas operações durante essa época, pois o objetivo do governo é priorizar a demanda social de eletricidade, permitindo que um número maior de pessoas sejam beneficiadas, eis que há previsão de um consumo 30% maior em 2020 que no período de 2019 (MUIR, 2019, p. 1).

Tentando descobrir um pouco mais sobre a mineração de Bitcoin, localização, seu consumo e origem da produção energética, Bendiksen passou a elaborar, em conjunto com Gibbons, relatório semestrais acerca do setor, deixando de lado eventuais suposições genéricas (BENDIKSEN, 2018, p. 1).

Nesses relatórios, para tratar do índice de utilização de energia renovável no setor de mineração de criptomoedas, se utilizou como metodologia a análise dos dados de geração de eletricidade de relatórios das províncias e das empresas. A seguir, se analisa o consumo efetivo, verificando eventuais



excessos de geração de energia, e se faz uma média geral acerca da origem da energia gerada, a qual é tomada como a real fonte dos mineradores, assumindo que se esse seria o padrão médio do consumidor, seria a mesma realidade para o minerador. Após, estima-se o percentual do poder computacional (*hashrate*) referente a aquele local específico, sendo este percentual multiplicado pela média no mix de geração de energia (BENDIKSEN; GIBBONS, 2019b, p. 8).

No relatório de maio de 2018 se verificou que há excesso de produção de energia hidrelétrica na região sul e sudeste da China, aonde se encontram Yunnan e Sichuan. Essa produção era destinada para as indústrias de alumínio, que não se instalaram, reduziram seu consumo ou fecharam, gerando um desperdício. A energia eólica também enfrenta a mesma questão no Oeste do país, não sendo utilizada pela mineração de Bitcoin (BENDIKSEN; GIBBONS, 2018a, p. 7).

Para estimar um percentual de utilização por parte dos mineradores de criptomoedas de energia gerada a partir de fonte renovável, Bendiksen e Gibbons se valeram de uma pesquisa realizada em outubro de 2018 pelo Morgan Stanley, referente a dados de 2017, que apontou que na província de Sichuan 90% do consumo é proveniente de energia renovável, enquanto que 92% do consumo na província de Yunnan foi de energia renovável. Todavia, na Mongólia Interior apenas 16% veio da energia renovável e em Xinjiang a situação foi levemente melhor, com 23% de uso, o que demonstra que essas regiões se valem de fontes de geração de energia não renováveis, o que acaba deixando a média das regiões chinesas, excetuadas Sichuan, em 44% de uso de fonte renovável (BENDIKSEN; GIBBONS, 2019b, p. 8).

A percepção geral que relaciona a dependência de carvão na geração de energia (62% em 2017) (LIY, 2017, p. 1), com o alto número de mineradores chineses, fazendo suposições que esses se valeriam de carvão como fonte energética (TUWINER, 2019, p. 1) é invalidada, conforme se demonstra no Quadro 5. A partir dos dados descritos no relatório de dezembro de 2019, de Bendiksen e Gibbons, este autor procedeu a cálculos matemáticos que invertem a suposição preliminar: não é o carvão o responsável pela geração de energia para os mineradores na China, mas as fontes renováveis. Elas são responsáveis por 90% da demanda dos mineradores de Sichuan, o que significa 74,7% do consumo de mineração da China e somados aos 7,48% referentes às regiões de

Yunnan, Xinjiang e Mongólia Interior, resultam na estimativa que 82,18% da energia utilizada pelos mineradores chineses é proveniente de uma fonte renovável.

Quadro 5: Estimativa de percentual de fonte renovável utilizado pelos mineradores de Bitcoin na China

	China					
	Sichuan			Yunnan, Xinjiang e Mongólia Interior		
	% mineração mundial	% mineração chinesa	% fonte renovável	% mineração mundial	% mineração chinesa	% fonte renovável
Dez 2019	54	83	90	11	17	44
% fonte renovável relacionada à China	74,7			7,48		
% fonte renovável de mineradores na China	82,18					

Fonte: adaptado de BENDIKSEN; GIBBONS, 2019b, p. 8.

Com relação à produção de energia em excesso, um complicador é a indisponibilidade de uma estrutura que permita a transmissão em longa distância dessa produção em larga escala, o que resulta no desperdício desse excesso de capacidade. Nesse contexto, a mineração de Bitcoin seria uma forma de se utilizar de algo que seria perdido, sendo pago um valor baixo, sem que fosse necessária a geração especificamente para esta atividade (BENDIKSEN; GIBBONS, 2018a, p. 7-8).

O desperdício de energia e a poluição ao meio ambiente são critérios existentes desde 2005 para que uma categoria seja eliminada da estrutura industrial do país. O órgão regulador é a Comissão Nacional de Desenvolvimento e Reforma (NDRC), que é um órgão de planejamento econômico chinês, que divulgou em 01/04/2019 que iria promover alterações nas categorias incentivadas, restritas ou eliminadas. Dentre as alterações propostas estava a

eliminação da mineração de Bitcoin na China, que, caso a normativa fosse aprovada, teria que migrar para outros países (HUANG, 2019, p. 1).

Em Garzê, dentro da província de Sichuan, as autoridades reclamam que as instalações de mineração existentes no município trazem poluição sonora e térmica, o que criaria riscos ao público e ao meio ambiente. Outra reclamação se refere ao grande fluxo de funcionários de manutenção, bem como a existência de construções ilegais, ao consumo excessivo de eletricidade e à falta de recolhimento de impostos e taxas locais (MUIR, 2019, p. 1).

Esse receio pela proibição da mineração levou inúmeros *pools* de mineração a analisar locais no exterior para uma possível migração (BRAM, 2019, p. 1), sendo que alguns cogitam ou já migraram para a Escandinávia, Rússia, Canadá e Estados Unidos da América (BENDIKSEN; GIBBONS, 2018b, p. 5-6).

Apesar da apreensão com a possível proibição da mineração em território chinês, não houve menção ao Bitcoin ou à mineração deste na versão final do Catálogo da indústria, publicado pela NDRC, com entrada em vigor a partir de 01/01/2020. Isso representou uma mudança nos planos da política nacional, o que permite continuar a atividade e até crescê-la (ZHAO, 2019, p. 1).

### 2.3.2 Estados Unidos da América

A Empresa Fornecedora de Energia Crescent realizou um levantamento no início de 2018 que apontou que o estado de Washington seria o 3º estado mais barato para se minerar Bitcoin nos Estados Unidos, com um custo estimado em US\$ 3.309. Já o estado de Nova Iorque teria um custo de US\$ 6.151, o que, em tese, poderia tornar inviável a mineração neste último estado caso esse preço médio fosse aplicado aos mineradores (CRESCENT ELECTRIC SUPPLY COMPANY, 2018, p. 1).

No relatório de dezembro de 2019, de Bendiksen e Gibbons, se apontou que os mineradores de criptomoedas no estado de Washington se utilizariam de 92% de energia proveniente de fontes renováveis, enquanto que no estado de

Nova Iorque essa origem seria utilizada por 45% dos mineradores (BENDIKSEN; GIBBONS, 2019b, p. 8).

Tanto o estado de Washington quanto o de Nova Iorque apresentam clima frio e terrenos acidentados, assim como rios poderosos, como o Colúmbia e Saint Lawrence, respectivamente, o que contribui para a geração de energia hidrelétrica (WILLMS, 2019b, p. 1).

Em Washington houve o aproveitamento de antigas fábricas de silvicultura, celulose e papel, as quais já possuíam em suas instalações usinas hidrelétricas que estavam abandonadas, de modo que para atrair esse novo segmento da mineração são ofertadas tarifas mais baixas de energia. A empresa Salcido Enterprises possui 3 centros de mineração em Wenatchee, sendo que todos se utilizam de energia hidrelétrica proveniente do Rio Colúmbia (WILLMS, 2019b, p. 1).

Já a empresa chinesa Bitmain abriu uma unidade no Condado de Douglas, dentro do estado de Washington e próximo ao aeroporto de Wenatchee. O clima ameno reduz o consumo de energia para a manutenção do equipamento refrigerado aliado ao fato de também se utilizar de energia barata gerada por usina hidrelétrica. Todavia, a chegada dessas empresas não é bem recebida em outros locais do estado, como nos Condados de Chelan e Grant, nos quais houve votação para majorar o preço cobrado pela eletricidade destinada a empresas de mineração de criptomoedas, enquanto que no Condado de Walla Walla houve protestos de moradores (BANSE, 2018, p. 1).

A cidade de Plattsburgh, no estado de Nova Iorque, possui energia hidrelétrica abundante e barata proveniente do Rio St. Lawrence, o que motivou a chegada de inúmeros mineradores, que passaram a consumir mais de 10% do total produzido. Essa quantia não gerava problemas, até que no inverno de 2018 houve um aumento de demanda por parte dos moradores para aquecerem suas casas, de forma que não havia energia suficiente para todos, cuja solução foi o Departamento Municipal de Iluminação comprar energia extra a custos bem mais altos, os quais foram repassados aos consumidores (MCGEEHAN, 2018, p. 1).

Esse aumento representou US\$ 60 mil em janeiro e fevereiro nas contas de um dos maiores empregadores da cidade, com cerca de 500 funcionários. O seu diretor passou a questionar o porquê todos deveriam pagar a mais em prol de um setor que emprega tão poucas pessoas. As reclamações de muitos

fomentaram que a cidade implementasse uma moratória à mineração de criptomoedas, resultando na migração para Massena (MCGEEHAN, 2018, p. 1).

Em Massena surgiu o maior centro de mineração de criptomoedas do mundo, no local em que era uma antiga fábrica de fundição de alumínio que ficara quatro anos fechada. O local possui energia hidrelétrica e eólica geradas de forma abundante proveniente do Rio St. Lawrence (COINMINT, 2019, p. 1).

Outros estados além de Washington e Nova Iorque estão recebendo novos mineradores. No Texas havia um cinturão de ferrugem e o fim da industrialização e exportação de recursos deixou áreas em desuso, bem como energia não utilizada. A Bitmain se instalou em uma antiga fábrica de fundição de alumínio, a qual possui uma usina de eletricidade e linhas de energia nunca utilizadas, mas não se sabe exatamente qual a origem desta energia. Já a empresa Layer1, de São Francisco, Califórnia, está se instalando no estado e se utiliza de energia eólica, enquanto que a Whinstone US Inc, do estado da Louisiana, e a Northern Bitcoin AG, da Alemanha, possuem planos de migrar para o Texas e se utilizarem de fontes renováveis (WILLMS, 2019b, p. 1).

Essa busca por fontes renováveis motivou o projeto da Plouton Mineradores, que se instalará no deserto de Mojave, na Califórnia, local em que a energia solar é produzida praticamente todos os dias do ano, a qual será usada durante o dia para alimentar a empresa, enquanto que no período noturno receberá a energia proveniente das concessionárias locais, por preços reduzidos, eis que não será um horário com grande consumo dos demais consumidores (WILLMS, 2019a, p. 1).

A empresa Compute North escolheu o estado de Nebraska para abrir sua maior sede para mineração, na cidade de Kearney, cujos preços de energia são de US\$ 0,11004 kWh, mas devem baixar (AKI, 2019, p. 1). A energia vem da Companhia estatal de energia, não se sabendo se o fornecimento será proveniente de alguma fonte específica de geração. Porém, em 2018 o carvão foi responsável por 63% da geração, enquanto que a energia nuclear respondeu por 15%, a energia eólica por 14% e o restante foi proveniente da energia hidrelétrica e do gás natural, com aproximadamente 4% e 3%, respectivamente (U.S. ENERGY INFORMATION ADMINISTRATION, 2019, p. 1).

### 2.3.3 Canadá

Bendiksen e Gibbons, em seus relatórios de dezembro de 2019, apontaram que os mineradores de criptomoedas na província de Alberta se utilizariam de 11% de energia proveniente de fontes renováveis, enquanto que na província de Terra Nova e Labrador essa origem seria utilizada por 95%, ao passo que em Colúmbia Britânica 98% utilizam, chegando a 100% em Quebec (BENDIKSEN; GIBBONS, 2019b, p. 8).

Há que recordar que o Canadá apresenta um clima frio, o que reduz custos de refrigeração dos equipamentos. Ainda, há energia hidrelétrica disponível que era usada pela indústria pesada, pela silvicultura, celulose e papel. A redução ou encerramento dessas atividades resultou em excedente na geração, o que aliado ao desenvolvimento de formas de conservar a energia fez com que fosse possível ofertar eletricidade a custos mais baixos. Essa política reaproveita a energia que não seria utilizada e ainda atrai novas empresas, o que acaba por reviver as cidades, seja por fluxo financeiro ou de pessoas (WILLMS, 2018, p. 1).

Apesar de haver excedente, o consumo energético alto da mineração de criptomoedas requereu 5000 megawatts de fornecimento por parte da British Columbia Hydro, o que representa aproximadamente 40% da geração e equivale a 4 vezes a capacidade de uma nova barragem em construção (Site C). Os críticos, como Werner Antweiler, professor de economia na Universidade da Colúmbia Britânica, alegam que são poucos empregos gerados e os benefícios seriam usufruídos apenas pelas empresas desse setor de mineração, sem trazer vantagens econômicas à comunidade (LINDSAY, 2018, p. 1).

Essa pouca geração de empregos é a conclusão de um estudo realizado pela empresa KPMG e encomendado pela empresa fornecedora de energia Hydro-Québec com base em projetos remetidos à empresa de energia. Em uma operação de 250 MW seria criado 0,4 cargos por MW, enquanto em uma operação de 75 MW seria criado 0,7 cargos por MW e em uma operação de 20 MW seriam criados 1,2 cargos por MW. Em um estudo de 2017, a KPMG havia estimado que para cada MW uma central de dados contrataria entre 5 e 25 funcionários, enquanto que uma indústria de alumínio contrataria 2,2 por MW, uma indústria de aço contrataria 8,8, uma petrolífera contrataria 20,7 e uma

mineradora tradicional contrataria 27 funcionários (HYDRO QUÉBEC, 2018, p. 1).

Na província de Quebec, as autoridades não deixaram a Hydro-Québec aumentar as taxas para empresas de mineração de criptomoedas, de modo que continuaram pagando a mesma quantia que as demais indústrias, por volta de CAD\$ 0,05 por kWh, equivalente a US\$ 0,03 kWh (WILLMS, 2019c, p. 1). Aproximadamente 80% da geração de eletricidade dessa província vem das barragens da Hydro-Québec e 11,5% é proveniente da estação Churchill Falls, em Terra Nova e Labrador (WILT, 2018, p. 1).

A cidade de Medicine Hat, na província de Alberta, assinou um contrato em 2018 com a Hut 8 Mining para fornecer 42 megawatts de energia a gás, os quais se referem a praticamente toda a produção de uma nova usina (WILT, 2018, p. 1).

Ao contrário das outras províncias, em Alberta a geração de energia é oriunda do gás natural, que é um subproduto do refino do petróleo e seria eliminado na atmosfera por não haver interessados (WILLMS, 2019b, p. 1). Esse gás é produzido pela perfuração de petróleo, mas não há oleodutos instalados na região que permitissem remeter o gás para outro local. A solução é instalar geradores movidos a gás natural que convertem para energia, que é repassada para instalações de mineração de criptomoedas montadas em local próximo, o que dá utilidade a algum que seria descartado (HARPER, 2019, p. 1).

#### 2.3.4 Outros países importantes

No relatório de dezembro de 2019, Bendiksen e Gibbons apontaram que das regiões relevantes (ver Quadro 6), há uma disparidade entre países que se utilizam de um alto percentual de fontes renováveis para gerar energia, ao passo que outros estão diametralmente opostos, conforme Figura 10 (BENDIKSEN; GIBBONS, 2019b, p. 8).

Quadro 6: Estimativa de percentual de fonte renovável utilizado pelos mineradores de Bitcoin

País	Fontes renováveis	País	Fontes renováveis
Islândia	100%	Sibéria	44%
Noruega	99%	Armênia	33%
Geórgia	79%	Cazaquistão	12%
Suécia	65%	Irã	0%
Média das regiões relevantes			62%
Média resto dos países			18%

Fonte: adaptado de (BENDIKSEN; GIBBONS, 2019b, p. 8).

A Geórgia desde 2016 incentiva que mineradores de criptomoedas se estabeleçam, ofertando energia pela metade do valor cobrado na Europa ou Estados Unidos, bem como criou zonas isentas de impostos. Esse país de 3,7 milhões de habitantes vê aproximadamente 10% de sua produção de energia ser destinada a este setor (ALDERMAN, 2019, p. 1). Sua matriz energética é composta de 76,9% advinda de usinas hidrelétricas, 22,6% de usinas térmicas e 0,5% de energia eólica, sendo que 75% do potencial hidrelétrico não é explorado (INVEST IN GEORGIA, 2016, p. 1).

Na lista dos 5 maiores consumidores de eletricidade estão 2 empresas mineradoras de criptomoedas (Geo Service e BFDS). A energia é adquirida em um mercado livre, diretamente entre produtores e consumidores, o que evita que distribuidores participem, que seria algo que encareceria o custo, que no primeiro semestre de 2018 teria sido para consumidores não doméstico, em média, de US\$ 0,06 kWh (TASSEV, 2018, p. 1).

A Islândia é o primeiro país em que o consumo por parte dos mineradores de criptomoedas será maior do que o consumo privado dos habitantes. Ela está localizada no meio do Oceano Atlântico, dispondo de temperaturas gélidas, e possui diversos rios e fontes geotérmicas potentes (NOACK, 2018, p. 1), de modo 71,03% de sua geração elétrica é proveniente de usinas hidrelétricas, e a energia geotérmica é responsável por 28,91%, restando 0,04% para energia eólica e 0,01% para combustíveis fósseis (ICELAND MAGAZINE, 2019, p. 1).



A Noruega extrai 97% de sua energia de usinas hidrelétricas, dispondo de muitos rios que possuem cascatas em seus fiordes. Ainda, o terreno é montanhoso e agraciado pelo vento que também é utilizado na geração, assim como a energia solar. Apesar de ser praticamente totalmente dependente de energia renovável, por volta de metade de toda a exportação norueguesa decorre do petróleo e do gás (CARROLL, 2019, p. 1).

A Suécia apresenta sua matriz energética formada por 40% de energia nuclear, 40% de energia hidrelétrica, 11 de energia eólica, 8% de bioenergia e resíduos e 1% de outras fontes, como carvão, gás natural, petróleo, turfa e energia solar (INTERNATIONAL ENERGY AGENCY, 2019c, p. 1).

Para reduzir a descarbonização e melhorar a eficiência energética, a Suécia promoveu políticas, acompanhadas pela Agência Internacional de Energia, como a tributação do dióxido de carbono, com intuito de atender a seus objetivos climáticos, com meta de zerar a emissão de carbono até 2045, de modo a cumprir o Acordo de Energia de 2016 e a Estrutura Climática de 2017 (INTERNATIONAL ENERGY AGENCY, 2019d, p. 1).

O Irã é dependente de gás natural (83,76%) e óleo (8,57%), sendo que a energia hidrelétrica (4,89%), a energia nuclear (2,44%), o carvão (0,20%), a energia eólica (0,10%), a energia solar (0,03%) e a bioenergia e resíduos (0,01%) detém pequena parcela na geração de eletricidade a cumprir o Acordo de Energia de 2016 e a Estrutura Climática de 2017 (INTERNATIONAL ENERGY AGENCY, 2019e, p. 1).

O Cazaquistão gera sua energia a partir do carvão (69,93%), do gás natural (19,03%), da energia hidrelétrica (10,87%), do óleo (0,76%), da energia eólica (0,33%) e da energia solar (0,09%) (INTERNATIONAL ENERGY AGENCY, 2019f, p. 1).

### 2.3.5 Brasil

A matriz energética brasileira é composta de energia hidrelétrica, com 62,93% de participação, seguido de gás natural (11,13%), bioenergia e resíduos (8,86%), energia eólica (7,19%), carvão (4,3%), óleo (2,7%), energia nuclear (2,67%), energia solar (0,14%) e outras fontes (0,08%) (INTERNATIONAL ENERGY AGENCY, 2019g, p. 1).

Apesar de ser em sua maioria oriunda de fontes renováveis, a energia é muito cara no Brasil, sendo que o custo médio praticado para indústrias brasileiras, no ano de 2016, foi de US\$ 0,131 kWh, ou R\$ 0,545 kWh com a cotação de 16/01/2020 de R\$ 4,16. Esse valor só é mais baixo do que os praticados por Itália (US\$ 0,188 kWh), Japão (US\$ 0,151 kWh), Alemanha (US\$ 0,145 kWh), Reino Unido (US\$ 0,145 kWh) e Suíça (US\$ 0,132 kWh) (CONFEDERAÇÃO NACIONAL DAS INDÚSTRIAS, 2018, p. 50).

Além da energia para a manutenção do equipamento atuando 24 horas por dia, nos 7 dias da semana, há que se recordar que será necessário refrigerar o equipamento para que se tenha uma durabilidade maior, o que aumentará o consumo de energia. Ainda, é necessário comprar o equipamento, que é importado e será taxado pela Receita Federal em até 60% do valor pago, tornando o custo de aquisição muito mais alto do que se fosse em outro local (BASSOTTO, 2019, p. 1).

O valor cobrado pela energia no Brasil traz situações peculiares, como a mudança de brasileiros para o Paraguai para instalar empresas de mineração de criptomoeda, eis que, apesar de se utilizar da mesma Usina de Itaipu para a geração de energia, a demanda paraguaia menor do que a parte que lhe cabe, aliada à tributação, torna o custo no Brasil até 250% mais caro (ZANINI, 2019, p. 1).

Deste modo, não há dados que demonstrem o percentual de participação do Brasil na mineração de criptomoedas, eis que se fosse instalada uma empresa de mineração o alto custo pode tornar inviável financeiramente.

### 3 REGULAMENTAÇÃO JURÍDICA NACIONAL E ESTRANGEIRA DA TEMÁTICA

A criação da *Blockchain* e das criptomoedas abrem espaço a diversas possibilidades, mas essa tecnologia traz um risco embutido no uso da inovação caso se mantenha o uso exacerbado de energia proveniente de fontes ambientalmente inadequadas.

Inicialmente, pessoas aceitavam riscos pessoais, como Cristovão Colombo que partiu em busca de novas terras, sem ter certeza do que ocorreria no percurso ou do que iria encontrar. Mas esse caráter personalíssimo foi alterado, passando a afetar outros ao redor. Há séculos que, em prol de melhorias, muitas condutas foram praticadas, como na derrubada de florestas para a criação de áreas de pastagem e a venda da madeira extraída ou na poluição de rios e pessoas com vapores e gases tóxicos expelidos por fábricas londrinas no período industrial. Assim, o risco que era algo pessoal e, posteriormente, causado pela falta de conhecimento no trato sanitário, passou a ser alterado, sendo criado pela superprodução industrial, afetando a pessoas, flora e fauna, de maneira global, sendo riscos da modernidade (BECK, 2011, p. 25-26).

Dentre as inovações modernas há as fazendas de mineração, que devem seguir inúmeras leis e regulamentos, nas mais diversas áreas, passando pela esfera tributária, administrativa, energética e ambiental. Na área da energia elétrica há especificidades destinadas a grandes empresas, como seria o caso do presente estudo e, para isso, se discorre como esse setor se formou.

A Eletrobrás (Centrais Elétricas Brasileiras S.A.) foi criada em 1962 para controlar algumas empresas do Sistema Elétrico Brasileiro, como a Furnas e a Chesf e foi crescendo com a compra de outras empresas, como as do Grupo Amforp em 1964 e a Light em 1979. O setor elétrico foi reformulado em 1973, com a criação da Lei de Itaipu, que criou a Usina Itaipu Binacional e alterou o papel da Eletrobrás, que passou a atuar com controladora em todo o território nacional, promovendo o planejamento, financiamento e gestora federal do setor (GOMES; VIEIRA, 2008, p. 306, 308-309).

Nesse modelo não havia comercialização de energia por parte de particulares, ficando a distribuição sob responsabilidade de empresas e órgãos dos governos estaduais, com o controle da Eletrobrás. Um cenário que foi alterado com a Lei 8031/1990, criadora do Programa Nacional de Desestatização, o que fomentou a retirada da exclusividade estatal referente à produção e comercialização de energia, ocorrida com a Lei 9074/1995 (SANTOS, 2013, p. 316 e 319).

Essa perda da exclusividade se deu com a criação do Produtor Independente de Energia Elétrica, descrito no artigo 11, da Lei 9074/1995 como a “pessoa jurídica ou empresas reunidas em consórcio que recebam concessão ou autorização do poder concedente, para produzir energia elétrica destinada ao comércio de toda ou parte da energia produzida, por sua conta e risco” (BRASIL, 1995a).

Apesar da possibilidade de particulares passarem a desenvolver a atividade de geração de energia, apenas brasileiros ou empresas brasileiras de capital nacional poderiam atuar quando se referia a aproveitar o potencial da energia hidráulica, eis que o parágrafo único, do artigo 176, da Constituição da República Federativa do Brasil assim determinava. E o artigo 171, em seu inciso II, trazia que empresa brasileira de capital nacional era a que detinha controle “em caráter permanente sob a titularidade direta ou indireta de pessoas físicas domiciliadas e residentes no País ou de entidades de direito público interno” (BRASIL, 1988).

Essa restrição foi retirada com a Emenda Constitucional n.º 06, de 1995, que revogou o artigo 171, da Constituição da República, e alterou a redação do parágrafo único, do artigo 176, para a possibilidade que “brasileiros ou empresa constituída sob as leis brasileiras e que tenha sua sede e administração no País”, o que permite que capital estrangeiro seja remetido para sua filial no Brasil e explore a atividade de geração de energia (BRASIL, 1995b).

É importante destacar que o setor de energia elétrica é dividido em quatro partes: a geração, transmissão, distribuição e comercialização, sendo possível que a mesma empresa desempenhe mais que uma atividade ao mesmo tempo. E nessa divisão, a transmissão e distribuição não estão disponíveis para a atuação por empresas privadas, sendo um monopólio em virtude que o serviço a ser desempenhado é o transporte da energia da geração para o consumidor

final. Caso houvesse concorrência, o pressuposto seria a multiplicação de estruturas no mesmo local, o que aumentaria custos e poderia atrapalhar o retorno financeiro esperado, algo que desincentivaria o ingresso no setor (PRADO, 2009, p. 3).

Esse monopólio é descrito no parágrafo 1º, do artigo 20, da Lei 9427, de 1996. Esta lei é a que institui a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) (artigo 1º) para “regular e fiscalizar a produção, transmissão, distribuição e comercialização de energia elétrica” (artigo 2º) (BRASIL, 1996).

No Brasil, a produção de energia se dá pelo uso de usinas hidrelétricas, usinas térmicas, usinas nucleares e usinas eólicas, as quais dispõem de múltiplos proprietários. A localização dessas usinas, por vezes, é afastada de cidades, eis que são construídas em locais que favoreçam a captação daquela modalidade de energia. A união entre a geração, transmissão e distribuição é feita por meio do Sistema Interligado Nacional (SIN), que está presente no Sul, Sudeste, Centro-Oeste, Nordeste e grande parte da região Norte. Com esse sistema, é possível levar a energia produzida em uma região do país até o consumidor de outra, conforme a demanda (ONS, 2020a, p. 1).

A coordenação e controle da operação de geração e transmissão de energia elétrica do SIN são executadas pelo Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS), que é fiscalizado pela ANEEL, conforme introduzido pelo artigo 13, da Lei 9648, de 1998. (BRASIL, 1998). O ONS tem que conciliar as inúmeras fontes de energia e a rede de transmissão, para que haja fluxo contínuo de energia no país para atender à demanda requerida naquele exato instante, mas que seja da forma mais otimizada, garantindo que seja entregue a energia de forma segura a todos ao menor preço possível, sem que haja discriminações. Ainda, é seu dever auxiliar para que o SIN se expanda, quando necessário, na forma necessária e menos custosa (ONS, 2020b, p. 1).

A Lei 9074/1995 trouxe a divisão dos consumidores da energia elétrica entre os consumidores comuns e os consumidores livres. Comuns, ou cativos, estão descritos no inciso IV, do artigo 12, e são os consumidores que recebem a energia do concessionário local de distribuição, tendo, como exemplo, o consumidor residencial. Por outro lado, consumidores livres são os que podem negociar a quantidade de energia necessária, bem como o preço a ser pago. Esses podem ser integrantes de complexo industrial ou comercial, estando descritos no

inciso III, do artigo 12, ou consumidores que requeiram uma carga elevada de energia, estando descritos no inciso II, do artigo 12, e artigos 15 e 16 (BRASIL, 1995).

O artigo 16, da Lei 9074, traz que novos consumidores podem contratar a sua energia com qualquer fornecedor, desde que consumam ao menos 3.000 kW. Já os consumidores que possuíam contrato à época da lei deveriam passar por uma regra de transição, que previa que quem consumisse acima de 10.000 kW, atendido em alta tensão, poderia contratar um produtor independente de energia elétrica para fornecer ou aguardar o prazo de 3 anos para adquirir de qualquer fornecedor. Já quem consumia acima de 3.000 mil kW, em alta tensão, deveria aguardar 5 anos para poder escolher e, caso, consumisse acima de 3.000 kW, em baixa tensão, deveria aguardar até 01/01/2019 (BRASIL, 1995).

A corrente de alta tensão ocorre acima de 69 kV, sendo utilizada para a transmissão de energia da geração até o distribuidor, que fica próximo ao consumidor. Essa transmissão requer tal tensão para reduzir as perdas ao longo do caminho e possibilitar que se chegue ao Distribuidor, que recebe a energia e a repassa ao consumidor final. A necessidade desse consumidor deve ser avaliada e, caso requeira uma baixa tensão, como no caso das casas residenciais, a energia é remetida e, antes de ser entregue, passa por um transformador, que abaixa a tensão para o necessário, que em casas residenciais é igual ou inferior a 1 kv (ANEEL, 2018, p. 1) (ARION, [s.d.], p. 1).

A Lei 10848, de 2004, veio para regular a comercialização de energia elétrica e a dividiu entre ambiente de contratação regulada e ambiente de contratação livre (artigo 1º, § 1). O ambiente regulado é destinado aos concessionários, permissionários e autorizados do serviço público de distribuição de energia (artigo 1º, § 2). O ambiente livre se destina aos consumidores já descritos no artigo 15 e 16, da Lei 9074 (BRASIL, 2004).

Deste modo, considerando os benefícios do Sistema Interligado Nacional, é possível que uma fazenda de mineração esteja localizada em uma região do Brasil, como na cidade de Antonina/PR, e contrate sua energia de uma distribuidora situada em São Bento do Norte/RN, a uma distância de mais de 3 mil km.

Todavia, esse grande consumidor de energia responsável pela mineração de criptomoedas possui uma atividade econômica classificada pela

Receita Federal do Brasil? Como é de se supor, a resposta é negativa, eis que se trata de um campo recente e não muito explorado no Brasil.

A Classificação Nacional de Atividades Econômicas (CNAE) é uma obra coletiva, sob coordenação da Secretaria da Receita Federal e atuação do IBGE na orientação técnica, sendo que na Subcomissão Técnica responsável pela elaboração da CNAE há representantes da União, Estados e Municípios (SUBSECRETARIA DE ARRECADAÇÃO E ATENDIMENTO, 2014, p. 1).

O objetivo da CNAE é padronizar nacionalmente os códigos de atividades econômicas, seja na esfera pública ou privada, para que haja unidade no enquadramento realizado pelos inúmeros órgãos da Administração Tributária nacional. O foco se dá na produção de bens e serviços, sendo possível que pessoas físicas e instituições sem fins lucrativos sejam classificadas (SUBSECRETARIA DE ARRECADAÇÃO E ATENDIMENTO, 2014, p. 1).

Essa falta de CNAE é um argumento utilizado por bancos, como o Bradesco, para o encerramento de contas bancárias de *exchanges*, de modo a impedir o funcionamento destas, sob a premissa que a não classificação dificulta a identificação do ramo da *exchange* e pode trazer riscos de utilização desse setor para lavagem de dinheiro, algo que a legislação e as regras de compliance obrigam que os bancos evitem (CADE, 2018, p. 1).

Durante o procedimento preparatório instaurado no Conselho Administrativo de Defesa Econômica (CADE) foi lavrada a nota técnica n.º 39, a qual entende que a falta de CNAE não torna ilegal a atividade, devendo ser ressaltado que as *exchanges* são uma inovação e há um natural lapso temporal até o momento em que o Estado passa a legislar a matéria (CADE, 2018, p. 1).

Esse entendimento da falta de lei não tornar ilegal ou proibida uma atividade é consonante com o texto constitucional, pois o inciso IV, do artigo 1º, traz a livre iniciativa como um fundamento do Estado Democrático de Direito, ao passo que o artigo 5º, em seu inciso XIII, garante o exercício de qualquer trabalho, ofício ou profissão, caso sejam atendidas as requisições legais (BRASIL, 1988).

Apesar de não ser ilegal ou proibida, a falta de CNAE pode dificultar o cotidiano, pois setores com os quais a fazenda de mineração teria que estabelecer uma relação, como o bancário, energético ou de construção civil

para realizar a obra, podem vir a questionar e negar o atendimento, restando ao Poder Judiciário dirimir a demanda.

### 3.1 Evolução do Direito Ambiental

No plano internacional, houve o Protocolo de Genebra em 1925, com a proibição do uso de gases tóxicos e armas bacteriológicas; em 1958 foi assinada a Convenção Internacional para a Prevenção da Poluição do Mar por óleo no seguinte o Tratado da Antártida; em 1963 houve a celebração do acordo sobre o uso de armas nucleares sobre a água, atmosfera e espaço cósmico; na década de 1960 houve a divulgação de relatórios do Clube de Roma, acerca de crises globais, limitações de recursos naturais, falta de alimentos, dentre outros; em 1972 houve a Conferência de Estocolmo, que repercutiu por muitos anos (BARROS, 2015, p. 9-10).

Mas o evento que trouxe luz para a causa ambiental foi a chamada Conferência de Estocolmo, ou Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente Humano, realizada em 1972, na qual os Estados passaram a reconhecer a existência de problemas ambientais, como mudanças climáticas, catástrofes, crescimento econômico acelerado, dentre outros, que demandavam atitudes, ações, incluindo neste rol os países em desenvolvimento que comumente se excluem da responsabilização (PASSOS, 2009, p. 7-8).

Em Estocolmo o Brasil chegou a defender o desenvolvimento industrial com poluição, o que era contrário à maioria dos 112 países representados lá. Mas, a conferência deu frutos, de modo que houve a criação de órgãos responsáveis pela atuação na área, como a Secretaria Especial de Meio Ambiente (SEMA), de 1973, que visava ao avanço legal e a análise e estudo de temas discutidos internacionalmente, sendo que no ano seguinte foi criada a Superintendência de Recursos Naturais e Meio Ambiente (SUPREM) pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), de modo que houvesse uma coleta de dados específica para fomentar o planejamento nacional e regional no uso de recursos naturais (BARROS, 2015, p. 18).

Em 1983, a ONU criou a Comissão Mundial para o Meio Ambiente e Desenvolvimento, presidida pela primeira ministra da Noruega, Gro Brundtland, cujo resultado foi o Relatório Brundtland apresentado em 1987 (PEREIRA JR.,



2002, p. 3). Nesse Relatório, quatro dimensões primárias inegociáveis foram estabelecidas, sendo a proteção da sustentabilidade ecológica a longo prazo, atender às necessidades humanas básicas, bem como promover a equidade intra e intergeracional. Somam-se a essas as dimensões secundárias, como preservação do valor intrínseco da natureza, a promoção da proteção do meio ambiente, fomentar a participação da população e satisfazer as aspirações de uma melhor qualidade de vida. Mas, por serem secundárias, caso se confrontem com as primárias, elas são postas de lado, de tal forma que uma necessidade humana básica, que é primária, se sobressai frente à preservação do valor intrínseco da natureza, assim como uma vida melhor requer que se priorize a sustentabilidade ecológica (HOLDEN; LINNERUD; BANISTER; 2014, p. 131).

Ainda, o Relatório Brundtland trazia definições e conceitos de desenvolvimento sustentável, não o vinculando ao equilíbrio entre objetivos econômicos, sociais e ambientais, como era comum ao fim da década de 1990, mas tratando o meio ambiente e o desenvolvimento. Suas premissas eram o retorno do crescimento, mas de uma forma com mais qualidade, com atenção às necessidades humanas essenciais, sendo assegurado um nível sustentável de população, com conservação e melhoria da base de recursos, utilizando tecnologia e gerenciando possíveis riscos, com decisões sendo tomadas com pensamento em economia e meio ambiente (ZACCAI, 2012, p. 80).

Passados 20 anos da Conferência de Estocolmo, em 1992 foi realizada a Conferência das Nações Unidas para o Meio Ambiente e o Desenvolvimento, também conhecida como Rio 92, eis que se deu no Rio de Janeiro, tendo como enfoque reforçar as discussões de Estocolmo, bem como melhorar os instrumentos para a proteção ambiental internacional. Contando com representantes de 175 países, visou-se à criação de uma aliança cooperativa entre Estados e setores da sociedade, tendo como enfoque buscar o equilíbrio entre o desenvolvimento econômico-social e a preservação ambiental, surgindo o termo desenvolvimento sustentável. (THOMÉ, 2017, p. 43).

Diversos documentos foram produzidos nesta Conferência como a Agenda 21, a Declaração do Rio de Janeiro sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento, a Convenção do Clima, a Convenção sobre Biodiversidade Biológica e Declaração de princípios para Florestas. Porém, eram documentos abstratos, sem impor metas fixas, claras, que obrigassem o cumprimento por

parte dos países, de modo que se demonstrou uma intenção, mas que não obrigava a sua implementação, o que reduz a eficácia (PESSINI; SGANZERLA, 2016, p. 4).

Em 2002 foi realizada em Johannesburgo, África do Sul, a Cúpula Mundial sobre Desenvolvimento Sustentável, para avaliar a implementação da Agenda 21 e outros acordos, cujo resultado foi a reafirmação da importância do Desenvolvimento Sustentável, em busca de maior efetividade (THOMÉ, 2017, p. 45-46).

Em 2012, o Rio de Janeiro foi palco da Rio + 20, também conhecida por Conferência das Nações Unidas sobre Desenvolvimento Sustentável, sendo reforçada a discussão da passagem anterior por esta cidade, bem como instituída a maior responsabilidade de países desenvolvidos para se atingir ao desenvolvimento sustentável. Mas, para progredir não basta apenas a união de países, a sociedade civil e o setor privado devem caminhar ao lado (THOMÉ, 2017, p. 46-47).

No Brasil, há que se ter em mente que os recursos naturais são protegidos a um bom tempo no Brasil, havendo inserção até nas Ordenações Filipinas. Em um plano mais próximo, em 1975 foi promulgado o Decreto-Lei 1.413, que versava acerca do controle da poluição do meio ambiente provocada por atividades industriais, tal qual reclamação acima do Taj Mahal, mas aqui inspirada em cidades como Cubatão/SP e Volta Redonda/RJ (FREITAS, 2014, p. 236 e 241).

Em 1981 veio a Lei 6.938, que estabelece a Política Nacional do Meio Ambiente, com seus objetivos, bem como a constituição do Sistema Nacional do Meio Ambiente, os instrumentos disponíveis desta política. Em seu artigo 6º ela insere estados e municípios como responsáveis pela proteção e melhoria da qualidade ambiental, por meio de controle e fiscalização das atividades, fazendo com que estes também possuam competência para agir (BRASIL, 1981).

A medida que o tema passava a ser mais debatido, a responsabilização passou a ser objeto, o que levou à Lei 7.347, de 1985, que traz os requisitos para a ação civil pública de responsabilidade por danos causados ao meio ambiente, ao consumidor, a bens e direitos de valor artístico, estético, histórico turístico e paisagístico (BRASIL, 1985), surgindo, em sequência, a Constituição da

República Federativa de 1988, com uma carga principiológica, como o princípio intergeracional (BRASIL, 1988).

### 3.2 Legislação brasileira

A Lei 6.938, de 1981, dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente e em seu artigo 6º insere estados e municípios como responsáveis pela proteção e melhoria da qualidade ambiental, por meio de controle e fiscalização das atividades, fazendo com que estes também possuam competência para agir (BRASIL, 1981).

Posteriormente, a Constituição da República Federativa de 1988, além de trazer uma carga principiológica, trouxe em seu artigo 23 como competência comum à União, Estados, Distrito Federal e Municípios a proteção de paisagens notáveis, sítios arqueológicos (inciso III), a proteção ao meio ambiente e o combate à poluição de qualquer forma (inciso VI), a preservação de florestas, fauna e flora (inciso VII) e o registro, acompanhamento e fiscalização das concessões de direitos de pesquisa e exploração de recursos hídricos e minerais (inciso XI) (BRASIL, 1988).

E no artigo 24, inciso VI, foi fixada a competência concorrente da União, Estados e Distrito Federal para legislar acerca da proteção do meio ambiente e controle da poluição, assim como acerca das florestas, caça, pesca, conservação da natureza, defesa do solo, fauna e recursos naturais, o que se alia ao inciso VIII, que prevê legislar sobre a responsabilidade por dano ao meio ambiente, o que demonstra que cada ente não deve se omitir, podendo ir além no cuidado (BRASIL, 1988).

Outro marco importante da Constituição da República foi a previsão do princípio intergeracional no artigo 225, caput, que prevê a preservação para as presentes e futuras gerações do meio ambiente ecologicamente equilibrado, sendo essencial para a qualidade de vida, cabendo a conservação tanto ao Poder Público quanto aos particulares (BRASIL, 1988).

Em 1989 a Lei 6.938, de 1981, foi alterada em seu artigo 6º, para retirar a SEMA como órgão central (inciso II), que passou a ser atribuição do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e Recursos Naturais Renováveis (IBAMA) (inciso

III), o que foi alterado no ano seguinte, para colocar a Secretaria do Meio Ambiente da Presidência da República como central (inciso III), enquanto o IBAMA passou a ser o único órgão executor (inciso IV), recebendo companhia, em 2013, do Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (BRASIL, 1989).

Seguindo a proteção concedida pela Constituição, a Lei 9.605, de 1998, trouxe sanções penais e administrativas caso condutas lesivas ao meio ambiente sejam praticadas, tornando a proteção ao meio ambiente mais efetiva ao forçar a proteção com a coerção da pena (BRASIL, 1998).

Mas, além das normas expressamente previstas há princípios que estão implícitos como o da prevenção, que pode ser localizado no já citado artigo 225 da Constituição Federal (BRASIL, 1988), na medida em que aquele requer a preservação, que haja um cuidado, uma cautelar no agir, e, caso o dano venha a ocorrer, que seja minorado, reduzido, tendo como exemplos o licenciamento ambiental e o estudo de impacto ambiental, que procuram avaliar potenciais problemas e meios de mitigá-los (MACHADO, 2017, p. 119-121).

Outro importante princípio é o do poluidor pagador que de certa forma se conecta ao princípio da prevenção, de modo que o possível poluidor fica ciente que caso não atue com cuidado e venha a provocar um dano, ele será responsabilizado para indenizar ou reparar os danos que causou ao meio ambiente ou a terceiros que foram afetados pelo dano, o que o artigo 14, § 1, da Lei 6938/1981, deixa claro que independe da comprovação de culpa (BRASIL, 1981).

Ainda, o transgressor pode ser multado, perder ou ter reduzidos incentivos e benefícios fiscais, podendo ser suspenso ou excluído de participar de linhas de financiamento ou até ter sua atividade suspensa, como determinam os incisos do citado artigo 14 (BRASIL, 1981).

O artigo 15, da citada lei, traz que é passível de reclusão de 01 a 03 anos e multa, podendo ser aumentada até o dobro caso a fauna, flora e meio ambiente sofram danos irreversíveis ou resulte em lesão corporal grave (BRASIL, 1981).

Indo além, ele prevê o aumento até o dobro caso o momento do ato se dê em feriado, domingo ou a noite, situações que dificultam a descoberta e responsabilização, bem como se o dano resulta de atividade industrial ou de transporte (BRASIL, 1981).

Para reforçar a fiscalização e autuação, o § 2, do artigo 15, prevê que as sanções acima expostas serão aplicadas à autoridade que deveria ter impedido a prática das condutas que resultaram no dano e não o fez (BRASIL, 1981)..

E como os atos podem vir a ser causados por empresas e grandes corporações, a Lei 9605/1998 prevê, em seu artigo 2º, que diretores, administradores, membros de conselho ou órgão técnico, auditores, gerentes, prepostos ou mandatários de pessoa jurídica, que tenham ciência de conduta criminosa cometida por outra pessoa e, podendo evita-la, nada fazem, poderão ser responsabilizados (BRASIL, 1998).

Aliado a este artigo há o artigo 3º, que pune administrativa, civil e penalmente as pessoas jurídicas que tenham representantes envolvidos no ato, de modo que serão punidas as pessoas jurídica e física envolvidas no ato, bem como as que poderiam evitar e não o fizeram (BRASIL, 1998).

O artigo 4º e seguintes, da Lei 9605, enumeram hipóteses de aplicação da pena, seja no cumprimento, agravante ou atenuação, bem como disciplina o cuidado a ser tomado para com a apreensão realizada, enumerando, em continuidade, diversas condutas específicas praticadas contra a fauna, flora, ou poluição e suas modalidades, crimes contra o ordenamento urbano e o patrimônio cultural, contra a administração ambiental, descrevendo, ao fim, as infrações administrativas com seu conceito, rito e prazos, e a possibilidade de cooperação internacional para a preservação do meio ambiente (BRASIL, 1998).

Há que se ter em mente que o princípio do poluidor pagador não visa transformar um possível dano em algo quantificável financeiramente, em uma análise contábil se compensa ou não, eis que além da punição em dinheiro há outras modalidades de punição.

O objetivo é evitar que recursos naturais, normalmente utilizamos de forma gratuita, sejam destruídos ou sofram danos irreversíveis, não caindo tal custo de reparação sobre toda a coletividade que não concorreu para o ato (MENEZES; CARVALHO, 2009, p. 124).

Cabe ressaltar que a Constituição da República trouxe a previsão da função social da propriedade, em seu artigo 5º, inciso XXIII (BRASIL, 1988), que é complementado no artigo 1.228, § 1, do Código Civil (BRASIL, 2002), haja vista que o proprietário não dispõe a faculdade de fazer o que bem entende, devendo usufruí-la de acordo com a finalidade econômica e social, sem se esquecer de

preservar a flora, fauna, o patrimônio histórico e artístico, as belezas naturais, o equilíbrio ecológico, devendo evitar a poluição do ar e das águas, cujas orientações são decorrentes da função ambiental da propriedade (FREITAS, 2014, p. 242).

Nesse sentido, a Constituição da República, em seu artigo 170, prescreve que a livre iniciativa é base para a ordem econômica, que deve seguir a alguns princípios, dentre eles, a defesa do meio ambiente, o que permite que haja tratamento diferenciado na medida do impacto ambiental decorrido pela atividade, por seus produtos e serviços (BRASIL, 1988).

Logo, a atividade deve ser desempenhada de modo a não causar dano ao meio ambiente, sendo preservado um meio ambiente ecologicamente equilibrado, com manutenção das espécies e ecossistemas (BRASIL, 1988). Essa preservação leva a se planejar o uso que será dado a um dado local, de forma a se determinar a sua finalidade de uso, permitindo a instalação de indústrias, a conservação da vida silvestre ou para moradia pelos habitantes (FIORILLO, 2012, p. 242).

Essa destinação do espaço para que o uso e ocupação atenda ao cuidado ambiental atende por zoneamento ambiental, que é um resultado de um planejamento. Caso esse planejamento não seja feito ou não esteja bem estruturado, fundamento, a consequência será um zoneamento inadequado (MACHADO, 2017, p. 242).

A Lei 6938, de 1981, trouxe no inciso II, do artigo 9º, que o zoneamento ambiental é um instrumento da Política Nacional do Meio Ambiente. Essa política deve ter por princípio realizar o controle e o zoneamento de atividades que causem ou venham a causar poluição, como elencado no inciso V, do artigo 2º. Dentro dessa política, o próprio proprietário, seja pessoa física ou jurídica, pode limitar o uso de parte ou da totalidade de sua propriedade, tendo como objetivo a conservação, preservação ou a recuperação dos recursos ambientais. Essa limitação é conhecida por servidão ambiental e será registrada junto ao órgão integrante do Sistema Nacional do Meio Ambiente, ou poderá ser objeto de registro por instrumento público ou particular, conforme preceitua o artigo 9º-A (BRASIL, 1981).

Fundamentada nessa proteção da Política Nacional são elencados espaços territoriais aos quais se dá uma proteção especial por haver inúmeros

atributos ambientais. Esses espaços podem ser divididos em Unidades de Proteção Integral ou Unidades de Uso Sustentável. A Proteção integral almeja a preservação, restringindo o uso para formas indiretas, tem como modalidades integrantes a Estação Ecológica, a Reserva Biológica, o Parque Nacional, o Monumento Natural e o Refúgio de Vida Silvestre. Já as Unidades de Uso Sustentável buscam aliar a proteção ao uso sustentável, tem como opções Áreas de Proteção Ambiental, Áreas de Relevante Interesse Ecológico, Floresta Nacional, Reserva Extrativista, Reserva de Fauna, Reserva de Desenvolvimento Sustentável e Reserva Particular do Patrimônio Natural (FIORILLO, 2012, p. 245-246).

Aos que não se enquadram na proteção especial há o zoneamento ambiental, que identifica as possibilidades de implementação de atividades específicas para cada área, conforme a sua aptidão, auxiliando que políticas sejam formuladas com maior precisão. Essas políticas são pouco utilizadas, apesar de serem de competência da União, Estados, Distrito Federal e Municípios (SANTOS; RANIERI, 2013, p. 45).

O zoneamento se classifica em zoneamento para pesquisas ecológicas, para áreas de proteção ambiental (APA), parques públicos, costeiro e industrial (FIORILLO, 2012, p. 245), sendo que o foco no presente trabalho é dado ao zoneamento industrial, tendo por base a atuação das fazendas de mineração.

O objetivo do zoneamento industrial é fomentar que a atividade industrial seja desenvolvida da melhor forma para minimizar impactos ambientais, aliando desenvolvimento e proteção ambiental (FIORILLO, 2012, p. 604). As áreas podem ser divididas em zonas de uso estritamente industrial, predominantemente industrial ou de uso diversificado, conforme elencado no § 1, do artigo 1, da Lei 6803, de 1980, que versa especificamente acerca do zoneamento industrial (BRASIL, 1980).

A zona de uso estritamente industrial está descrita no artigo 2º, da Lei 6803, e tem como objetivo tratar, preferencialmente, de estabelecimentos “cujos resíduos sólidos, líquidos e gasosos, ruídos, vibrações, emanações e radiações possam causar perigo à saúde, ao bem-estar e à segurança das populações”. Essas atividades, pelo risco que trazem, continuam restritas a essas áreas, por mais que apresentem métodos para controlar e tratar efluentes (BRASIL, 1980).

A indicação de zona com esta finalidade não pressupõe uma eleição de um perímetro no qual seja possível poluir. É a verificação do local em que o tratamento correto dos resíduos da atividade cause um menor dano ambiental. E ao mesmo tempo que a lei restringe essas atividades a essa zona, ela impede que atividades não essenciais ao funcionamento desses estabelecimentos sejam instaladas, o que impossibilita, por exemplo, que escolas e casas sejam fixadas ali (MACHADO, 2017, p. 265-266).

O artigo 3º, da Lei 6803, trata da zona de uso predominantemente industrial, que é destinada à instalação, preferencialmente, de indústrias que disponham de métodos de controle e tratamento de efluentes e “não causem incômodos sensíveis às demais atividades urbanas e nem perturbem o repouso noturno das populações” (BRASIL, 1980).

Como a lei trata por predominância industrial, não há uma exclusão das demais atividades, conforme ocorre nas zonas estritamente industriais. E é necessário que haja dentro do perímetro áreas de proteção ambiental, com intuito de mitigar eventuais efeitos da poluição ou risco de acidentes (FIORILLO, 2012, p. 605).

A última divisão se refere ao uso diversificado, no qual o processo produtivo complementa e é compatível com as atividades da área, seja em meio urbano ou rural. Esse uso não deve ocasionar inconvenientes à segurança da população vizinha, ao bem-estar e à saúde, independentemente do uso de formas para controlar a poluição, como descreve o artigo 4º, da Lei 6803 (BRASIL, 1980).

A divisão acima exposta orienta aos novos empreendimentos acerca do local para instalação. Todavia, devem ser realocados aqueles que já se encontram instalados em áreas que permitiam e passaram a vedar, não havendo um direito adquirido de permanecer no local. Tampouco seria uma cabível indenização pela alteração forçada, pois não há como ser reconhecido um direito a poluir em um local que se busca a proteção ambiental. Cenário parecido ocorre quando há o processo de renovação de licenças ambientais e se constata que não há o cumprimento de determinados requisitos, o que pode levar ao encerramento das atividades naquele local (FIORILLO, 2012, p. 606).

Logo, a mineração deve se instalar em locais que sejam adequados a sua realidade, seja em zona predominantemente industrial ou estritamente



industrial, conforme a análise a ser feita do projeto. Não há como realizar a instalação em um prédio em desuso no centro da cidade.

Outro instrumento da Política Nacional do Meio Ambiente é a avaliação de impacto ambiental (AIA), que requer a realização de diversos procedimentos para que se possa avaliar os prováveis impactos ambientais que venham a ser causados por aquele projeto analisado. Essa avaliação pode verificar os efeitos ecológicos e sociais da atividade a ser implementada, bem como os impactos que podem advir da fiscalização e controle dessa atividade, por parte do Poder Público e pela sociedade (PADILHA, 2010, p. 139).

A AIA foi alçada como instrumento nacional pelo Princípio 17, da Declaração Rio/92 e a decisão acerca da autorização ou não a se implementar a atividade recai sobre uma autoridade nacional competente. Ela se aplica a projetos públicos ou privados, seja industrial ou não, não importando se em áreas cuja poluição possa ser um problema ou áreas específicas para redução de impactos. Não há, sequer, a necessidade de a atividade trazer um resultado físico, como uma construção, podendo ser implementada a avaliação para projetos e políticas que venham a ser implementadas (GRANZIERA, 2009, p. 280).

Essa avaliação é prévia ao início das atividades, não podendo ser posterior, eis que dessa forma haveria análise dos resultados, bons ou ruins, da ação sobre o meio ambiente. E para que não haja incorreto entendimento, a avaliação é gênero, ao qual adentram diversos institutos, tais quais o Estudo de Impacto Ambiental, o Estudo de Impacto de Vizinhança ou o Relatório Ambiental Preliminar (MILARÉ, 2013, p. 740).

Por meio da AIA será possível verificar, de forma precisa, se a atividade que se propõe executar é viável ambientalmente nos termos expostos no projeto. Nessa análise é possível que sejam apontadas alterações que venham a reduzir ou cessar os riscos ou que sejam estabelecidas medidas compensatórias ao dano que vier a ser praticado, tendo como objeto que seja evitada a degradação ambiental (GRANZIERA, 2009, p. 280-281).

A AIA faz com que o meio ambiente seja um fator primordial de análise em qualquer projeto ou atividade que venha a cogitar implementar, podendo ser o motivo para a negativa do prosseguimento. E há que se recordar que a primeira vez que a AIA foi regulada ocorreu por meio da Resolução n.º 01, de 1986, do

CONAMA, em uma época anterior à atual Constituição da República Federativa de 1988, quando vigia a Emenda Constitucional de 1969, que não possuía a proteção ambiental como mote (MILARÉ, 2013, p. 741).

Uma das possibilidades do AIA é o Estudo Prévio de Impacto Ambiental (EPIA), um instrumento tão importante que quando a Constituição da República de 1988 trata da proteção ao meio ambiente, em seu artigo 225, ela exige, em seu § 1, inciso IV, que seja realizado o estudo para a realização de obra ou atividade potencialmente causadora de significativa degradação (PADILHA, 2010, p. 143).

O antigo Estudo de Impacto Ambiental (EIA), agora chamado de EPIA, está presente dentro do processo de licenciamento ambiental, sendo um detalhamento no processo. Ele foi descrito, em um primeiro momento, na Resolução n.º 01, de 1986, do CONAMA, oportunidade na qual era exigido EIA e o relatório de impacto ambiental (RIMA) para licenciar atividades modificativas do meio ambiente, o que é amplo, pois qualquer ação pode resultar nessa modificação. A Constituição de 1988 tratou do tema para alterar essa necessidade para quando a atividade pudesse vir a causar uma significativa degradação ambiental, sendo dispensado nos demais (GRANZIERA, 2009, p. 283).

Ao ser implementado um EPIA e cujo resultado da análise seja favorável ao projeto proposto, a autoridade deve conceder a licença ambiental para que a atividade se desenvolva, de modo que a licença, nesse caso, se torna um ato vinculado para a autoridade, que perde sua discricionariedade. Todavia, caso o estudo apresente resultado negativo, seja em parte ou no todo, a Administração deverá avaliar se nega o pedido ou se fornece a licença ambiental, pautada em critérios de conveniência e oportunidade, mas de forma fundamentada, pois o meio ambiente deve ser preservado, mas há que se recordar que o desenvolvimento sustentável também deve ser implementado (FIORILLO, 2012, p. 224).

EPIA e RIMA estão conectados, mas são distintos, pois no primeiro há uma abordagem mais ampla, ao trazer o entendimento legal e da literatura científica acerca do tema, o que é coadunado com trabalhos de campo, análises realizadas em laboratório, cujo resultado será o RIMA, que não poderá trazer

conclusões distintas do material levantado pelo EPIA (MACHADO, 2017, p. 282-283).

O EPIA deve conter o diagnóstico ambiental da área de influência do projeto, a análise dos impactos ambientais, a definição das medidas mitigadoras e um programa de acompanhamento e monitoramento dos impactos ambientais. O RIMA deve trazer as justificativas e objetivos do projeto analisado, bem como a sua descrição, sendo realizada uma síntese do diagnóstico ambiental da área, com os impactos ambientais sendo descritos. Deve ser realizada uma comparação entre a realização ou não do projeto na área, contendo descrição daquilo que se espera das medidas que reduzam o risco, assim como o controle e monitoração dos impactos, culminando com a recomendação sobre a atitude a ser tomada (MILARÉ, 2013, p. 765-767).

Outro instrumento da Política Nacional do Meio Ambiente é o licenciamento ambiental, descrito no artigo 9º, inciso IV, da Lei 6938. A atividade que utiliza de recursos ambientais, que causem poluição ou possam vir a causar, ou que de alguma forma, ainda que mínima, possam degradar o meio ambiente, deve passar por licenciamento prévio para que seja analisada a construção, instalação, ampliação e seu funcionamento (artigo 10º, da Lei 6938) (BRASIL, 1981).

Nesse processo o Poder Público deve analisar ao pedido do interessado para avaliar se há compatibilidade entre a preservação do equilíbrio ecológico e o desenvolvimento econômico. Esse liame é complexo e não se pode favorecer um em detrimento de outro, sob pena de não ser possível recuperar um bem de todos, que é o meio ambiente, ou impedir que toda uma coletividade se desenvolva e adquira sustento para sua vivência (MILARÉ, 2013, p. 777-778).

Por ser descrito como um poder de polícia, a Administração deve priorizar o interesse público frente ao particular e com esse mote é que, de forma prévia, analisará como proteger ao meio ambiente, de modo a reduzir danos e degradação ambiental (PADILHA, 2010, p. 148).

O resultado do licenciamento deferido é a concessão de um alvará ambiental, que pode ser por meio de uma licença ou autorização. Quando for licença, o Poder Público concede direitos ao particular, não podendo revogar esse alvará a qualquer tempo, devendo ser precedido de processo que assegure a ampla defesa e contraditório, assim como o pagamento de eventual

indenização. A autorização pode ser revogada a qualquer instante por ser pautada na conveniência e oportunidade (ANTUNES, 2013, p. 198).

O licenciamento é marcado por diversas etapas, podendo requerer a manifestação de diversos órgãos, devendo ter em seu bojo a juntada de estudos que analisem o pedido, podendo ser necessário que EIA e RIMA sejam juntados quando for constatado um significativo impacto ambiental (MILARÉ, 2013, p. 779).

Após o pedido do interessado, o órgão ambiental competente deve verificar qual material ou estudo será necessário para iniciar o processo. A seguir, o interessado colaciona documentação e estudos, aos quais se dá publicidade para análise pela comunidade. O órgão ambiental competente analisa o material recebido, podendo requerer novos documentos ou diligências por uma única vez, sendo feita exceção caso a dúvida não seja sanada, o que permite a reiteração desse ponto. Então pode se seguir audiência pública e a determinação de esclarecimentos motivados pela audiência pública. Ao final, um parecer técnico e/ou jurídico é emitido para deferir ou indeferir o pedido, com a devida publicidade da decisão (GRANZIERA, 2009, p. 294-295).

As alterações de normas e padrões para implantação, bem como que versem acerca do acompanhamento e fiscalização do licenciamento são de competência do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e Recursos Naturais Renováveis (IBAMA), que as propõe ao Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) (artigo 11, Lei 6938) (BRASIL, 1981).

Além de propor as alterações acima elencadas, ao IBAMA compete promover o licenciamento de empreendimentos e atividades que causem significativo impacto ambiental no país ou em âmbito regional quando estejam em terra indígena, em unidades de conservação, no mar territorial, na plataforma continental, em bases militares, ou quando se situem ou sejam desenvolvidas em dois ou mais estados, bem como quando os impactos ambientais ultrapassem os limites nacionais ou de um ou mais estados, conforme trazido pelo artigo 4, da Resolução 237, de 1997, do CONAMA (BRASIL, 1997).

Seguindo a mesma regra, o artigo 5º, da citada Resolução versa que caso a localização ou impacto se dê entre municípios ou unidades de conservação ou domínio estadual ou do Distrito Federal, a competência para o licenciamento será do órgão ambiental estadual. É possível, ainda, que as

atividades sejam de competência federal e, por tanto, do IBAMA, mas a União a delega aos Estados e Distrito Federal, passando a ser do órgão estadual (BRASIL, 1997).

O artigo 6º, da resolução, destina ao órgão ambiental municipal a incumbência quando houver impacto ambiental local ou houver delegação do Estado, devendo IBAMA e os órgãos ambientais estaduais serem consultados (BRASIL, 1997).

Constata-se, assim, que há um rol de atos administrativos que prezam pelo cuidado ao meio ambiente, os quais devem ser observados para que um empreendimento possa avançar em seu projeto de forma prévia à construção. Logo, o Direito atua de forma a evitar previamente um eventual dano referente a um consumo excessivo de energia.

Estabelecida a questão referente à liberação para a construção da fazenda de mineração, estando ela concluída, é o momento de recordar que essa atividade mantém milhares de equipamentos de informática ligados constantemente. Eles, por si só, já produzem ruído, que é acrescentado pelo sistema de refrigeração necessário para manter a temperatura controlada para evitar que os equipamentos sobreaqueçam e parem de funcionar.

O ruído pode resultar em medidas extremas, como nas cidades de Follum, Honefuss e Dale, na Noruega, que foram escolhidas para a instalação de fazendas de mineração, o que deixou alguns residentes descontentes com o barulho, sendo que um deles passou a realizar ameaças de bomba (FENECH, p. 1).

Dentro da fazenda de mineração há o ruído e pode haver calor, como no das instalações de brasileiros no Paraguai, que por receio de contratar mão de obra especializada para a climatização e ter segredos desvendados optaram por realizar adaptações, tornando o ambiente muito quente (JAKITAS, 2017, p. 1).

Esses relatos trazem a poluição sonora, que requer que seja feita a diferenciação entre som e ruído. O primeiro se dá com a captação pelo ouvido de uma variação de pressão em algum meio, como água ou ar. O ruído é um som que para o ouvinte é desagradável, perturbador, indesejável, o que pode ser subjetivo, conforme a pessoa que está avaliando (FIORILLO, 2012, p. 325).

O inciso III, do artigo 3º, da Lei 6938, descreve que há poluição quando atividades, de forma direta ou não, causam a degradação da qualidade

ambiental, com prejuízos à saúde, à segurança e ao bem-estar ou quando as condições estéticas ou sanitárias do meio ambiente são afetadas, ou a biota seja afetada de forma prejudicial, ou quando as atividades sociais e econômicas sofram condições adversas ou os padrões ambientais fixados não sejam observados no lançamento de matérias ou energia (BRASIL, 1981).

O ruído pode causar diversos efeitos na população, como a perda da audição, alteração no sono, na saúde, comunicação prejudicada, redução de qualidade na execução de tarefas, dentre outros (MACHADO, 2017, p. 821-822). Estresse, distúrbios mentais, físicos e psicológicos podem ser desenvolvidos quando há níveis moderados de ruído prolongado, sendo que a pressão arterial pode ser alterada, tal qual o funcionamento de diversos órgãos, como estômago e intestino (FIORILLO, 2012, p. 326).

A Resolução n.º 01, de 1990, do CONAMA, trata dos padrões da emissão de ruídos das mais diversas atividades, inclusive das industriais (BRASIL, 1990). Ela é complementada pela Norma NBR 1015, que traz critérios definidos para avaliar o ruído em áreas habitadas. Em áreas de sítio e fazendas, no campo, o nível de ruído máximo é de 40 decibéis ao dia e 35 decibéis à noite, o que vai sendo aumentado conforme a destinação da área, como no caso se uma área mista, mas com predominância de casas, cujos valores passam para 55 e 50 decibéis, chegando 70 decibéis diurno e 60 noturno quando em área predominantemente industrial (ABNT, 2000, p. 3).

Os ruídos da indústria afetam à vizinhança e ao meio ambiente, assim como ao meio ambiente de trabalho. Os vizinhos de locais conhecidos como fonte de poluição sonora devem buscar mitigar o dano, o que requer que haja o emprego de materiais e mecanismo que evitem a entrada de som, não sendo apenas uma conduta do poluente. E o poluente, ao afetar ao vizinho em sua propriedade, está lhe tirando a livre disponibilidade sobre o bem, não podendo ser exercido seu potencial pleno, o que faz com que a atividade econômica cause danos ao meio ambiente, justamente o oposto do esperado (MACHADO, 2017, p. 835).

Além do Direito atuar de forma prévia, constata-se que ele pode atuar durante o funcionamento da atividade, ao promover fiscalização acerca do cumprimento daquilo que havia sido informado e autorizado. Na mineração de criptomoedas, em caso de constatação de eventual poluição como a ocasionada

pelo ruído, pode vir a requerer que o Direito atue, podendo impor sanções, multas ou a cassação do alvará de funcionamento da atividade.

O descrito nesse subcapítulo aborda a legislação brasileira e é importante que a legislação internacional também seja abordada, pois as criptomoedas e a *Blockchains* são utilizadas nos mais diversos países, como já demonstrado no subitem 2.3.

### 3.3 Agenda 2030

No plano internacional há a Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável, aprovada em 25 de setembro de 2015 pela Assembleia Geral da Organização das Nações Unidas (ONU) com os Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS). Ela visa proteger as pessoas, o planeta, a prosperidade, além da paz mundial e liberdade. A esse rol se acrescenta a erradicação da pobreza, que é o fator primordial para que se alcance o desenvolvimento sustentável (ONU, 2015, p. 1).

Ela vem em continuidade aos Objetivos de Desenvolvimento do Milênio (ODM), formulados em 2000, para o período de 2001 a 2015. Eles ansiavam por um compromisso de todos contra a pobreza, com o reconhecimento de uma responsabilização coletiva em respeitar e defender mundialmente os princípios da igualdade, equidade e dignidade humana. O plano era criar condições para o desenvolvimento e a eliminação da pobreza, com países desenvolvidos e em desenvolvimento atingindo os objetivos, os quais eram mais requeridos nesses últimos (MATÍES, 2016, p. 99).

Na Cúpula do Milênio, 189 nações e 23 organizações internacionais acordaram com o cumprimento de diversos objetivos e metas para melhorar as condições de vida, especialmente daqueles mais pobres. Na extrema pobreza se encontravam aproximadamente 1 bilhão de pessoas, que não possuíam alimentação adequada e água potável, bem como cuidados essenciais para a saúde e sobrevivência (NAÇÕES UNIDAS BRASIL, 2015, p. 1).

Haja vista o viés concentrado aos países em desenvolvimento, os ODM estavam voltados para os países do Sul, de modo que os países desenvolvidos e localizados no Norte deveriam atuar para melhorar as condições no Sul pobre

e em desenvolvimento. Já ODS não se destinam a uma única região, sendo globais (MATÍES, 2016, p. 99).

A Agenda 2030 é composta por 17 objetivos de Desenvolvimento Sustentável e 169 metas, com intuito de desenvolver os ODM e completar os que não foi possível concluir. São objetivos que se complementam, atuando em conjunto e de forma indivisível, com estrutura nos eixos econômicos, sociais e ambientais (ONU, 2015, p. 1).

Há que se ressaltar que a agenda é um pacto internacional de concordância com os objetivos, uma vontade política manifestada pelos membros das Nações Unidas. São metas ambiciosas para orientar políticas a serem implementadas, tendo a proteção ambiental como um dos motes e o desenvolvimento aliando economia a sustentabilidade. Todavia, não há uma obrigatoriedade jurídica no cumprimento, não havendo sanções a serem adotadas caso uma nação deixe de observar aos ODS (DENNY; PAULO; CASTRO, 2017, p. 123).

Quando se está frente à ordem ambiental internacional não há uma entidade superior a todos os países que exija o cumprimento das obrigações assumidas e que tenha coerção para tal ato. Depende-se muito de a discussão ter sido internalizada na legislação para que se possa tomar alguma providência. E meio ambiente e os recursos naturais não possuem fronteiras que limitem seus danos e efeitos aquele país que adota postura contrária à preservação. Essa interligação, conexão entre todos faz com que a não concordância de um país possa dificultar que metas globais sejam alcançadas (MILARÉ, 2013, p. 1574-1575).

Na causa ambiental, observa-se um aumento na frequência e intensidade de desastres ambientais, aliado ao esgotamento de recursos naturais e impactos diversos, tais quais a desertificação, degradação do solo, redução da biodiversidade, seca e escassez de água doce (ONU, 2015, p. 5).

Apesar de todos os 17 objetivos serem de suma importância, apenas alguns deles possuem pertinência com o tema aqui tratado, de modo que a eles se dará destaque em detrimento dos demais.

O objetivo de n.º 7 versa acerca da energia limpa e acessível, tendo como intenção assegurar o acesso confiável, sustentável, moderno e a preço acessível à energia para todos (ONU, 2015, p. 14).



Nesse objetivo se almeja que em 2030 haja acesso universal a serviços de energia, cuja matriz energética deve ver a participação de energias renováveis crescerem de forma considerável. Além disso, a eficiência energética deve ter a sua taxa global dobrada. Para atingir tais expectativas, a cooperação de todos é muito importante ao compartilhar melhorias implementadas e pesquisas em andamento que versem acerca de eficiência energética, energias renováveis, meios de desenvolver energia limpa, bem como a promoção de investimentos em infraestrutura nesse setor (ONU, 2015, p. 19).

Essas pesquisas e melhorias devem sair do plano teórico e ir ao prático, com a efetiva expansão da infraestrutura e com o uso de tecnologia mais moderna e sustentável no setor energético de todos os países em desenvolvimento, ainda que menos desenvolvidos (NAÇÕES UNIDAS BRASIL, [s.d]a, p. 1).

Assim como os demais países podem requerer de um país o cumprimento deste objetivo, é possível que este país cobre que uma dada empresa, como uma fazenda de mineração, busque melhorar sua eficiência energética por meio de investimentos em equipamentos computacionais ou novas técnicas de refrigeração, que causem a redução do consumo.

A indústria é tema do objetivo n.º 9, que espera infraestruturas resilientes, com industrialização inclusiva e sustentável, com foco na inovação. Aqui se espera que a indústria passe a rever seu funcionamento para atingir, por meio da eficiência, a sustentabilidade. Essas melhorias devem saber racionalizar o uso dos recursos e se utilizar mais da tecnologia para conseguir tornar os seus processos industriais ambientalmente mais adequados (ONU, 2015, p. 20).

Com esse objetivo, a fazenda de mineração deve perquirir a inovação para que haja uma redução no uso de recursos. Quanto à inclusão, esse setor apresenta uma empregabilidade baixa (ver subitem 2.3.3), visto que é eminentemente dependente de equipamentos computacionais, o que acaba por não ser inclusivo. Porém, uma boa sugestão para o cumprimento do objetivo seria tornar os residentes uma mão de obra especializada para a resolução de problemas ocorridos nos equipamentos computacionais.

O objetivo de n.º 12 busca assegurar que produção e consumo sejam realizados de forma sustentável. Para isso, os países desenvolvidos devem liderar um plano válido por 10 anos que discorra acerca de programas referentes

à produção e ao consumo, ambos em um viés sustentável. Para essa meta, em 2030 se almeja ter uma gestão sustentável e que saiba utilizar os recursos naturais de forma eficiente (ONU, 2015, p. 22).

Os produtos químicos e os resíduos devem ser tratados de forma ambientalmente correta, ao longo de toda a cadeia de uso, o que possibilita mitigar eventuais impactos ambientais e sobre a saúde da população. Além do cuidado no manejo, os resíduos devem ser reduzidos, seja por meio do reaproveitamento, dando uma destinação a algo que se perderia, ou por meio da prevenção (NAÇÕES UNIDAS BRASIL, [s.d]b, p. 1).

Nesse objetivo as empresas, não importando seu tamanho, mas com atenção principal às maiores, devem ser buscar realizar alterações que possibilitem que a atividade se torne mais sustentável. Essas alterações, bem como dados referentes à implementação da sustentabilidade devem ser constar nos relatórios publicizados (ONU, 2015, p. 22).

Outra medida primordial é a avaliação acerca da manutenção de eventuais subsídios a combustíveis fósseis, que levam a um incentivo ao seu uso discriminado e afetam ao mercado. Os impactos ambientais desse setor devem ser vistos com base nas condições e necessidades de cada país, para que se compreenda se o subsídio não favorece um dano ambiental, assim como se a retirada dele não afete a pessoas pobres (ONU, 2015, p. 23).

O objetivo de n.º 17 almeja que os meios de implementação sejam reforçados e que haja uma parceria global em prol do desenvolvimento sustentável. Ele aborda as finanças, tecnologia, capacitação, comércio e questões sistêmicas. Na área tecnológica há a pretensão em melhorar a cooperação dos países desenvolvidos para os em desenvolvimento e entre países em desenvolvimento. O conhecimento deve ser disseminado para que haja acesso mais fácil à tecnologia. Mas ela deve ser ambientalmente correta aos países em desenvolvimento, o que permite que haja diferenciação para com os países desenvolvidos (ONU, 2015, p. 26).

Os ODS são importantes para que uma mentalidade seja alterada, que se consigam alcançar ou proteger os bens que são objeto, tal qual ocorreu com os ODM, que viu redução à metade o número de pessoas desnutridas e as que vivem na pobreza extrema. Água potável é acessível a 91% da população, enquanto que o número de celulares cresceu aproximadamente 10 vezes, com

acesso à internet aumentando de 6% para 43% (NAÇÕES UNIDAS BRASIL, 2015, p. 1).

A Agenda 2030 não prevê sanções a quem não alcançar as metas estipuladas, sendo um acordo de intenções com a esperança que haja o adimplemento do estabelecido e que todos sejam beneficiados ao final.

O que se espera é que esteja presente a cooperação entre os países, com vontade de solucionar os problemas, pois há interdependência na esfera ambiental e a união de esforços é o que possibilita o avanço, não sendo possível aceitar que um ambiente que foi formado em milhares de anos sucumba em um curto período em virtude da falta de diálogo e acordo (MILARÉ, 2013, p. 1575-1576).

Ao trazer para a temática da mineração de criptomoedas, a Agenda 2030 pode servir para que um eventual país requeira providências de uma eventual fazenda de mineração lá situada.

## CONCLUSÃO

As criptomoedas são um campo novo trazido pela tecnologia, o qual aos poucos vem sendo cada vez mais aplicado. Mas, a abordagem dada costuma se preocupar com o aspecto econômico dessa inovação, deixando-se de lado a questão socioambiental que também permeia o assunto, o que requer um estudo que se dedique a enfrentar esse lado inexplorado e negligenciado.

A Dissertação de Mestrado teve como objetivo geral tratar como Direito e o setor de mineração de criptomoedas podem agir frente ao consumo de energia ocasionado pelas criptomoedas.

Para responder à questão o trabalho foi dividido em três capítulos, sendo que o primeiro analisou a *Blockchain*, para que se compreendesse sua origem, do que se trata, sua composição estrutural, os princípios implícitos que o fundamentam e as variações existentes.

O uso da *Blockchain* foi alçado à fama com as criptomoedas, que se utilizam dele para armazenar suas transações e garantir seu funcionamento. Logo, dentro do primeiro capítulo se trata, ainda, das criptomoedas, com especial atenção ao Bitcoin, eis que é o utilizado e valioso dentre elas. Nesse estudo das criptomoedas se faz distinção entre elas e as moedas tradicionais, ou *flat*, bem como se descreve os meios para se obtê-las, armazená-las e os riscos inerentes.

Com o conhecimento de *Blockchain* e criptomoedas, o trabalho, em seu segundo capítulo, descreve e explica a mineração de criptomoedas, que conecta *Blockchain* e criptomoedas. Nesse capítulo se verificou quem seria esse profissional, a remuneração auferida e o mecanismo de consenso que permite promover a escolha do responsável por validar a transação de criptomoeda na *Blockchain*.

O mecanismo de consenso do Bitcoin requer um alto poder computacional, o que demanda que milhares de equipamentos de informática estejam ligados continuamente, resultando em um alto consumo energético. Isso leva à análise do quanto se consome e da localização de tais mineradores.

A partir do conhecimento sobre os locais onde se situam as fazendas de mineração de criptomoedas, foi possível buscar a fonte energética empregada para sustentar esse consumo, eis que é possível a matriz energética

do país se pautar majoritariamente em uma direção e a fonte utilizada pelo setor de criptomoedas se utilizar de outros meios, como desvendado no caso chinês.

Reunidas essas informações é que se chegou ao terceiro capítulo, mais especificamente à relação do Direito com a tecnologia, com abordagem inicial referente ao setor energético brasileiro, para se compreender como o setor está estruturado e como uma fazenda de mineração se enquadraria com relação a sua demanda.

A atividade de mineração de criptomoedas é recente, o que levou à análise da sua classificação dentre as atividades trazidas pela Receita Federal. A importância dessa observação decorre dos problemas enfrentados pelas *exchanges*, visto que até o presente momento não há uma classificação para as criptomoedas, o que pode atrapalhar a atividade de mineração.

Estabelecido esses conhecimentos se adentrou ao Direito Ambiental, área de concentração escolhida dentro do Programa de Pós-Graduação em Direito da PUCPR. Iniciou-se com a evolução legislativa para demonstrar como o entendimento foi sendo alterado a cada época, resultando em diversas leis e tratados internacionais.

Essas mudanças internacionais são replicadas em solo pátrio, fomentando alterações no ordenamento nacional, demonstrando que o meio ambiente alçou um *status* que permitiu estabelecer princípios constitucionais, como o princípio da prevenção.

A legislação nacional fomenta a iniciativa privada, o desenvolvimento, mas requer que ele se dê em complemento ao meio ambiente, de forma que a prevenção trouxe o zoneamento das regiões, fomentando estudos acerca da indicação adequada de uso para cada área e, portanto, impactando na localização das fazendas de mineração

Vencida a etapa acerca da localização das fazendas de mineração, a legislação requer que a atividade de mineração só possa ser iniciada a partir da instalação de diversos instrumentos a serem deferidos, coadunando com a prevenção. A Avaliação de Impacto Ambiental, o Estudo Prévio de Impacto Ambiental e o seu Relatório de Impacto Ambiental servem de alicerce para que seja verificado, por meio de um processo de licenciamento ambiental, se a atividade não trará danos ambientais ou de que forma é possível mitigá-los, como no caso da poluição sonora.

No plano internacional trabalhou-se a partir da Agenda 2030, um acordo que traz os Objetivos do Desenvolvimento Sustentável. Dentre os objetivos há alguns que, indiretamente, requerem a observação pelos países quando ao cumprimento por parte das fazendas de mineração, como os relacionados à energia, inovação e desenvolvimento sustentável.

Os objetivos foram alcançados com o detalhamento dos temas de estudo, sendo compreendida a correlação entre *Blockchain* e criptomoedas, operadas pelo minerador, em um sistema que demanda um alto consumo energético. A legislação brasileira e as fontes internas foram analisadas, de modo a construir o arcabouço jurídico para aliar o desenvolvimento do setor de mineração de criptomoedas à proteção ambiental.

A hipótese lançada era que tanto o Direito quanto o setor de mineração de criptomoedas apresentam meios de reduzir os efeitos socioambientais causados pelas criptomoedas. Abordar a *Blockchain* e sua relação com as criptomoedas tornou possível compreender sobre o papel do minerador e sobre o mecanismo de consenso utilizado.

Na parte jurídica o trabalho propiciou o estudo relacionado ao setor energético, com pinceladas referentes à classificação das atividades descritas pela Receita Federal. Posteriormente, o Direito Ambiental foi visto para trazer os instrumentos jurídicos aplicáveis.

Tendo por base esse cenário legal no setor energético, verifica-se que é possível uma empresa estrangeira abrir uma empresa no Brasil para minerar criptomoedas, desde que seja constituída sob a égide das leis brasileiras e atue em solo pátrio, conforme alteração promovida pela Emenda Constitucional n.º 06/1995.

A premissa do alto consumo advindo de uma fazenda de mineração enquadra essa categoria de empresa como uma grande consumidora de energia, sendo, portanto, conforme o artigo 16, da Lei 9074, uma consumidora livre para escolher o seu fornecedor, permitindo que se perquiria aquele que poderá ofertar a demanda a ser consumida por um preço mais vantajoso.

E essa busca pode se dar em praticamente todo o território brasileiro, eis que o Sistema Interligado Nacional possibilita a geração de energia no Ceará para uma determinada instalação de fazenda de mineração no Rio Grande do

Sul, não requerendo que aquela específica unidade de energia produzida seja remetida ao comprador.

Como já relatado no item 2.2, as fazendas de mineração podem buscar construir suas instalações na proximidade das fontes geradoras, sendo possível construir uma unidade para a geração da sua própria energia, podendo se utilizar do produto para seu inteiro consumo ou ofertar ao mercado como um produtor independente de energia elétrica, nos termos do artigo 11, da Lei 9074.

A instalação dessa nova empresa deve se ater ao zoneamento proposto pela Lei 6803, de 1980, que pode ser em zona de uso estritamente industrial ou em zona de uso predominantemente industrial. Tais zonas devem ser analisadas com base no projeto de empresa a ser apresentado e nas formas empregadas para mitigar eventuais danos, dentre os quais se destaca o ruído contínuo gerado pelos equipamentos de computação constantemente ligados e pelo sistema de refrigeração.

Na esfera ambiental o estudo verificou que houve diversos avanços legais, passando por diversos acordos, como a Conferência de Estocolmo, o Relatório Brundtland, a Rio 92, a Agenda 21 e a Rio+20. A legislação pátria acompanhou tais progressos e alçou o meio ambiente a um papel de destaque, com determinação pela sua preservação e proteção.

Os instrumentos jurídicos criados, como a Avaliação de Impacto Ambiental, o Estudo de Impacto Ambiental, o Relatório de Impacto Ambiental e o Licenciamento Ambiental, atuam de forma primordial na prevenção ao dano ambiental, na medida em que apenas uma obra ou atividade que cumpra com a proteção ambiental e a mitigação de danos poderá ser liberada para iniciar sua instalação.

Dessa forma, a fazenda de mineração deve atentar a todos esses estudos para que seja autorizada a iniciar o trabalho, de modo que não traga danos. E nessa área específica, pode não haver o despejo de metais em um rio ou poluição por meio de fumaça, mas há a poluição sonora, a qual requer a devida atenção.

A contribuição para a melhoria em face do meio ambiente também pode vir do setor de mineração de criptomoedas, ao trocar o mecanismo de consenso *Proof-of-Work* por *Proof-of-Stake*, o que resulta no decréscimo de consumo energético em face às particularidades decorrentes de cada um dos

mecanismos. A própria continuidade da inovação, no desenvolvimento de mecanismos de consenso por meio de algoritmos menos dispendiosos, pode necessitar de equipamentos de computação mais eficientes, demandando menos energia.

Ao se falar no alto consumo energético é importante pontuar que o consumo deve preferencialmente ser oriundo de fontes renováveis de energia, o que gerará menor impacto ambiental ao aliar o desenvolvimento econômico à sustentabilidade ambiental, um liame difícil de se atingir caso se decida apenas pelo custo financeiro dispendido com a energia, sem analisar os efeitos decorrentes de tal decisão.

Considerando o exposto, o Direito e o setor de mineração de criptomoedas dispõem de meios para reduzir os danos socioambientais que possam vir a ser causados, respondendo afirmativamente ao problema proposto. Assim, a hipótese inicialmente proposta foi confirmada, pois tanto o Direito quanto o setor de mineração de criptomoedas possuem meios para mitigar eventuais danos socioambientais oriundos da mineração de criptomoedas e de seu alto consumo energético.

Com a pesquisa se verificou que o cenário inicialmente tenebroso é parcialmente verdadeiro, visto que na China já se utilizam majoritariamente fontes renováveis para a geração da energia destinada aos mineradores de criptomoedas, demonstrando que o próprio setor está atuando para mitigar eventuais danos, ainda que possam ter ocorrido, por circunstâncias alheias, danos ambientais e, talvez, motivados apenas pelo custo irrisório da energia hidrelétrica nos períodos de chuva na região de Sichuan.

Como o tema tem abordagem recente e apresenta um caráter anárquico, a busca por dados e relatórios foi dificultada, havendo muitas estimativas sobre dados fundamentais, como a localização dos mineradores, a fonte energética empregada e o consumo de energia dispendido.

O desenvolvimento dos estudos no Mestrado trouxe a necessária otimização do tempo para conseguir desvendar um novo setor, cujo material se encontra, em sua quase totalidade, em inglês e com alto grau de renovação constante, de forma que dados se tornam obsoletos em poucos meses.

Com a realização da pesquisa também foram encontradas lacunas, as quais podem ser objeto de trabalhos futuros. Dentre tais trabalho, pode-se citar



o estudo sobre como a mineração de criptomoedas e o meio ambiente podem caminhar juntos. Outro trabalho pode também desvendar como a *Blockchain* interage com a Lei Geral de Proteção de Dados (LGPD), a *General Data Protection Regulation* (GDPR) e a lavagem de dinheiro, eis que o anonimato pode se caracterizar como uma opção para eventuais crimes financeiros.

Como aprendizado do trabalho se conclui que no início da pesquisa havia parte da literatura demonstrando um cenário tenebroso, com alta concentração dos mineradores de criptomoedas na China, local no qual a energia é gerada, de forma majoritária, a partir do carvão, uma fonte poluente. Diversos sites trazem um cenário pessimista, com um consumo energético alto para uma atividade que não é utilizada em grande escala.

Todavia, com o aprofundamento se desvenda que majoritariamente há o uso de fontes renováveis para a geração da energia utilizada pelo setor de mineração de criptomoedas, sendo uma resposta do setor que impacta menos ao meio ambiente.

Na parte jurídico-ambiental se conclui que apesar de ter sido criada uma nova tecnologia, com suas atividades decorrentes, a legislação traz um conjunto que pode ser aplicável, acompanhando as necessidades e requisições de cada época.

## REFERÊNCIAS

ABRATTE, Cristian. **El poder de las Criptomonedas**: la solución a esta economía inestable. Editorial Entresuelo, 2018. Kindle Edition.

AGENCE FRANCE PRESS. Chinese police crack down on bitcoin miners over \$3m of stolen electricity. **The Guardian**, 12 jul. 2019. Disponível em: <<https://www.theguardian.com/world/2019/jul/12/chinese-police-crack-down-on-bitcoin-miners-over-3m-of-stolen-electricity>>. Acesso em: 14 nov. 2019.

AGRAWAL, Monika; MISHRA, Pradeep. A comparative survey on Symmetric Key Encryption Techniques. **International Journal on Computer Science and Engineering**, v. 4, n. 5, mai. 2012. Disponível em: <<http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.433.2037&rep=rep1&type=pdf>>. Acesso em: 22 jan. 2020.

AKI, Jimmy. Compute North announces Nebraska colocation center for Bitcoin mining. **Bitcoin Magazine**, 21 nov. 2019. Disponível em: <<https://bitcoinmagazine.com/articles/compute-north-announces-nebraska-colocation-center-for-bitcoin-mining>>. Acesso em: 4 jan. 2020.

ALDERMAN, Liz. Despite Bitcoin's Dive, a former Soviet Republic is still betting big on it: Tax breaks, land deals and cheap energy have spurred cryptocurrency mining in Georgia, which wants to be a digital data leader. **The New York Times**, 22 jan. 2019. Disponível em: <<https://www.nytimes.com/2019/01/22/business/georgia-bitcoin-blockchain-bitfury.html>>. Acesso em: 06 dez. 2019.

ALEXANDRE, Ana. Autoridades iranianas confiscam 1.000 máquinas de mineração de Bitcoin. **COINTELEGRAPH**, 28 jun. 2019. Disponível em: <<https://br.cointelegraph.com/news/iranian-authorities-confiscate-1-000-bitcoin-mining-machines>>. Acesso em: 20 nov. 2019.

ANEEL. **Regulação dos Serviços de Distribuição**. 6 set. 2018. Disponível em: <<https://www.aneel.gov.br/regulacao-dos-servicos-de-distribuicao>>. Acesso em: 3 jan. 2020.

ANEEL. **Aprenda a calcular o consumo de seu aparelho e economize energia**. 17 mai. [s.d.]. Disponível em: <[http://www2.aneel.gov.br/arquivos/PDF/17-05\\_materia1\\_3.pdf](http://www2.aneel.gov.br/arquivos/PDF/17-05_materia1_3.pdf)>. Acesso em: 22 mar. 2020.

ANTONOPOULOS, Andreas. **Mastering Bitcoin**: unlocking digital cryptocurrencies. Sebastopol, California: O' Reilly Media, 2017.

ANTUNES, Paulo de Bessa. **Direito Ambiental**. 15 ed. São Paulo: Atlas, 2013.

ARION. **Você conhece as diferenças da baixa e alta tensão?** [s.d.]. Disponível em: <<https://energiaarion.com.br/blog/diferencas-da-baixa-e-alta-tensao/>>. Acesso em: 03 jan. 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Acústica do ruído em áreas habitadas, visando o conforto da comunidade. **NBR 10151**. Rio de Janeiro, 2000. Disponível em: <<http://www.sema.df.gov.br/wp-content/uploads/2017/09/NBR-10151-de-2000.pdf>>. Acesso em: 12 fev. 2020.

BANSE, Tom. Big Cryptocurrency player based in China establishes foothold in Pacific Northwest. **NW News Network**, 19 nov. 2018. Disponível em: <<https://www.nwnewsnetwork.org/post/big-cryptocurrency-player-based-china-establishes-foothold-pacific-northwest>>. Acesso em: 15 dez. 2019.

BARANIUK, Chris. Mineração de bitcoins deve consumir mais energia que todas as casas na Islândia. **BBC New Brasil**. 13 fev. 2018. Disponível em: <<https://www.bbc.com/portuguese/geral-43010110>> Acesso em: 29 jul 2018.

BARROS, Antônio Teixeira de. Agenda Verde Internacional e seus impactos no Brasil. **Revista de Estudos e Pesquisa sobre as Américas**. v. 9, n. 2, 2015. Disponível em: <<http://periodicos.unb.br/ojs311/index.php/repam/article/view/16044/14333>>. Acesso em: 12 dez 2018.

BASHIR, Imran. **Mastering Blockchain**: Distributed ledger technology, decentralization, and smart contracts explained. 2. Ed, Birmingham – Mumbai: Packt Publishing, 2018. Kindle Edition.

BASSOTTO, Lucas. Como minerar Bitcoin no Brasil? **Investificar**, 9 set. 2019. Disponível em: <<https://www.investificar.com.br/como-minerar-bitcoin-no-brasil/>>. Acesso em: 17 dez. 2019.

BASTIANI, Amanda. Qual o papel dos nós da Blockchain? **CRIFACIL**. 7 nov. 2019a. Disponível em: <<https://www.criptofacil.com/qual-o-papel-dos-nos-da-blockchain/>>. Acesso em: 30 nov. 2019.

BASTIANI, Amanda. O que é mecanismo de consenso? **CRIFACIL**. 14 nov. 2019b. Disponível em: <<https://www.criptofacil.com/o-que-e-mecanismo-de-consenso/>> Acesso em: 27 jan. 2020.

BECK, Ulrich. **Sociedade de risco**: rumo a uma outra modernidade. Tradução: Sebastião Nascimento. 2. ed. São Paulo: Editora 34, 2011.

BELIN, Oliver. The Difference Between Blockchain & Distributed Ledger Technology. **Tradeix**. [s.d.]. Disponível em: <<https://tradeix.com/distributed-ledger-technology>>. Acesso em: 22 nov. 2019.

BITNODES. **Global Bitcoin Nodes Distribution**. 02 dez. 2019. Disponível em: <<https://bitnodes.earn.com/>>. Acesso em: 02 dez. 2019.

BENDIKSEN, Christopher. Beware of Lazy Research. **CoinShares Research**, 06 dez. 2018. Disponível em: <<https://coinsharesgroup.com/insights/beware-of-lazy-research-bitcoin-mining-update>>. Acesso em: 19 dez. 2019.

BENDIKSEN, Christopher; GIBBONS, Samuel. The Bitcoin mining network: trends, average creation costs, electricity consumption & sources. **CoinShares Research**, mai. 2018a. Disponível em: <<https://coinsharesgroup.com/research/bitcoin-mining-network-may-2018>>. Acesso em: 20 dez. 2019.

BENDIKSEN, Christopher; GIBBONS, Samuel. The Bitcoin mining network: trends, average creation costs, electricity consumption & sources. **CoinShares Research**, nov. 2018b. Disponível em: <<https://coinsharesgroup.com/research/bitcoin-mining-network-november-2018>>. Acesso em: 20 dez. 2019.

BENDIKSEN, Christopher; GIBBONS, Samuel. The Bitcoin mining network: trends, average creation costs, electricity consumption & sources. **CoinShares Research**, jun. 2019a. Disponível em: <<https://coinsharesgroup.com/assets/resources/Research/bitcoin-mining-network-june-2019-fidelity-foreword.pdf>>. Acesso em: 20 dez. 2019.

BENDIKSEN, Christopher; GIBBONS, Samuel. The Bitcoin mining network: trends, average creation costs, electricity consumption & sources. **CoinShares Research**, dez. 2019b. Disponível em: <<https://coinsharesgroup.com/research/bitcoin-mining-network-december-2019>>. Acesso em: 20 dez. 2019.

BINANCE ACADEMY. **Proof of Stake Explained**. [s.d.]. Disponível em: <<https://www.binance.vision/blockchain/proof-of-stake-explained>>. Acesso em: 12 out. 2019.

BLOCKCHAIN.COM. **Blocos mais recentes**. Disponível em: <<https://www.blockchain.com/pt/explorer>>. Acesso em: 22 dez. 2019.

BOUCHER, Philip; NASCIMENTO Susana; KRITIKOS, Mihalís. How blockchain technology could change our lives. Scientific Foresight Unit, **European Parliamentary Research Service**. Disponível em: <[https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/IDAN/2017/581948/EPRS\\_IDA\(2017\)581948\\_EN.pdf](https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/IDAN/2017/581948/EPRS_IDA(2017)581948_EN.pdf)>. Acesso em: 10 set. 2019.

BRAM, Barclay. In China, Bitcoin mining moguls are scrambling to survive. **Wired**, 15 abr. 2019. Disponível em: <<https://www.wired.co.uk/article/bitcoin-mining-china-ban-crypto-cryptocurrency-wechat>>. Acesso em: 13 out. 2019.

BRASIL. **Código Civil**. Lei n. 10.406, de 10 de janeiro de 2002. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/2002/L10406compilada.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/2002/L10406compilada.htm)>. Acesso em: 12 dez 2018.

\_\_\_\_\_. **Constituição da República Federativa do Brasil**, de 05 de outubro de 1988. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/Constituicao/Constituicao.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Constituicao/Constituicao.htm)>. Acesso em: 12 dez 2018.

\_\_\_\_\_. **Emenda Constitucional n. 6**, de 15 de agosto de 1995b. Altera o inciso IX do art, 170, o art. 171 e o § 1 do art. 176 da Constituição Federal. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/constituicao/Emendas/Emc/emc06.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/Emendas/Emc/emc06.htm)>. Acesso em: 02 jan 2020.

\_\_\_\_\_. **Lei n. 6.803**, de 2 de julho de 1980. Dispõe sobre as diretrizes básicas para o zoneamento industrial nas áreas críticas de poluição, e dá outras providências. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/L6803.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L6803.htm)>. Acesso em: 03 jan 2020.

\_\_\_\_\_. **Lei n. 6.938**, de 31 de agosto de 1981. Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/Leis/L6938compilada.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/L6938compilada.htm)>. Acesso em: 12 dez 2018.

\_\_\_\_\_. **Lei n. 7.347**, de 24 de julho de 1985. Disciplina a ação civil pública de responsabilidade por danos causados ao meio ambiente, ao consumidor, a bens e direitos de valor artístico, estético, histórico, turístico e paisagístico e dá outras providências. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/LEIS/L7347orig.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/L7347orig.htm)>. Acesso em: 12 dez 2018.

\_\_\_\_\_. **Lei n. 9.074**, de 7 de julho de 1995a. Estabelece normas para outorga e prorrogações das concessões e permissões de serviços públicos e dá outras providências. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/l9074cons.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9074cons.htm)>. Acesso em: 02 jan 2020.

\_\_\_\_\_. **Lei n. 9.427**, de 26 de dezembro de 1996. Institui a Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL, disciplina o regime das concessões de serviços públicos de energia elétrica e dá outras providências. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/LEIS/L9427cons.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/L9427cons.htm)>. Acesso em: 02 jan 2020.

\_\_\_\_\_. **Lei n. 9.605**, de 12 de fevereiro de 1998. Dispõe sobre as sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente, e dá outras providências. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/LEIS/L9605.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/L9605.htm)>. Acesso em: 12 dez 2018.

\_\_\_\_\_. **Lei n. 9.648**, de 27 de maio de 1998. Altera dispositivos das Leis n.º 3.890-A, de 25 de abril de 1961, n.º 8.666, de 21 de junho de 1993, n.º 8.987, de 13 de fevereiro de 1995, n.º 9.074, de 7 de julho de 1995, n.º 9.427, de 26 de

dezembro de 1996, e autoriza o Poder Executivo a promover a reestruturação da Centrais Elétricas Brasileiras – ELETROBRÁS e de suas subsidiárias e dá outras providências. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/L9648cons.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L9648cons.htm)>. Acesso em: 02 jan 2020.

\_\_\_\_\_. **Lei n. 10.848**, de 15 de março de 2004. Dispõe sobre a comercialização de energia elétrica, altera as Leis n.º 5.655, de 20 de maio de 1971, 8.631, de 4 de março de 1993, 9.074, de 7 de julho de 1995, 9.427, de 26 de dezembro de 1996, 9.478, de 6 de agosto de 1997, 9.648, de 27 de maio de 1998, 9.991, de 24 de julho de 2000, 10.438, de 26 de abril de 2002, e dá outras providências. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_Ato2004-2006/2004/Lei/L10.848.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2004-2006/2004/Lei/L10.848.htm)>. Acesso em: 02 jan 2020.

\_\_\_\_\_. **Resolução CONAMA n.º 1**, de 8 de março de 1990. Dispõe sobre critérios de padrões de emissão de ruídos decorrentes de quaisquer atividades industriais, comerciais, sociais ou recreativas, inclusive as de propaganda política. Disponível em: <<http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=98>>. Acesso em: 19 jan 2020.

\_\_\_\_\_. **Resolução CONAMA n.º 237**, de 19 de dezembro de 1997. Dispõe sobre licenciamento ambiental; competência da União, Estados e Municípios; listagem de atividades sujeitas ao licenciamento; Estudos Ambientais, Estudo de Impacto Ambiental e Relatório de Impacto Ambiental. Disponível em: <<http://www2.mma.gov.br/port/conama/res/res97/res23797.html>>. Acesso em: 17 jan 2020.

BRASSAW, Brian. Is Bitcoin good for the environment? **Earth911**. 25 mai 2018. Disponível em: <<https://earth911.com/eco-tech/bitcoin-environment/>>. Acesso em: 30 jul 2019.

BRITISH PETROLEUM. **BP Statistical Review of World Energy 2019**. ed. 68. Disponível em: <<https://www.bp.com/content/dam/bp/business-sites/en/global/corporate/pdfs/energy-economics/statistical-review/bp-stats-review-2019-full-report.pdf>>. Acesso em: 02 dez. 2019.

BUTERIN, Vitalik. On Public and Private Blockchains. **Ethereum Blog**. 06 ago. 2015. Disponível em: <<https://blog.ethereum.org/2015/08/07/on-public-and-private-blockchains/>>. Acesso em: 1 out. 2019.

BUTERIN, Vitalik. What Proof of Stake is and why it matters. **Bitcoin Magazine**, 26 ago. 2013. Disponível em: <<https://bitcoinmagazine.com/articles/what-proof-of-stake-is-and-why-it-matters-1377531463>>. Acesso em: 5 set. 2019.

BITCOINBLOCKHALF.COM. **Bitcoin Block Reward Halving Countdown**. 2019. Disponível em: <<https://www.bitcoinblockhalf.com/>>. Acesso em: 16 dez. 2019.

CAIXA ECONÔMICA FEDERAL. **Remessas para o exterior**. Disponível em: <<http://www.caixa.gov.br/internacional/ordem-de-pagamento->

internacional/remessas-para-o-exterior/Paginas/default.aspx>. Acesso em: 10 dez. 2019.

CARROLL, Matt. Norway's leading the charge on a sustainable electric future. **National Geographic**, 27 jun. 2019. Disponível em: <<https://www.nationalgeographic.com/environment/2019/06/partner-content-sustainable-electric-future/>>. Acesso em: 14 dez. 2019.

CAUGHEY, Michael. **Bitcoin mining step by step: the best way to get started**. 2013. Kindle edition.

CBECI. Cambridge Bitcoin Electricity Consumption Index. Cambridge Centre for Alternative Finance, **University of Cambridge Judge Business School**. 2019a. Disponível em: <<https://www.cbeci.org/>>. Acesso em: 24 dez. 2019.

CBECI. Methodology. Cambridge Centre for Alternative Finance, **University of Cambridge Judge Business School**. 2019b. Disponível em: <<https://www.cbeci.org/methodology/>>. Acesso em: 24 dez. 2019.

CBECI. Comparisons. Cambridge Centre for Alternative Finance, **University of Cambridge Judge Business School**. 2019c. Disponível em: <<https://www.cbeci.org/comparisons/>>. Acesso em: 24 dez. 2019.

CHOLAN, Usman W. The Next Bitcoin Halving. **Notes on the 21st Century (CBRI)**, mar. 2019. Disponível em: <<https://ssrn.com/abstract=3352548>>. Acesso em: 10 out. 2019.

CHUEN, David Lee Kuo; NIAN, Lam Pak. Introduction to Bitcoin. In: CHUEN, David Lee Kuo (Ed.). **Handbook of digital currency: bitcoin, innovation, financial instruments, and big data**. San Diego, EUA: Elsevier, 2015.

COINMARKETCAP. **All Cryptocurrencies**. 2019. Disponível em: <<https://coinmarketcap.com/all/views/all/>>. Acesso em: 30 nov. 2019.

COINMINT. **Operating the largest digital currency data center in the world**. 2019. Disponível em: <<https://www.coinmint.one/>>. Acesso em: 07 jan. 2020.

COLLOMB, Alexis; SOK, Klara. Blockchain / Distributed Ledger Technology (DLT): what impact on the financial sector? **Digiworld Economic Journal**, n. 103, 3rd q. 2016, p. 93-111. Disponível em: <[https://www.academia.edu/30192464/Blockchain\\_Distributed\\_Ledger\\_Technology\\_DLT\\_What\\_Impact\\_on\\_the\\_Financial\\_Sector](https://www.academia.edu/30192464/Blockchain_Distributed_Ledger_Technology_DLT_What_Impact_on_the_Financial_Sector)>. Acesso em: 22 nov. 2019.

COMBEN, Christina. Bitcoin mining wasteful? Christmas lights use more energy than some countries. **Bitcoinist**. 23 nov. 2018. Disponível em: <<https://bitcoinist.com/bitcoin-mining-energy-consumption-us-christmas-lights/>>. Acesso em: 15 nov. 2019.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DAS INDÚSTRIAS. **Energia Elétrica: custos e competitividade**. Infraestrutura 26. Brasília: CNI, 2018. Disponível em:

<[https://bucket-gw-cni-static-cms-si.s3.amazonaws.com/media/filer\\_public/37/84/37840980-7812-4d55-ad3b-fbf154efd2f4/26\\_-\\_energia\\_eletrica.pdf](https://bucket-gw-cni-static-cms-si.s3.amazonaws.com/media/filer_public/37/84/37840980-7812-4d55-ad3b-fbf154efd2f4/26_-_energia_eletrica.pdf)>. Acesso em: 17 dez. 2019.

CONSELHO ADMINISTRATIVO DE DEFESA ECONÔMICA. Nota Técnica n.º 39/2018/CGAA2/SGA1/SG/CADE. **Ministério da Justiça**, 18 set. 2018. Disponível em: <[https://sei.cade.gov.br/sei/modulos/pesquisa/md\\_pesq\\_documento\\_consulta\\_externa.php?DZ2uWeaYicbuRZEFhBt-n3BfPLlu9u7akQA8mpB9yOq\\_PAOpP9dDSgD6LArOomnyuCuxWvMxZXH0h\\_hNIMOXVz24XbbZ7YVbHdLYBX85ikU5J-39JyCQbDhh5GXrOjb](https://sei.cade.gov.br/sei/modulos/pesquisa/md_pesq_documento_consulta_externa.php?DZ2uWeaYicbuRZEFhBt-n3BfPLlu9u7akQA8mpB9yOq_PAOpP9dDSgD6LArOomnyuCuxWvMxZXH0h_hNIMOXVz24XbbZ7YVbHdLYBX85ikU5J-39JyCQbDhh5GXrOjb)>. Acesso em: 02 fev. 2020.

CORDEIRO, Nico; MASUCCI, Ava. The Myth of Cryptocurrency halving events: a deeper analysis. **STRIX LEVIATHAN**. 21 jul. 2019. Disponível em: <<https://strixleviathan.com/blog/2019/7/21/the-myth-of-cryptocurrency-halving-events-a-deeper-analysis>>. Acesso em: 10 dez. 2019.

CRESCENT ELECTRIC SUPPLY COMPANY. **Bitcoin mining costs in the U.S.** 22 jan. 2018. Disponível em: <<https://blog.cesco.com/blog/bitcoin-mining-costs-per-state>>. Acesso em: 10 dez. 2019.

DAI, Wei. **B-money**, 1998. Disponível em: <<http://www.weidai.com/bmoney.txt>>. Acesso em: 10 set. 2019.

DAVARPANA, Kourosh; KAUFMAN, Dan; PUBELLIER, Ophelie. **NueCoin**: the first secure, cost-efficient and decentralized cryptocurrency. 25 mar. 2015. Disponível em: <<https://arxiv.org/pdf/1503.07768.pdf>>. Acesso em: 2 ago. 2019.

DENNY, Danielle Mendes Thame; PAULO, Roberto Ferreira; CASTRO, Douglas de. Blockchain e Agenda 2030. **Revista Brasileira de Políticas Públicas**, v. 7, n. 3, dez. 2017. Disponível em: <<https://www.publicacoes.uniceub.br/RBPP/article/view/4938>>. Acesso em: 5 fev. 2020.

DIGICONOMIST. **Bitcoin energy consumption index**. 2019a. Disponível em: <<https://digiconomist.net/bitcoin-energy-consumption>>. Acesso: 24 dez. 2019.

DIGICONOMIST. **Bitcoin energy consumption index**. 2020. Disponível em: <<https://digiconomist.net/bitcoin-energy-consumption>>. Acesso: 22 mar. 2019.

DIGICONOMIST. **Ethereum energy consumption index**. 2019b. Disponível em: <<https://digiconomist.net/ethereum-energy-consumption>>. Acesso: 24 dez. 2019.

DOMINGO, Carlos. The Bitcoin vs Visa Electricity Consumption Fallacy. **Hackernoon**, 19 nov. 2017. Disponível em: <<https://hackernoon.com/the-bitcoin-vs-visa-electricity-consumption-fallacy-8cf194987a50>>. Acesso em: 05 nov. 2019.



DRESCHER, Daniel. **Blockchain Básico**: uma introdução não técnica em 25 passos. Tradução; Lúcia A. Kinoshita. São Paulo: Novatec, 2018.

DUPONT, Quinn. The politics of cryptography: bitcoin and the ordering machines. **H+ Magazine**, 7 mai. 2014. Disponível em: <<https://hplusmagazine.com/2014/05/07/the-politics-of-cryptography-bitcoin-and-the-ordering-machines/>>. Acesso em: 10 set. 2019.

ELITEFIXTURES. **Bitcoin Mining Costs Throughout the World**. 26 fev. 2018. Disponível em: <<https://www.elitefixtures.com/blog/post/2683/bitcoin-mining-costs-by-country/>>. Acesso em: 20 dez. 2019.

FELIN, Teppo; LAKHANI, Karim. What problems will you solve with blockchain? Before jumping on the bandwagon, companies need to carefully consider how ledger technologies fit into their overall strategy. **MIT Sloan Management Review**, 11 set. 2018. Disponível em: <<https://sloanreview.mit.edu/article/what-problems-will-you-solve-with-blockchain/>>. Acesso em: 10 set. 2019.

FENECH, Gerald. Bitcoin mining farm in Norway receives bomb threat as noise complaints mount. **CCN**, 17 ago. 2018. Disponível em: <<https://www.ccn.com/bitcoin-mining-farm-in-norway-receives-bomb-threat-as-noise-complaints-mount/>>. Acesso em: 10 fev. 2020.

FIORILLO, Celso Antônio Pacheco. **Curso de Direito Ambiental Brasileiro**. 13. ed. rev., ampl. e atual. São Paulo: Saraiva, 2012.

FOXBIT. **Halving do Bitcoin**: como estar preparado. 7 nov. 2019. Disponível em: <<https://foxbit.com.br/blog/halving-do-bitcoin/>>. Acesso em: 10 nov. 2019.

FRANCO, Pedro. Understanding **Bitcoin**: cryptography, engineering and economics. Chichester, Inglaterra: Wiley Finance Series, 2015.

FRANKENFIELD, Jake. Proof of Stake (POS). **Investopedia**, 11 ago. 2019. Disponível em: <<https://www.investopedia.com/terms/p/proof-stake-pos.asp>>. Acesso em: 10 out. 2019.

FREITAS, Vladimir Passos de. A desejada e complexa conciliação entre desenvolvimento econômico e proteção do meio ambiente no Brasil. **Revista Direito Ambiental e Sociedade**. v. 4, n. 1, 2014. p. 235-263.

GOMES, João Paulo Pombeiro; VIEIRA, Marcelo Milano Falcão. O campo da energia elétrica no Brasil de 1880 a 2002. **Revista de Administração Pública**, Rio de Janeiro, v. 43, n. 2, p. 295-321, abr. 2009. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0034-76122009000200002](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0034-76122009000200002)>. Acesso em: 01 jan. 2020.

GRANZIERA, Maria Luiza Machado. **Direito Ambiental**. São Paulo: Atlas, 2009.

GUI, George; HORTAÇSU, Ali; TUDÓN, José. A memo on the Proof-of-Stake mechanism. **ArXiv**: 1807.09626, 2018. Disponível em: <<https://arxiv.org/abs/1807.09626>>. Acesso: 3 set. 2019.

GUPTA, Manav. **Blockchain for Dummies**. IBM Limited Edition. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc., 2017.

HANSEL, Devan. **Cryptocurrency Mining**: The complete guide to mining bitcoin, Ethereum and other cryptocurrency. 2017. Kindle Edition.

HARI, Adiseshu; LAKSHMAN, T. V. The Internet Blockchain: a distributed, tamper-resistant transaction framework for the Internet. **HotNets 2016. Association for Computing Machinery**. 09 e 10 nov. 2016, Atlanta, Geórgia, EUA. p. 204-240. Disponível em: <<http://web.kaust.edu.sa/Faculty/MarcoCanini/classes/CS390G/S17/papers/InternetBlockchain.pdf>>. Acesso em: 20 set. 2019.

HARPER, Colin. Oil Field Alchemy: how Bitcoin can turn waste, emissions into Proof-of-Work. **Bitcoin Magazine**, 8 mai. 2019. Disponível em: <<https://bitcoinmagazine.com/articles/oil-field-alchemy-how-bitcoin-can-turn-waste-emissions-proof-work>>. Acesso em: 07 dez. 2019.

HILEMAN, Dr Garrick; RAUCHS, Michel. Global cryptocurrency benchmarking study. Cambridge Centre for Alternative Finance, University of Cambridge, 2017. Disponível em: <<https://www.jbs.cam.ac.uk/faculty-research/centres/alternative-finance/publications/global-cryptocurrency/#.XgqXGRt7mUk>>. Acesso em: 10 set. 2019.

HOLMES, Brian M. **The Essential Guide to Bitcoin Mining**: A cryptocurrency tutorial. 2. ed. Estados Unidos da América: Homes House Press, 2018. Kindle Edition.

HOUBEN, Robby; SNYERS, Alexander. Cryptocurrencies and Blockchain: legal context and implications for financial crime, money laundering and tax evasion. Policy Department for Economic, Scientific and Quality of Life Policies, **European Parliament. Belgium**, 2018. Disponível em: <<http://www.europarl.europa.eu/cmsdata/150761/TAX3%20Study%20on%20cryptocurrencies%20and%20blockchain.pdf>>. Acesso em: 10 set. 2019.

HOLDEN, Erling; LINNERUD, Kristin; BANISTER, David. Sustainable development: Our Common Future revisited. **Global Environment Change**. v. 26, mai 2014, p. 130-139. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959378014000727>>. Acesso em: 10 mar 2019.

HUANG, Zheping; WONG, Joon Ian. The lives of Bitcoin miners digging for digital gold in Inner Mongolia. **QUARTZ**, 17 ago. 2017. Disponível em: <<https://qz.com/1054805/what-its-like-working-at-a-sprawling-bitcoin-mine-in-inner-mongolia/>>. Acesso em: 10 nov. 2019.

HUANG, Zheping. China, home to the world's biggest cryptocurrency mining farms, now wants to ban them completely. **South China Morning Post**, 9 abr. 2019. Disponível em: <<https://www.scmp.com/tech/policy/article/3005334/china-home-worlds-biggest-cryptocurrency-mining-farms-now-wants-ban>>. Acesso em: 10 nov. 2019.

HYDRO QUÉBEC. **Cryptocurrency mines**: limited economic impact. 22 mai. 2018. Disponível em: <<http://news.hydroquebec.com/en/news/204/cryptocurrency-mines-limited-economic-impact/>>. Acesso em: 01 dez. 2019.

ICELAND MAGAZINE. **Does Iceland really produce all of its electricity from renewables?** 15 jan. 2019. Disponível em: <<https://icelandmag.is/article/does-iceland-really-produce-all-its-electricity-renewables>>. Acesso em: 14 dez. 2019.  
INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. **Statistics data browser**. Total electricity consumption, China, People's Republic of 1990-2016. Disponível em: <<https://www.iea.org/statistics/?country=CHINA&year=2016&category=Key%20indicators&indicator=undefined&mode=chart&dataTable=INDICATORS>>. Acesso em: 10 set. 2019.

\_\_\_\_\_. **Statistics data browser**. Total Primary Energy Supply (TPES) by source, world 1990-2016. 2019b. Disponível em: <<https://www.iea.org/statistics/?country=WORLD&year=2016&category=Key%20indicators&indicator=TPESbySource&mode=chart&dataTable=BALANCES>>. Acesso em: 10 set. 2019.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. **Energy Policies of IEA Countries: Sweden 2019 Review**. 2019c. Disponível em: <[https://www.connaissancedesenergies.org/sites/default/files/pdf-actualites/Energy\\_Policies\\_of\\_IEA\\_Countries\\_Sweden\\_2019\\_Review.pdf](https://www.connaissancedesenergies.org/sites/default/files/pdf-actualites/Energy_Policies_of_IEA_Countries_Sweden_2019_Review.pdf)>. Acesso em: 10 set. 2019.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. **Sweden is a leader in the energy transition, according to latest IEA country review**. 9 abr. 2019d. Disponível em: <<https://www.iea.org/news/sweden-is-a-leader-in-the-energy-transition-according-to-latest-iea-country-review>>. Acesso em: 10 set. 2019.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. **Iran**: data browser. Energy supply, Electricity generation by source, Islamic Republic of Iran 1990-2017. 2019e. Disponível em: <<https://www.iea.org/countries/iran>>. Acesso em: 10 set. 2019.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. **Kazakhstan**: data browser. Energy supply, Electricity generation by source, Kazakhstan 1990-2017. 2019f. Disponível em: <<https://www.iea.org/countries/kazakhstan>>. Acesso em: 10 set. 2019.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. **Brazil**: data browser. Energy supply, Electricity generation by source, Brazil 1990-2017. 2019g. Disponível em: <<https://www.iea.org/countries/brazil>>. Acesso em: 10 set. 2019.

INVEST IN GEORGIA. **Energy**. 2016. Disponível em: <<http://www.investingeorgia.org/en/keysectors/energy>>. Acesso em: 07 dez. 2019.

INVESTING.COM. **BTC/USD** – Bitcoin Dólar Americano. Disponível em: <<https://br.investing.com/crypto/bitcoin/btc-usd-chart>>. Acesso em: 19 dez. 2019.

ISAAK, Jim; HANNA, Mina J. User Data Privacy: Facebook, Cambridge Analytica, and Privacy Protection. **IEEE Computer Science**, v. 51, n. 8, p. 56-59, ago. 2018. Disponível em: <<https://ieeexplore.ieee.org/document/8436400>>. Acesso em: 23 jan. 2020.

JAKITAS, Renato. Brasileiros cruzam a fronteira para montar “fábricas” de Bitcoin no Paraguai. **Estadão**, 30 dez. 2017. Disponível em: <<https://economia.estadao.com.br/noticias/geral,brasileiros-cruzam-a-fronteira-para-montar-fabricas-de-bitcoin-no-paraguai,70002134460>>. Acesso em: 10 fev. 2020.

JIANG, Jennifer Hongbo. How much does trust cost? Analysis of the consensus mechanism of distributed ledger technology and use-cases in securitization. **Master of Science in Management of Technology at the Massachusetts Institute of Technology**. Jun. 2017. Disponível em: <<https://dspace.mit.edu/handle/1721.1/111454?show=full>>. Acesso em: 10 out. 2019.

JOSHI, Archana Prashanth; HAN, Meng; WANG, Yan. A survey on security and privacy issues of Blockchain Technology. *Mathematical Foundations of Computing*. **American Institute of Mathematical Sciences**. v. 1, n. 2, mai. 2018. p. 121-147. Disponível em: <<https://www.aimsociences.org/article/doi/10.3934/mfc.2018007>>. Acesso em: 20 nov. 2019.

KELLY-PITOU, Katrina. Stop worrying about how much energy bitcoin uses. **PHYS.ORG**, 20 ago. 2018. Disponível em: <<https://phys.org/news/2018-08-energy-bitcoin.html>>. Acesso em: 05 nov. 2019.

KENT, Peter; BAIN, Tyler. **Cryptocurrency Mining for dummies**. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc., 2019.

KHARIF, Olga. Dois terços das transações de Bitcoin não tem valor econômico. 28 jul 2018. **Exame**. Disponível em: <<https://exame.abril.com.br/mercados/dois-tercos-das-transacoes-de-bitcoin-nao-tem-valor-economico>> Acesso em: 31 jul 2018.

LAURENCE, Tiana. **Blockchain for dummies**. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc., 2017.

LI, Xiaoqi; JIANG, Peng; CHEN, Ting; LUO, Xiapu; WEN, Qiaoyan. A Survey on the Security of Blockchains Systems. **Future Generation Computer Systems**,

2017. Disponível em:  
<<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167739X17318332>>.  
Acesso em: 01 nov. 2019.

LINDSAY, Bethany. BC Hydro puts out welcome mat for bitcoin miners, but experts urge caution. **CBC News**, 03 dez. 2018. Disponível em:  
<<https://www.cbc.ca/news/canada/british-columbia/bc-hydro-puts-out-welcome-mat-for-bitcoin-miners-but-experts-urge-caution-1.4928323>>. Acesso em: 02 dez. 2019.

LIU, Hongtao; POLENSKE, Karen R.; XI, Youmin; GUO, Ju'e. Comprehensive evaluation os effects of straw-based electricity generation: A Chinese case. **Energy Policy**. v. 38, issue 10. Out 2010, p. 6153-6160. Disponível em:  
<<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301421510004647>>.  
Acesso em: 24 mar 2019.

LIY, Macarena Vidal. China reduz seu consume de carvão pelo terceiro ano consecutivo. **EL PAIS**. 08 mar 2017. Disponível em:  
<[https://brasil.elpais.com/brasil/2017/03/04/internacional/1488631238\\_086175.html](https://brasil.elpais.com/brasil/2017/03/04/internacional/1488631238_086175.html)>. Acesso em: 12 fev 2019.

LOIACONO, Stella. Blockchain, sus aplicaciones más allá de las criptomonedas. **Revista Abierta de Informática Aplicada**. v. 2, n. 1, 2018, p. 47-50. Disponível em: <<http://portalrevisciencia.uai.edu.ar/ojs/index.php/RAIA/article/view/163/168>>.  
Acesso em: 02 ago 2019.

MACHADO, Paulo Affonso Leme. **Direito Ambiental Brasileiro**. 25. ed. rev. ampl. e atual. São Paulo: Malheiros, 2017.

MARINS, Lucas Gabriel. Empresa do “rei do Bitcoin” suspende sites de negociação de criptomoedas. **Uol**, 2 set. 2019. Disponível em:  
<<https://economia.uol.com.br/noticias/redacao/2019/09/02/grupo-bitcoin-banco-suspende-plataformas-de-negociacao-criptomoedas.htm>>. Acesso em: 25 jan. 2020.

MATÍES, Rafael García. Las entidades locales y los objetivos de desarrollo sostenible. Algunas notas sobre la naturaliza jurídica de la Agenda 2030. **REALA**, Nueva Época, n. 5, mai. – out. 2016. Disponível em:  
<<https://revistasonline.inap.es/index.php/REALA/article/view/10347>>. Acesso em: 5 fev. 2020.

MCGEEHAN, Patrick. Bitcoin miners flock to New York’s remote corners, but get chilly reception. **The New York Times**, 19 set. 2018. Disponível em:  
<<https://www.nytimes.com/2018/09/19/nyregion/bitcoin-mining-new-york-electricity.html>>. Acesso em: 07 jan. 2020.

MEDEIROS, Esthon. **Bitcoin**: entenda o que é e por onde começar. 2017. Kindle Edition.

MENEGUZZI, Andréia; CARVALHO, Délton Winter de. O princípio do poluidor pagador e a reparação dos danos ambientais. **Revista Gestão e Desenvolvimento**. v. 6, n. 2, ago 2009. p. 121-129. Disponível em: <<https://periodicos.feevale.br/seer/index.php/revistagestaoedesenvolvimento/article/view/950>>. Acesso em: 14 dez 2018.

MEYNKHARD, Arthur. Fair Market value of bitcoin: halving effect. **Investment Management and Financial Innovations**, v. 16(4), p. 72-85. Disponível em: <[https://businessperspectives.org/images/pdf/applications/publishing/templates/article/assets/12700/IMFI\\_2019\\_04\\_Meynkhard.pdf](https://businessperspectives.org/images/pdf/applications/publishing/templates/article/assets/12700/IMFI_2019_04_Meynkhard.pdf)>. Acesso em: 20 nov. 2019.

MILARÉ, Édis. **Direito do Ambiente**. 8. ed. rev., atual. e ampl. São Paulo: Editora Revista dos Tribunais, 2013.

MUIR, Paul. Dry season offensive against China Bitcoin miners: due to electricity shortages, government is pressuring Sichuan operations to scale down. **AsiaTimes**, 29 dez. 2019. Disponível em: <<https://www.asiatimes.com/2019/12/article/dry-season-offensive-against-china-bitcoin-miners/>>. Acesso em: 02 jan. 2020.

MURTAUGH, Dan. Bitcoin can drop 50% and China Miners will still make Money. **Bloomberg**, 10 jan. 2018. Disponível em: <<https://www.bloomberg.com/news/articles/2018-01-10/bitcoin-can-drop-50-and-china-s-miners-will-still-make-money>>. Acesso em: 10 dez. 2019.

NAÇÕES UNIDAS BRASIL. **PNUD explica transição dos Objetivos do Milênio aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável**. 8 dez. 2015. Disponível em: <<https://nacoesunidas.org/pnud-explica-transicao-dos-objetivos-do-milenio-aos-objetivos-de-desenvolvimento-sustentavel/>>. Acesso em: 4 fev. 2020.

NAÇÕES UNIDAS BRASIL. **Objetivo 7**. Assegurar o acesso confiável sustentável, moderno e a preço acessível à energia para todas e todos. [s.d.]a. Disponível em: <<https://nacoesunidas.org/pos2015/ods7/>>. Acesso em: 4 fev. 2020.

NAÇÕES UNIDAS BRASIL. **Objetivo 12**. Assegurar padrões de produção e de consumo sustentáveis [s.d.]b. Disponível em: <<https://nacoesunidas.org/pos2015/ods12>>. Acesso em: 4 fev. 2020.

NARAYANAN, Arvind; BONNEAU, Joseph; FELTEN, Edward; MILLER, Andrew; GOLDFEDER, Steven. **Bitcoin and Cryptocurrency Technologies: a comprehensive introduction**. Princeton, New Jersey: Princeton University Press, 2016.

NGUYEN, Cong T.; HOANG, Dinh Thai; NGUYEN, Diep N.; NIYATO, Dusit; NGUYEN, Huynh Tuong; DUTKIEWICZ, Eryk. Proof-of-Stake Consensus Mechanisms for Future Blockchain Networks: fundamentals, applications and opportunities. **IEEE Access**, v. 7, 26 jun. 2019, p. 85727-85745. Disponível em: <<https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/8746079>>. Acesso em: 10 out. 2019.

NIRANJAN, Ajit. Bitcoin energy boom stamps down colossal carbon footprint. **Deutsche Welle**. 13 dez 2017. Disponível em: <<https://www.dw.com/en/bitcoin-energy-boom-stamps-down-colossal-carbon-footprint/a-41695365>>. Acesso em: 31 jul 2018.

NOACK, Rick. Cryptocurrency mining in Iceland is using so much energy, the electricity may run out. **The Washington Post**, 13 fev. 2018. Disponível em: <<https://www.washingtonpost.com/news/worldviews/wp/2018/02/13/cryptocurrency-mining-in-iceland-is-using-so-much-energy-the-electricity-may-run-out/>>. Acesso em: 07 dez. 2019.

NORMAN, Alan T. **Blockchain technology explained**. The ultimate beginner's guide about Blockchain wallet, mining, Bitcoin, Ethereum, Litecoin, Zcash, Monero, Ripple, Dash, Iota and Smart Contracts. CreateSpace Independent Publishing Platform, 2017. Kindle Edition.

ONS. **O Sistema Interligado Nacional**. 2020a. Disponível em: <<http://www.ons.org.br/paginas/sobre-o-sin/o-que-e-o-sin>>. Acesso em: 20 jan. 2020.

ONS. **O que é ONS**. 2020b. Disponível em: <<http://www.ons.org.br/paginas/sobre-o-ons/o-que-e-ons>>. Acesso em: 20 jan. 2020.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. **Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development**. 25 set. 2015. Disponível em: <[https://www.un.org/ga/search/view\\_doc.asp?symbol=A/RES/70/1&Lang=E](https://www.un.org/ga/search/view_doc.asp?symbol=A/RES/70/1&Lang=E)>. Acesso em: 7 fev. 2020.

PADILHA, Norma Sueli. **Fundamentos Constitucionais do Direito Ambiental Brasileiro**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2010.

PAQUET-CLOUSTON, Masarah; HASLHOFER, Bernhard; DUPONT, Benoit. Ransomware payments in the Bitcoin ecosystem. **Journal of Cybersecurity**, 2019, v. 5, n. 1, p. 1-11. Disponível em: <<https://academic.oup.com/cybersecurity/article/5/1/tyz003/5488907>>. Acesso em: 10 out. 2019.

PARTZ, Helen. Kyrgyzstan cuts off power to 45 crypto miners for overconsumption. **COINTELEGRAPH**, 20 set. 2019. Disponível em: <<https://cointelegraph.com/news/kyrgyzstan-cuts-off-power-to-45-crypto-miners-for-overconsumption>>. Acesso em: 20 nov. 2019.

PASSOS, Priscilla Nogueira Calmon de. A conferência de Estocolmo como ponto de partida para a proteção internacional do meio ambiente. **Revista Direitos Fundamentais e Democracia (Unibrasil)**. v. 6, 2009. Disponível em: <<http://www.egov.ufsc.br/portal/sites/default/files/18-19-1-pb.pdf>>. Acesso em: 11 dez 2018.

PATIL, Anjali; GOUDAR, Rajeshwari. A comparative survey on Symmetric Encryption Techniques for Wireless Devices. **International Journal of Scientific & Technology Research**, v. 2, n. 8, ago. 2013. Disponível em: <<http://www.ijstr.org/final-print/aug2013/A-Comparative-Survey-Of-Symmetric-Encryption-Techniques-For-Wireless-Devices.pdf>>. Acesso em: 22 jan. 2020.

PEREIRA JR., José de Sena. Cúpula Mundial sobre desenvolvimento sustentável, realizada em Johannesburgo, África do Sul. **Câmara dos Deputados**, consultoria legislativa, set. 2002. Disponível em: <[https://www2.camara.leg.br/atividade-legislativa/estudos-e-notas-tecnicas/publicacoes-da-consultoria-legislativa/arquivos-pdf/pdf/copy\\_of\\_208366.pdf](https://www2.camara.leg.br/atividade-legislativa/estudos-e-notas-tecnicas/publicacoes-da-consultoria-legislativa/arquivos-pdf/pdf/copy_of_208366.pdf)>.

PESSINI, Leo; SGANZERLA, Anor. Evolução histórica e política das principais conferências mundiais da ONU sobre o clima e meio ambiente. **Revista Iberoamericana de Bioética**. n. 1, mai 2016. Disponível em: <<https://revistas.upcomillas.es/index.php/bioetica-revista-iberoamericana/article/view/6772>>. Acesso em: 12 mar 2019.

PRABHU, Ruchi Nityanand. Cryptocurrency: saving privacy in digital age. **International Journal of Research in Economics and Social Sciences**. v. 7, issue 8, ago. 2017, p. 304-314. Disponível em: <<http://euroasiapub.org/wp-content/uploads/2017/09/29ESSAug-5367-2.pdf>>. Acesso em: 10 nov. 2019.

PRADO, Mariana Mota. O setor de energia elétrica. In: SCHAPIRO, Mario Gomes (Coord.). **Direito e economia na regulação setorial**. São Paulo: Saraiva, 2009, p. 3-35.

PRICE, Miles. **Blockchain**, la guía completa para la comprensión de la tecnología Blockchain. Createspace Independent Publishing Platform. 2017.

ROHR, Altieres. Entenda por que o Bitcoin desperdiça energia elétrica. Segurança digital. **G1**. Disponível em: <<http://g1.globo.com/tecnologia/blog/seguranca-digital/post/entenda-por-que-o-bitcoin-desperdica-energia-eletrica.html>>. Acesso em: 30 jul 2018.

SANTOS, Julia. Baleia movimenta mais de US\$ 310 milhões em Bitcoin com taxa de apenas US\$ 1. **CriptoFácil**. 05 dez. 2019. Disponível em: <<https://www.criptofacil.com/baleia-movimenta-mais-de-us310-milhoes-em-bitcoin-com-taxa-de-apenas-us1/>>. Acesso em: 10 dez. 2019.

SANTOS, Humberto Cunha dos. A atual geração de energia elétrica segundo a lógica de mercado e sua ainda caracterização como serviço público. **Revista Brasileira de Políticas Públicas**, v. 3, n. 2, p. 313-331, jul. – dez. 2013. Disponível em: <<https://www.publicacoesacademicas.uniceub.br/RBPP/article/view/1968>>. Acesso em: 01 jan. 2020.

SANTOS, Mariana Rodrigues Ribeiro dos; RANIERI, Victor Eduardo Lima. Critérios para análise do zoneamento ambiental como instrumento de



planejamento e ordenamento territorial. **Ambiente & Sociedade**, v. XVI, n.º 4, out. – dez. 2013, p. 43-62. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/asoc/v16n4/04.pdf>>. Acesso em: 10 jan. 2020.

SAVELYEV, Alexander. Copyright in the Blockchain era: promises and challenges. **Computer Law & Security Review**, n. 34, 2018, p. 550-561. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0267364917303783>>. Acesso em: 20 jan. 2020.

SCHWAB, Klaus. **A quarta revolução industrial**. Tradução: Daniel Moreira Miranda. São Paulo: Edipro, 2016.

SEBASTIAN, Lee. Bitcoin: Bitcoin mining and cryptocurrency Technologies – all you need to know to buy, mine and use Bitcoins. Cyber Learners, 2019. Kindle Edition.

SEN, Amartya. **Desenvolvimento como liberdade**. Tradução Laura Teixeira Motta. São Paulo: Companhia das Letras, 2010.

SHANE, Daniel. Bitcoin boom may be a disaster for the environment. In: **CNNtech**, 07, dez. 2017. Disponível em: <<https://money.cnn.com/2017/12/07/technology/bitcoin-energy-environment/index.html>>. Acesso em: 20 jul 2018.

SHEN, Lei; GAO, Tian-ming; CHENG, Xin. China's coal policy since 1979: a brief overview. **Energy Policy**. v. 40, jan 2012, p. 274-281. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301421511007853>>. Acesso em: 24 mar 2019.

STOLL, Christian; KLAABEN, Lena; GALLERSDÖRFER, Ulrich. The Carbon Footprint of Bitcoin. **Joule**, n. 3, 17 jul. 2019, p. 1647-1661. Disponível em: <[https://www.cell.com/joule/pdf/S2542-4351\(19\)30255-7.pdf](https://www.cell.com/joule/pdf/S2542-4351(19)30255-7.pdf)>. Acesso em: 10 nov. 2019.

SUBSECRETARIA DE ARRECADAÇÃO E ATENDIMENTO. Apresentação. **Receita Federal**, 9 dez. 2014. Disponível em: <<http://receita.economia.gov.br/orientacao/tributaria/cadastros/cadastro-nacional-de-pessoas-juridicas-cnpj/classificacao-nacional-de-atividades-economicas-2013-cnae/apresentacao>>. Acesso em: 01 fev. 2020.

SURDA, Mag Peter. **The origin, classification and utility of Bitcoin**. 14 mai. 2014. Disponível em: <[https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract\\_id=2436823](https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=2436823)>. Acesso em: 10set. 2019.

TAKASHIMA, Ikuya. **Bitcoin: The ultimate guide to the world of bitcoin, blockchain technology and cryptocurrency**. 2. ed. 2017. Kindle Edition.

TAN, Debran; HU, Feng; THIERIOT, Hubert; MCGREGOR, Dawn. Towards a water & energy secure China: tough choices ahead in power expansion with limited water resources. **China Water Risk**, abr. 2015. Disponível em: <<http://www.chinawaterrisk.org/wp-content/uploads/2015/04/Towards-A-Water-Energy-Secure-China-CWR0415.pdf>>. Acesso em: 4 dez. 2019.

TAPSCOTT, Don; TAPSCOTT, Alex. **Blockchain revolution**: como a tecnologia por trás do Bitcoin está mudando o dinheiro, os negócios e o mundo. São Paulo: Senai-SP Editora, 2016.

TASSEV, Lubomir. Two mining companies among Georgia's major electricity consumers. **Bitcoin.com**, 31 dez. 2018. Disponível em: <<https://news.bitcoin.com/two-mining-companies-among-georgias-major-electricity-consumers/>>. Acesso em: 06 dez. 2019.

TAYEB, Souhayel; LAGO, Felipe Chagas Villasuso. Blockchain Technology: between high hopes and challenging implications. **The Mena Business Law Review**, First Quarter. 02 abr.2018. pp. 34-43. Disponível em: <[https://works.bepress.com/felipe\\_lago/11/](https://works.bepress.com/felipe_lago/11/)>. Acesso em: 10 set. 2019.

THOMÉ, Romeu. **Manual de Direito Ambiental**. 7. ed. rev. atual. e ampl. Salvador: JusPodium, 2017.

TUWINER, Jordan. Bitcoin mining in China. **Buy Bitcoin Worldwide**. 28 jan 2019. Disponível em: <<https://www.buybitcoinworldwide.com/mining/china/>>. Acesso em: 13 fev 2019.

ULRICH, Fernando. **Bitcoin**: a moeda na era digital. São Paulo: Instituto Ludwig Von Mises Brasil, 2014.

U.S. ENERGY INFORMATION ADMINISTRATION. **Quick facts**. 21 mar. 2019. Disponível em: <<https://www.eia.gov/state/?sid=NE>>. Acesso em: 02 dez. 2019.

VINCENT, James. Bitcoin consumes more energy than Switzerland, according to new estimate. **The Verge**, 4 jul. 2019. Disponível em: <<https://www.theverge.com/2019/7/4/20682109/bitcoin-energy-consumption-annual-calculation-cambridge-index-cbeci-country-comparison>>. Acesso em: 12 out. 2019.

VOSHMIR, Shermin. Blockchains & Distributed Ledger Technologies. **Blockchainhub Berlin**. 2019. Disponível em: <<https://blockchainhub.net/blockchains-and-distributed-ledger-technologies-in-general/>>. Acesso em: 22 out. 2019.

VRIES, Alex de. Bitcoin's Growing Energy Problem. **Joule**, v. 2, issue 5, 16 mai. 2018, p. 801-809. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2542435118301776>>. Acesso em: 10 out. 2019.

WANG, Jennifer; XU, Johnson; ZHAO, Wayne. 2019 Mining Industry Annual

Research Report. **TokenInsight**, jan. 2020. Disponível em: <[https://www.icloud.com/keynote/0KMVZ1i8B6Mz-HR5z-GXR2NhA#TI-2019\\_Mining\\_Industry\\_Annual\\_Research\\_Report-201912\\_1](https://www.icloud.com/keynote/0KMVZ1i8B6Mz-HR5z-GXR2NhA#TI-2019_Mining_Industry_Annual_Research_Report-201912_1)>. Acesso em: 10 jan. 2020.

WIEDMANN, Thomas; MINX, Jan Christoph. **A definition of Carbon Footprint**. Jan. 2008. Disponível em: <[https://www.researchgate.net/publication/247152314\\_A\\_Definition\\_of\\_Carbon\\_Footprint](https://www.researchgate.net/publication/247152314_A_Definition_of_Carbon_Footprint)>. Acesso em: 10 ago. 2019.

WILLMS, Jessie. Energy incentives make Bitcoin mining a natural fit for B.C., Canada. **Bitcoin Magazine**, 21 dez. 2018. Disponível em: <<https://bitcoinmagazine.com/articles/energy-incentives-make-bitcoin-mining-natural-fit-bc-canada>>. Acesso em: 5 jan. 2020.

WILLMS, Jessie. Bitcoin mining in North America: a new gold rush in the New World. **Bitcoin Magazine**, 3 dez. 2019b. Disponível em: <<https://bitcoinmagazine.com/articles/bitcoin-mining-in-north-america-a-new-gold-rush-in-the-new-world>>. Acesso em: 5 jan. 2020.

WILLMS, Jessie. Mojave, California could be the home of sustainable Bitcoin mining. **Bitcoin Magazine**, 2 ago. 2019a. Disponível em: <<https://bitcoinmagazine.com/articles/fifty-acres-mojave-desert-home-sustainable-bitcoin-mining>>. Acesso em: 5 jan. 2020.

WILLMS, Jessie. Canadian Provinces compete for attention of Bitcoin mining businesses. **Bitcoin Magazine**, 1 mai. 2019c. Disponível em: <<https://bitcoinmagazine.com/articles/canadian-provinces-compete-attention-bitcoin-mining-businesses>>. Acesso em: 5 jan. 2020.

WILT, James. **Bitcoin miners are eating up Canada's electricity**. *The Narwhal*, 28 jun. 2018. Disponível em: <<https://thenarwhal.ca/bitcoin-miners-are-eating-up-canadas-electricity/>>. Acesso em: 7 dez. 2019.

YU, Aiqun; SHEARER, Christine. Time for China to stop bankrolling coal: China is out of step with the world on coal, at home and abroad. **The Diplomat**, 29 abr. 2019. Disponível em: <<https://thediplomat.com/2019/04/time-for-china-to-stop-bankrolling-coal/>>. Acesso em: 14 nov. 2019.

ZACCAI, Edwin. Over two decades in pursuit of sustainable development: influence, transformations, limits. **Environmental Development**. v. 1, jan. 2012, p. 79-90. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2211464511000030>>. Acesso em: 10 mar 2019.

ZANINI, Fábio. Energia barata de Itaipu faz brasileiro dobrar aposta em Bitcoin no Paraguai. **Folha de S. Paulo**, 13 out. 2019. Disponível em: <<https://www1.folha.uol.com.br/mercado/2019/10/energia-barata-de-itaipu-faz-brasileiro-dobrar-aposta-em-bitcoins-no-paraguai.shtml>>. Acesso em: 17 dez. 2019.

ZHAO, Wolfie. Chinese Agency scraps plan to eliminate Bitcoin mining industry. **Coindesk**, 06 nov. 2019. Disponível em: <<https://www.coindesk.com/chinese-agency-scraps-plan-to-eliminate-bitcoin-mining-industry>>. Acesso em: 10 dez. 2019.

ZHENG, Zibin; XIE, Shaoan; DAI, Hong-Ning; CHEN, Xiangping; WANG, Huaimin. Blockchain challenges and opportunities: a survey. **International Journal of Web and Grid Services**, v. 14, n. 4, 2018, p. 352-375. Disponível em: <<http://www.inderscience.com/offer.php?id=95647>>. Acesso em: 10 set. 2019.