

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALFENAS - UNIFAL-MG

Instituto de Ciências Sociais Aplicadas - ICSA

LUIZ AUGUSTO BORGES PEREIRA

**A MINERAÇÃO DA CRIPTOMOEDA BITCOIN E SEU IMPACTO
SOCIOAMBIENTAL**

VARGINHA/MG

2022

LUIZ AUGUSTO BORGES PEREIRA

**A MINERAÇÃO DA CRIPTOMOEDA BITCOIN E SEU IMPACTO
SOCIOAMBIENTAL**

Trabalho de conclusão de Programa Integrado de Ensino, Pesquisa e Extensão (PIEPEX) apresentado ao Instituto de Ciências Sociais Aplicadas da Universidade Federal de Alfenas como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Ciência e Economia.

Orientadora: Dra. Kellen Rocha de Souza

VARGINHA/MG

2022

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)
Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal de Alfenas

Pereira, Luiz Augusto Borges.

A mineração da criptomoeda bitcoin e seu impacto socioambiental /
Luiz Augusto Borges Pereira. - Varginha, MG, 2022.

31 f. : il. -

Orientador(a): Kellen Rocha de Souza.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Bacharelado
Interdisciplinar em Ciência e Economia) - Universidade Federal de Alfenas,
Varginha, MG, 2022.

Bibliografia.

1. Mineração. 2. Criptomoeda. 3. Bitcoin. 4. Impactos ambientais. 5.
Energia. I. Souza, Kellen Rocha de , orient. II. Título.

LUIZ AUGUSTO BORGES PEREIRA

**A MINERAÇÃO DA CRIPTOMOEDA BITCOIN E SEU IMPACTO
SOCIOAMBIENTAL**

A banca examinadora abaixo-assinada aprova o Trabalho de Conclusão de PIEPEX apresentado como parte dos requisitos para obtenção do título de Bacharel Interdisciplinar em Ciência e Economia pelo Instituto de Ciências Sociais Aplicadas da Universidade Federal de Alfenas.

Aprovado em: 11 de abril de 2022 (Processo SEI nº 23087.001471/2022-41)

Prof. Dra. Kellen Rocha de Souza (orientadora)

Universidade Federal de Alfenas

Prof. Dr. André Luiz da Silva Teixeira

Universidade Federal de Alfenas

Prof. Dra. Lora dos Anjos Rodrigues

Universidade Federal de Alfenas

RESUMO

Desde que foi criada em 2008, a moeda digital *bitcoin*, pioneira no ramo de criptomoedas e idealizadora da tecnologia *blockchain*, tem despertado a atenção de muitos agentes econômicos, pois diferentemente do modelo usual no qual a sociedade está acostumada, a criptomoeda traz junto consigo a descentralização, ou seja, não existe nenhum órgão ou governo que interfira na emissão, controle e intermediação das transações da criptomoeda, ficando tais atribuições sob a responsabilidade dos próprios usuários da rede. Para a criação de criptomoedas, por sua vez, é necessário o processo denominado de mineração, atividade que requer a necessidade de grande consumo de energia. Dado tal contexto, a presente pesquisa analisa por meio de revisão de literatura o processo de mineração da criptomoeda *bitcoin* com o objetivo de, com base no seu funcionamento, analisar seus danos à sociedade, à economia e seu impacto ambiental. Dentre os impactos negativos da mineração tem-se o consumo exacerbado de energia proveniente de fontes de energia poluentes, o que aumenta a emissão de gases de efeito estufa na atmosfera, visto que somente em 2022 poderão ser emitidos pela atividade mineradora 114 milhões de toneladas de CO₂. Dessa maneira, entra em desacordo com os objetivos das políticas internacionais que visam uma melhora na qualidade de vida e um desenvolvimento sustentável, criando e antecipando problemas que até então não eram colocados em pautas. Portanto, a partir da análise realizada nesta pesquisa pôde-se observar que, apesar de trazer inovações na área da tecnologia, como o desenvolvimento e uso da tecnologia *blockchain*, da forma que atualmente todo o processo de minerar um *bitcoin* acontece, este é extremamente prejudicial ao planeta porque, além de recursos ambientais e materiais serem usados inconsequentemente para a criação de um bem imaterial, sua atuação dentro da sociedade é prejudicial dentro das relações humanas, intensificando as desigualdades e fortalecendo o atual modelo econômico que beneficia poucos e excluem muitos.

Palavras chave: Mineração; Criptomoeda; Bitcoin; Impactos ambientais; Energia.

ABSTRACT

Since it was created in 2008, the digital currency bitcoin, a pioneer in the field of cryptocurrencies and creator of blockchain technology, has attracted the attention of many economic agents, because unlike the usual model in which society is accustomed, cryptocurrency brings with it the decentralization, that is, there is no body or government that interferes in the issuance, control and intermediation of cryptocurrency transactions, leaving such attributions under the responsibility of the network users themselves. For the creation of cryptocurrencies, in turn, the process called mining is necessary, an activity that requires the need for great energy consumption. Given this context, the present research analyzes, through a literature review, the mining process of the bitcoin cryptocurrency in order to, based on its functioning, analyze its damage to society, the economy and its environmental impact. Among the negative impacts of mining is the exacerbated consumption of energy from polluting energy sources, which increases the emission of greenhouse gases into the atmosphere, since only in 2022 can be emitted by the mining activity 114 million tons of CO₂. In this way, it is at odds with the objectives of international policies aimed at improving the quality of life and sustainable development, creating and anticipating problems that had not been put on the agenda until then. Therefore, from the analysis carried out in this research, it was observed that, despite bringing innovations in the area of technology, such as the development and use of blockchain technology, in the way that the entire process of mining a bitcoin currently takes place, this is extremely harmful to the planet because, in addition to environmental and material resources being used inconsequentially for the creation of an intangible assets, its performance within society is harmful within human relations, intensifying inequalities and strengthening the current model that benefits few and excludes many.

Keywords: Mining; cryptocurrency; Bitcoin; Environmental impacts; Energy.

SUMÁRIO

1 - INTRODUÇÃO	8
2 DESENVOLVIMENTO	9
2.1 Criptografia e criptomoeda	9
2.2 Bitcoin e a tecnologia blockchain	10
2.3 - Mineração de criptomoedas	14
2.4 Consumo de energia da mineração de criptomoedas	15
2.5 Os impactos da mineração de bitcoins	18
3 CONSIDERAÇÕES FINAIS	25
REFERÊNCIAS	28

1 - INTRODUÇÃO

Não é de hoje que preocupações relacionadas ao poder de emissão de gases de efeito estufa na atmosfera por parte de grandes economias mundiais vêm sendo debatidas, visto que as Conferências das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento, como as denominadas como ECO 92 e a RIO+20 e realizadas, ambas na cidade do Rio de Janeiro e respectivamente nos anos de 1992 e 2012, são exemplos da preocupação mundial em ter um desenvolvimento sustentável e uma melhor qualidade de vida. Além disso, preocupações com o futuro do planeta também podem ser vistas no compromisso de vários países com a Agenda 2030 da ONU, criada em 2015 e que visa um mundo mais sustentável e resiliente nos próximos 15 anos. Isso porque a emissão dos gases que causam o efeito estufa tem sido apontada como o principal fator que ocasiona e acelera as mudanças climáticas no mundo todo, e a mineração do *bitcoin*, de acordo com o que será apresentado neste trabalho, está antecipando e criando novos problemas a serem discutidos. Dessa forma, torna-se importante analisar os impactos sociais, ambientais e econômicos relacionados à mineração do *bitcoin*.

Ao mesmo tempo em que novas tecnologias são criadas para permitir avanços ou facilidades à humanidade, juntos dela, no entanto, podem vir riscos. A criptomoeda denominada de *bitcoin*, criada por Nakamoto em 2008, trouxe consigo uma ideia de ser a revolução dentro do modelo de moedas digitais, pois diferentemente do modelo usual em que a sociedade está acostumada, a criptomoeda traz junto consigo a descentralização, ou seja, não existe nenhum órgão ou governo que interfira na emissão, controle e intermediação das transações da criptomoeda, ficando tais atribuições sob a responsabilidade dos próprios usuários da rede.

No que se refere à oferta de unidades de criptomoedas, tem-se o processo que ficou conhecido como mineração. Esta se tornou a forma que os usuários usam para que toda a rede funcione, ficando assim por conta dos usuários, que por sua vez realizam a mineração, ou seja a emissão de novas unidades de moedas e a disponibilidade, sendo também responsável por “aprovar” novas transações. Porém, como já foi dito, apesar de ter alguns benefícios, como por exemplo mais liberdade e privacidade na realização de transações financeiras, existem também malefícios por trás do processo de mineração das criptomoedas.

Assim, a presente pesquisa objetiva abordar como esses malefícios advindos da mineração da criptomoeda *bitcoin* afetam diretamente nossa sociedade, principalmente devido à alta demanda de energia, requerida para realizar os cálculos extremamente complexos que são essenciais para o funcionamento da rede do *bitcoin*, visto que para se tornar lucrativo para

o minerador faz-se necessário o uso de inúmeros computadores ligados 24 horas por dia durante 7 dias por semana. Portanto, visa-se a partir da problemática proposta apresentar alternativas já existentes que sejam viáveis para os dois lados dessa disputa, um lado sendo os mineradores e entusiastas do modelo e o outro sendo a sociedade em geral, que mesmo que não esteja tão ciente dos problemas que esse tipo de atividade ocasiona, é preciso que medidas sejam tomadas para que isso não se torne um problema maior e acentue os problemas já existentes na esfera ambiental e social, como a emissão de gases danosos ao planeta, por exemplo.

Para o alcance de tal objetivo a presente pesquisa está dividida em mais duas seções, além desta introdução. Na primeira subseção da segunda seção, é abordada como foi criada e como funciona a criptomoeda, o que inclui a discussão do modelo de segurança utilizado e baseado na criptografia e do procedimento para se ter uma transação aprovada. A terceira subseção, por sua vez, aprofunda um pouco mais o assunto e expõe como a mineração é o fator de maior importância dentre todos no funcionamento do *bitcoin*, o que faz com que seja viável todo o desempenho da rede do *bitcoin*. Dessa maneira, por meio de estudo teórico e comparativo, traz-se o consumo exagerado e inconsequente de energia elétrica vindo da mineração da criptomoeda *bitcoin*, utilizando de recursos naturais e materiais para a criação de um bem imaterial, menciona-se também impactos na economia e na sociedade como um todo. Por fim, na terceira e última seção, são apresentadas as considerações finais.

2 DESENVOLVIMENTO

2.1 Criptografia e criptomoeda

A promessa de universalidade e de rápido e fácil acesso em qualquer lugar do mundo, bem como os possíveis altos lucros gerados a partir do mercado das moedas digitais, são alguns dos pontos que chamam a atenção quando se fala no assunto das criptomoedas. Com o objetivo de ser uma outra alternativa, às pessoas que pretendem utilizá-la de forma mais consistente, a forma usual de se usar o dinheiro digital, as criptomoedas têm sua originalidade (que serão citadas adiante) quando comparada ao modelo tradicional das moedas digitais, que é o dinheiro físico sendo usado no âmbito digital. De acordo com Vitorio (2021), toda criptomoeda é uma moeda digital, mas nem toda moeda digital é uma criptomoeda, e isso se dá principalmente pelas quatro principais características das criptomoedas que as diferenciam do modelo tradicional de moedas digitais, que são: a descentralização, o valor, a privacidade,

e a segurança.

A partir dessa originalidade, aumentou-se o interesse de parte da população no mercado de criptomoedas, passando este a obter grande destaque em vários setores dentro do cenário mundial, dentre eles o mercado financeiro e o *e-commerce*, e um ponto que deve ser destacado para explicar tal evidência é a criptografia. De acordo com Menezes, Van Oorschot e Vanstone (1996 *apud* MOIA, 2014, p. 1) "a criptografia é um estudo de técnicas matemáticas relacionadas com a segurança da informação, que tem como meta garantir confidencialidade, integridade, autenticação e irretratabilidade da informação".

Dadas tais especificidades, a criptografia é usada como base para todas as operações que ocorrem dentro do mercado de criptomoedas, protegendo as transações, os dados e as informações dos usuários. Ademais, a criptografia também é um fator de suma importância para a criação de novas unidades de moedas digitais, já que por estas serem descentralizadas não há um órgão regulador/governo para ficar responsável por todas as operações envolvidas, desde o controle até a emissão de moedas, sendo que no caso das moedas digitais tais obrigações são destinadas aos próprios usuários (SILVA e CRUZ, 2014).

Segundo MOIA (2014), o sistema criptográfico utilizado por trás de todo o processo das moedas digitais se chama criptografia assimétrica, que é baseado em funções matemáticas complexas e que se utiliza de um par de chaves, sendo uma pública e uma privada. As chaves públicas são endereços que servem como identificação do remetente e do destinatário para os pagamentos, e as chaves privadas podem ser definidas como o meio para a autorização das transações, sendo que todos os usuários ativos dentro do mercado das criptomoedas possuem duas chaves, uma para identificação e outra para a validação.

Apesar de existirem muitas criptomoedas no mundo, como a *Ethereum* e a *Tether*, há uma em específico que chama a atenção por ser a mais negociada e conhecida dentre todas, sendo também a pioneira nesse ramo de criptomoedas e que, portanto, serviu como influenciadora para que as outras seguissem seu modelo de sucesso, trata-se do *bitcoin* (BOARON, 2018).

2.2 Bitcoin e a tecnologia blockchain

Até algum tempo atrás todas as transações bancárias *online* necessitavam de um terceiro intermediário de confiança para dar legitimidade nas operações, porém em 2008, com a criação da moeda digital *bitcoin* pelo programador de pseudônimo Satoshi Nakamoto, isso

mudou. A criação da criptomoeda mais famosa do mundo foi revolucionária dentro do meio em questão por ser a primeira que conseguiu eliminar o intermediador das operações, como os bancos convencionais, e resolver o problema do gasto duplo, que acontece quando o usuário consegue gastar mais de uma vez a mesma moeda.

Para se ter um entendimento melhor do que se trata o gasto duplo, pode-se fazer a comparação neste caso entre o *bitcoin* e um arquivo qualquer de computador. Ulrich (2014) explica que uma pessoa poderia enviar 100 unidades monetárias anexando o arquivo que contém o dinheiro a uma mensagem, porém assim como ocorre com um endereço eletrônico (e-mail), enviar um arquivo como anexo não o remove do computador originador do e-mail. A pessoa então que enviou o arquivo que contém o dinheiro ainda o teria disponível em seu computador mesmo tendo enviado a outra pessoa, dessa forma ela poderia enviar novamente as mesmas 100 unidades monetárias. No estudo da ciência da computação, isso é conhecido como o problema do “gasto duplo”.

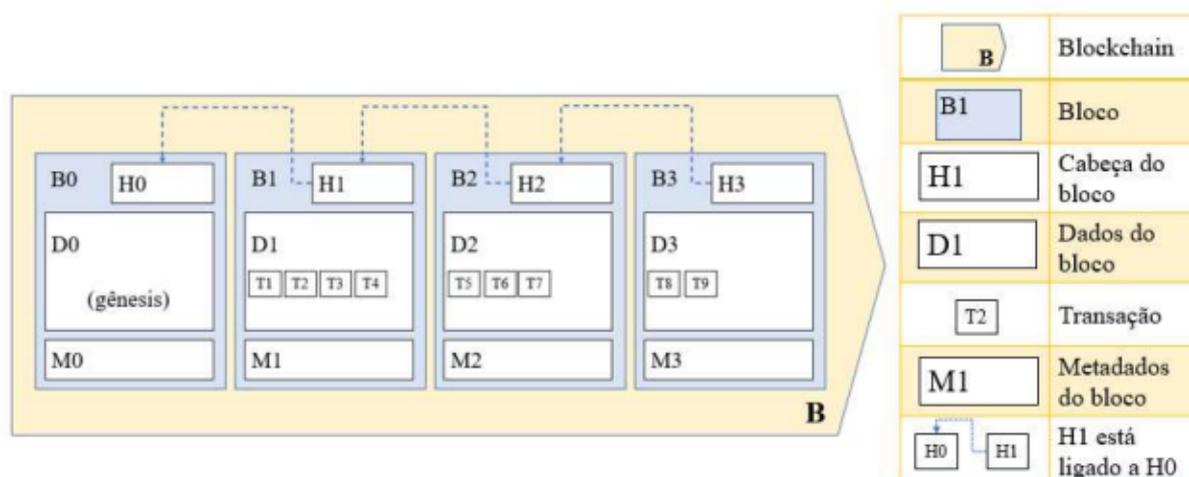
O sucesso por trás de todo esse processo vem de uma outra tecnologia que foi criada junto com a criptomoeda, o *blockchain*. Sobre esta tecnologia, segundo Lucena (2016, p. 1):

O *blockchain* surgiu com a criptomoeda Bitcoin e tinha por objetivo ser um livro-razão em que todas as transações financeiras de todos os usuários de Bitcoin ficassem armazenadas de forma a não ocorrer o problema de gasto duplo e não ser necessário um órgão centralizador para validar as transações financeiras efetuadas.

Em outras palavras, Ulrich (2014) define a tecnologia *blockchain* como uma cadeia de dados armazenados em blocos conectados por funções criptográficas que impedem a adulteração do conteúdo presente em cada bloco, visto que seus dados estão armazenados em múltiplos servidores e disponibilizados para todo o público. Para acessar um bloco de dados, para, por exemplo, roubar informações ou fraudar a rede, seria necessário desvendar também a criptografia de todos os outros blocos de dados que vieram antes.

Para melhor compreensão do assunto, na Figura 1, é possível observar como os dados presentes na tecnologia *blockchain* estão interligados. Dias (2019 *apud* D'AVILA, 2020) explica que a *blockchain* conecta seus blocos a partir do armazenamento em sua cabeça (*header*, representado na Figura 1 como H0, H1, H2, H3) do bloco, o *hash* das suas transações como também o *hash* do bloco anterior. Desse modo, qualquer alteração feita em um bloco pode ser descoberta fazendo a comparação com as informações do bloco anterior. De acordo com Schechtman (2020, *apud* D'AVILA, 2019), *hash* é o resultado de cálculos matemáticos complexos que compõem um bloco.

Figura 1 - Ligações entre blocos na tecnologia *blockchain*



Fonte: D'ávila (2020).

Desse modo, pode-se atribuir a responsabilidade por todo o registro das transações e da segurança da criptomoeda a tecnologia *blockchain*. Com todo esse aparato em relação a segurança das transações envolvendo criptomoedas é possível que pessoas que não se conheçam estabeleçam uma relação de confiança sem um intermediário de confiança entre as partes que estão transacionando.

Como já foi dito, o funcionamento das transações que ocorrem com moedas digitais, nesse caso específico do *bitcoin*, é resumido numa rede de pagamentos *peer-to-peer*, ou simplesmente rede de ponto a ponto, onde cada usuário tem uma chave pública, essa de conhecimento de todos, e uma privada, que é mantida em segredo e com senha por cada usuário. Segundo Ulrich (2014) quando ocorre uma operação a pessoa que irá mandar a moeda para outro usuário da rede assina a transação com sua chave privada, junto da chave pública do receptor. Depois de concluída a transação, qualquer usuário da rede pode conferir na chave pública da pessoa que mandou a moeda que a mesma assinou a operação com sua chave privada, verificando assim que o receptor é o novo dono dos fundos disponibilizados. Essa passagem de posse dos *bitcoins* é registrada com data e hora nos blocos que compõem o *blockchain*, e como esta é uma tecnologia baseada em chave pública, qualquer computador pode obter um registro atualizado e verificado de todas as operações dentro da rede, passo importantíssimo para evitar fraudes neste modelo de transações.

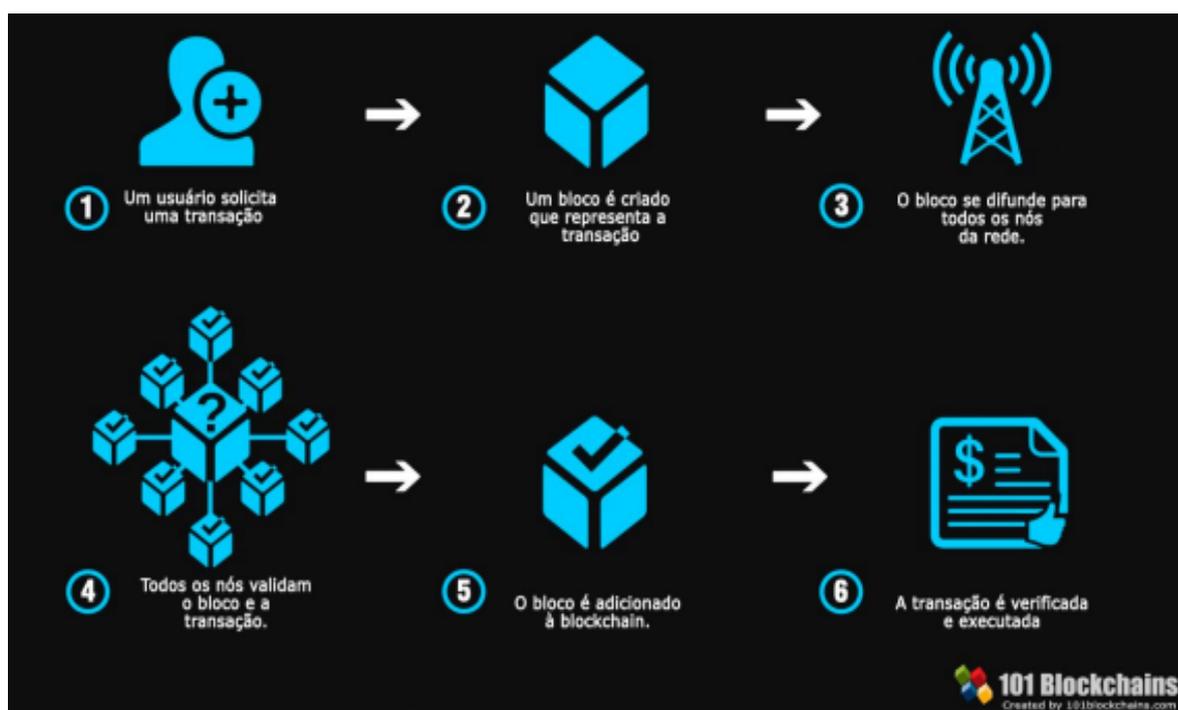
Por ser uma rede de ponto a ponto e descentralizada, não há um órgão responsável, como um Banco Central, para verificar as informações geradas durante uma transação e muito menos emitir novas unidades de moedas, o que fica a cargo dos próprios usuários da rede. Assim, toda a tecnologia *blockchain* depende da criação de novos blocos a partir da inserção

de mais e mais dados obtidos da verificação das transações, sendo que este processo de criação pode também estar atrelado a emissão de novas unidades de moedas, e isso depende exclusivamente do auxílio das pessoas que estão obstinadas a realizar o trabalho de adicionar novos blocos na *blockchain*.

A criação de novos blocos, entretanto, é um trabalho complicado por se basear na resolução de inúmeras funções matemáticas complexas e ter vários outros usuários, em busca de um embolso satisfatório, tentando chegar simultaneamente no mesmo resultado. Isso faz com que apenas o primeiro usuário que conseguir criar um bloco, inserir e validar as últimas transações feitas, seja recompensado, pelo esforço do trabalho feito, com alguma taxa e/ou alguma quantidade da criptomoeda. Os usuários que estão dispostos a realizar esse trabalho são chamados de mineradores (LUCENA, 2016).

Na Figura 2 é possível observar como funciona a tecnologia *blockchain* e todo o processo de validação de uma transação, passo a passo, ou seja, inicialmente um determinado usuário solicita uma transação; a partir desta ação a rede faz a adição de uma assinatura criptográfica, conhecida como bloco; logo em seguida ele é transmitido para todos os computadores presentes na rede e assim se faz a autenticação da transação proposta. Por fim, sendo autenticada, a transação é adicionada à *blockchain* e confirmada.

Figura 2 - Funcionamento da tecnologia *blockchain*



2.3 - Mineração de criptomoedas

A mineração de criptomoedas é de suma importância para que todo o processo de funcionamento do criptoativo ocorra corretamente, visto que é a partir da mineração que se faz o controle de tudo o que acontece dentro da rede e é ela a responsável por emitir novas unidades da moeda. Como já foi dito anteriormente o processo de minerar uma criptomoeda é complicado e trabalhoso, e por isso quando se consegue chegar no objetivo esperado há uma recompensa por isso.

De acordo com Bazan (2018), minerar uma criptomoeda começa quando novas transações são geradas, sendo que estas são direcionadas para um conjunto de outras transações ainda não registradas e como tais informações das transações são sempre divulgadas publicamente qualquer pessoa pode acessá-las. É nesse momento que acontece uma corrida visto que cada minerador tenta construir o bloco contendo as informações que foram geradas, o que depende exclusivamente da resolução de um complexo problema matemático por meio da abordagem da tentativa e erro. Quando a solução é encontrada, o bloco pode ser validado e direcionado ao *blockchain*, e o minerador que encontrou a solução é recompensado com *bitcoins*. Esse processo é chamado de *proof of work*, ou prova de trabalho, procedimento conhecido quando ocorre uma recompensa pelo trabalho realizado.

Nos primórdios desse ramo de trabalho não era necessário um computador com poder de processamento de dados muito grande para realizar o trabalho, ou seja, um computador comum poderia ser usado de forma eficaz, o que, por sua vez, tornava o processo acessível individualmente a qualquer pessoa detentora de um computador e que estivesse interessada no assunto. Isso porque os algoritmos, no início, eram “fáceis” de serem resolvidos, explica Alkudmani (2020). No entanto, com o aumento da popularidade das criptomoedas, sua demanda também aumentou, e, conseqüentemente, a mineração acompanhou sua ascensão.

Assim, todo o processo de minerar, com o passar do tempo, ficou cada vez mais complicado e competitivo. Com o uso das criptomoedas cada vez maior em todo o mundo, o número de usuários minerando cresceu consideravelmente, e dessa maneira a própria rede dificultava o processo de mineração da moeda, com problemas matemáticos cada vez mais complicados e complexos, pois um dos fatores que implicam no alto valor das criptomoedas é a dificuldade em obtê-las, bem como sua escassez (SILVA FILHO et al, 2018).

Ulrich (2014) aponta que todo esse processo de minerar *bitcoins* tem data de validade, e isso porque a quantidade disponível a ser minerada é limitada, pois o *bitcoin* foi projetado

para simular a extração de ouro, ou de outro metal precioso, na terra. Assim, a quantidade disponível a ser minerada foi escolhida de forma arbitrária em 21 milhões de unidades, sendo que 90% deste total já foram minerados em 12 anos. Apesar disto, de acordo com estimativas baseadas nas atividades de rede e nos cronogramas do *halving* (característica embutida dentro da rede da criptomoeda que faz reduzir sua emissão a cada 4 anos, fazendo assim a taxa de escassez dobrar e aumentar o seu valor de mercado (PETROVSKI, 2020)), o último *bitcoin* a ser minerado só deve acontecer no próximo século, mais precisamente em fevereiro de 2140 (COINDESK, 2021).

A mineração, como explica Ulrich (2014), também não deixará de existir, uma vez que os mineradores que direcionarem seu poder de processamento de dados à ação de verificar transações serão recompensados com taxas de serviços, como uma forma de incentivo para manter a rede ativa mesmo após a última moeda ser minerada. Hoje um usuário que conseguir validar uma transação recebe, como recompensa pelo trabalho feito, uma taxa de 6,25 *bitcoins*, segundo Sérgio (2021), o que equivale a R\$1.309 milhões na cotação do dia 17/02/2022.

Dessa maneira, é possível observar que quanto maior a capacidade computacional dedicada à mineração das criptomoedas, mais o protocolo da rede incrementa os problemas a serem resolvidos. Se antes era possível obter algum retorno minerando em casa e individualmente, hoje pode-se afirmar que isso ficou no passado, porque o processo de mineração de criptomoedas virou uma competição, onde quem tiver os melhores recursos ganhará o tão esperado prêmio, e quando se fala em recursos, fala-se também dos dispositivos de alto poder de processamento de dados criados especificamente para fazer a mineração. Assim, observa-se que o retorno financeiro da mineração de criptomoedas está diretamente relacionado à capacidade de processamento de dados do computador utilizado para realizar todo o trabalho.

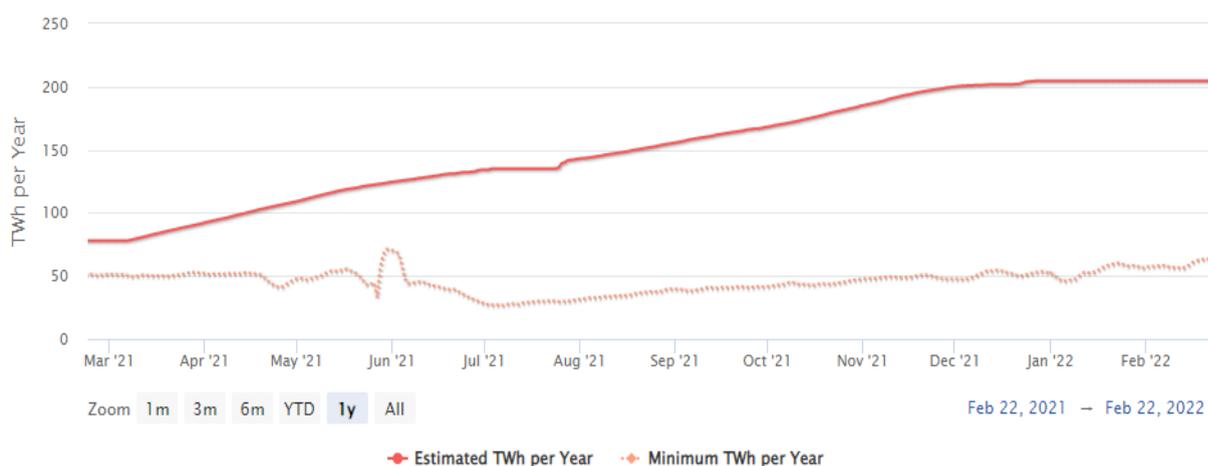
2.4 Consumo de energia da mineração de criptomoedas

Diante do avanço tecnológico dentro do setor da mineração de criptomoedas e da grande publicidade feita em cima dos lucros gerados a partir dela, muitas das vantagens de entrar nesse mercado foram exaltadas. No entanto, todo sucesso tem um preço, e nesse caso, é muito alto. A utilização desse método de trabalho tem um custo altíssimo, tanto de energia

elétrica para manter todos os equipamentos necessários ligados para fazer a mineração, como também dos próprios equipamentos, que se desgastam mais rapidamente com o tempo devido à forma que são utilizados.

O consumo de energia elétrica dentro do mercado das criptomoedas, seja minerando ou até mesmo realizando apenas uma transação, é tão elevado que, de acordo com Qweyer e Malone (2014, p. 4), mesmo que o valor do *bitcoin* seja decidido por aqueles que os negociam, também pode-se dizer que o custo da eletricidade está relacionado de alguma forma à formação deste valor. Isso porque, de acordo com o especialista em *blockchain*, Alex de Vries, fundador da página *online blog* Digiconomist (plataforma eletrônica dedicada a expor as consequências não intencionais das tendências digitais por uma perspectiva econômica) e criador também do índice BECI (*Bitcoin Electricity Consumption Index*), de fevereiro de 2021 até fevereiro de 2022 haverá um aumento de 162,98% do consumo de energia no mundo utilizada pelo mercado do *bitcoin*, ou seja, o consumo estimado passou, respectivamente, de 77,78 TWh (Terawatt-hora) por ano para 204 TWh (Terawatt-hora) por ano, tal como pode-se observar na Figura 3. Vale destacar também que um Terawatt equivale a um bilhão de Kilowatts.

Figura 3 - Consumo estimado de eletricidade mundial de toda a rede *bitcoin* no período de fevereiro de 2021 a fevereiro de 2022, em Terawatt-hora (TWh) por ano



Fonte: Digiconomist (2022b).

O método atual de mineração de blocos incentiva milhares de pessoas ao redor do mundo a minerar, visto que a mineração pode oferecer um fluxo sólido de receitas, e desta maneira, o mercado de mineração está disposto a operar computadores cada vez mais ávidos por energia. Esse processo ao longo dos anos, no entanto, fez com que o nível de consumo de

energia chegasse a proporções altas, o que consequentemente fez com que toda a rede *bitcoin* passasse a consumir mais energia elétrica do que vários países. Isso pode ser percebido quando se faz a comparação do consumo anual de energia de toda a rede de *bitcoin*, em Terawatt-hora (TWh), com o consumo de cada país, presente na Tabela 1.

Tabela 1 - Ranking de consumo de energia elétrica (Terawatt-hora (TWH) por ano) em países selecionados no ano de 2021

PAÍS	TWH por ano
26 - Egito	160.1
25 - Polónia	166.8
24 - Tailândia	195.1
23 - <i>Bitcoin</i>	204.5
22 - Vietnam	227.2
21 - África do Sul	228.6
20 - Austrália	247.6

Fonte: Digiconomist (2022b).

A partir da Tabela 1, é possível notar que se a rede *bitcoin* fosse um país, ela assumiria a vigésima terceira posição no ranking de países mais consumidores de energia do mundo dentre todos os países, ficando acima inclusive de países com mais de 100 milhões de habitantes, como o Egito e a Nigéria. Quando se compara o consumo de toda a rede *bitcoin* com o dos maiores países consumidores de energia do mundo, como por exemplo EUA e Rússia, segundo e terceiro colocados respectivamente, vemos que os 204.5 TWh consumidos pela rede por ano seriam suficientes para abastecer 4,8% de todo os Estados Unidos da América e 20,5% de toda a Rússia (DIGICONOMIST, 2022b). Porém, apenas comparar o consumo, total ou estimado, com outros países e/ou regiões específicas, apesar de esclarecer o quão alto é o consumo de energia da rede *bitcoin*, pode possibilitar uma visão muito geral. Assim, torna-se interessante comparar o consumo de energia da rede *bitcoin* com o consumo de outros sistemas de pagamentos/instituições financeiras.

De acordo com McCock (2014 *apud* De Vries, 2019), em 2019, todo o setor bancário utilizou 650 TWh de energia por ano (estimativa baseada no consumo dos anos anteriores), estimativa esta que considera não apenas o consumo dos sistemas que processam as transações feitas, mas também o das agências e caixas eletrônicos. Quando se analisa somente

os sistemas de processamento de transações, chega-se ao número de 194 TWh no ano de 2014, com crescimento estimado em 3% até 2020. Já toda a rede *bitcoin* utilizou em 2018, de 40 TWh até 62,3 TWh, porém é importante ressaltar que como todo o setor financeiro é significativamente maior do que toda a rede *bitcoin*, é importante fazer uma análise considerando o consumo por transação feita.

Segundo De Vries (2019), toda a rede *bitcoin* fez, em 2018, um total de 81,4 milhões de transações, o que permite constatar que uma única transação feita consumiu em média de 491,4 KWh a 765,4 KWh. Esse mesmo autor sugere que a indústria bancária global está realizando em média 482,6 bilhões de transações por ano, sendo que o consumo médio de energia para realizar as transações chega, portanto, a 0,4 KWh (considerando apenas o consumo de energia dos sistemas de processamento, ou seja, 194 TWh/482,6 B). De acordo com o índice de consumo de energia do *bitcoin* (2022), em 2022 o consumo médio por transação da rede *bitcoin* aumentou drasticamente, alcançando incríveis 2.252,22 KWh, o que equivale ao gasto de uma residência média dos EUA durante 77,20 dias. Também seria possível realizar com este valor de consumo, referente à uma única transação de *bitcoin*, 1,5 milhões de transações do sistema de pagamentos da empresa multinacional estadunidense de serviços financeiros VISA.

2.5 Os impactos da mineração de *bitcoins*

Apesar de tudo que foi dito até aqui sobre o consumo de energia de toda a rede *bitcoin*, o maior problema não está necessariamente no consumo elevado de energia, mas sim nas consequências por trás dele. Segundo De Vries (2019 *apud* Gomez, 2021), a busca por uma rentabilidade maior na mineração de criptomoedas faz com que mais computadores sejam colocados em funcionamento, o que conseqüentemente acarreta numa alta do consumo de energia, porém não é só o uso de energia, mas o uso da energia proveniente de combustíveis fósseis, ou seja, uma fonte de energia não renovável. Como a localização dos maiores *pools* de mineração (espaços onde os mineradores trabalham cooperativamente) do mundo está em regiões onde se utilizam fontes de energia não renováveis, o alto consumo deste tipo de energia conseqüentemente também aumentará as emissões de dióxido de carbono (CO₂) do mundo.

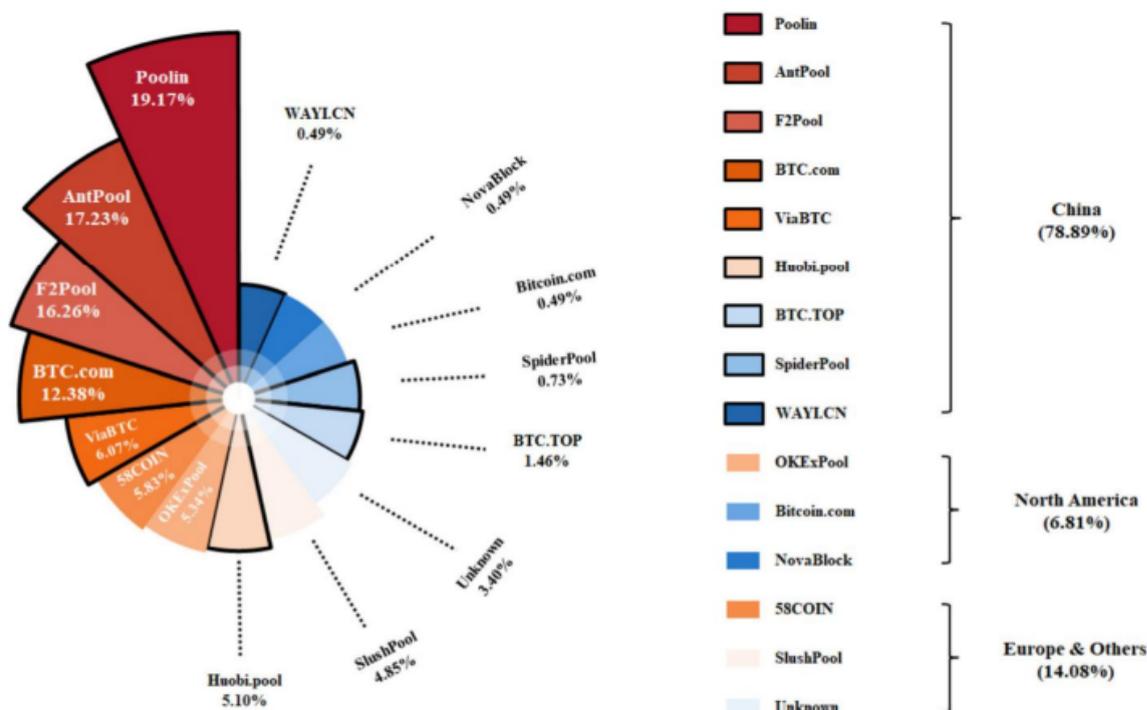
Essa busca por regiões que utilizam fontes de energia não renováveis tem uma

explicação. De acordo com De Vries (2019), independentemente do poder computacional total da rede *bitcoin*, novos blocos são gerados a cada 10 minutos. Sabe-se também que para gerar novos blocos a quantidade de energia demandada é grande, e dessa forma pode-se notar que apesar do poder computacional disponível ser de suma importância para realizar o processo de mineração, a parte de todo o sistema de maior relevância para saber se a atividade será lucrativa para o indivíduo é determinar quanto de energia será gasta para realizar um número x de cálculos para chegar no resultado desejado: gerar um bloco e receber a recompensa.

Neste aspecto, é importante ressaltar também a demanda constante de energia que é necessária para a mineração ser eficiente e lucrativa para os mineradores. Isso fez com que a indústria voltada para esse tipo de mercado deixasse de usar as Unidades Centrais de Processamento (*Central Process Unit*, ou CPUs, da sigla em inglês) convencionais e criasse alguns dispositivos voltados unicamente para a mineração, sendo que o mais conhecido é chamado de *Bitmain Antminer s9i*. Portanto, em busca de maior lucratividade e eficiência nas operações envolvendo operações com o *bitcoin*, segundo Genaro, professor da Fundação Getúlio Vargas, em reportagem produzida por Malar (2021b), a China se tornou um atrativo para os mineradores por ter uma energia mais barata em relação a outros países e pelo baixo preço dos computadores e dos equipamentos eletrônicos.

Esta atratividade da China é mostrada em pesquisa de Jiang *et al.* (2021), sendo que tal como pode-se observar na Figura 4, em 2020, pouco mais de 75% das fazendas de mineração (*pools*) se encontravam na China, onde 60% de toda energia é abastecida com carvão mineral, um dos combustíveis fósseis mais poluentes do mundo. A concentração destas fazendas de mineração na China se deve a fatores como o fato de a zona rural ser a área considerada ideal para a mineração, por conter grandes espaços para a construção de fazendas, principalmente por se tratar de um local subdesenvolvido e também pelo baixo preço da eletricidade devido ao uso de fontes de energia mais baratas.

Figura 4 - Distribuição dos *pools* de mineração da *blockchain bitcoin* em abril de 2020 (em %)



Fonte: Jiang *et al.* (2021).

Apesar da concentração de fazendas de mineração se encontrar na China, em abril de 2021, esse cenário de maior destaque dentro do mercado do *bitcoin* começou a mudar no território chinês. E isto ocorreu devido a medida imposta pelo governo chinês de limitar a mineração e restringir o comércio de criptomoedas dentro do seu território, o que consequentemente fez com que a mineração de criptomoedas sofresse uma grande redução. Se antes 75% da mineração mundial ocorria na China, depois da ação do Estado esse número caiu para 46% em abril de 2021 (MALAR, 2021a). Ademais, em setembro de 2021, a China impôs medidas ainda mais duras, sendo que de acordo com Gradilone (2021):

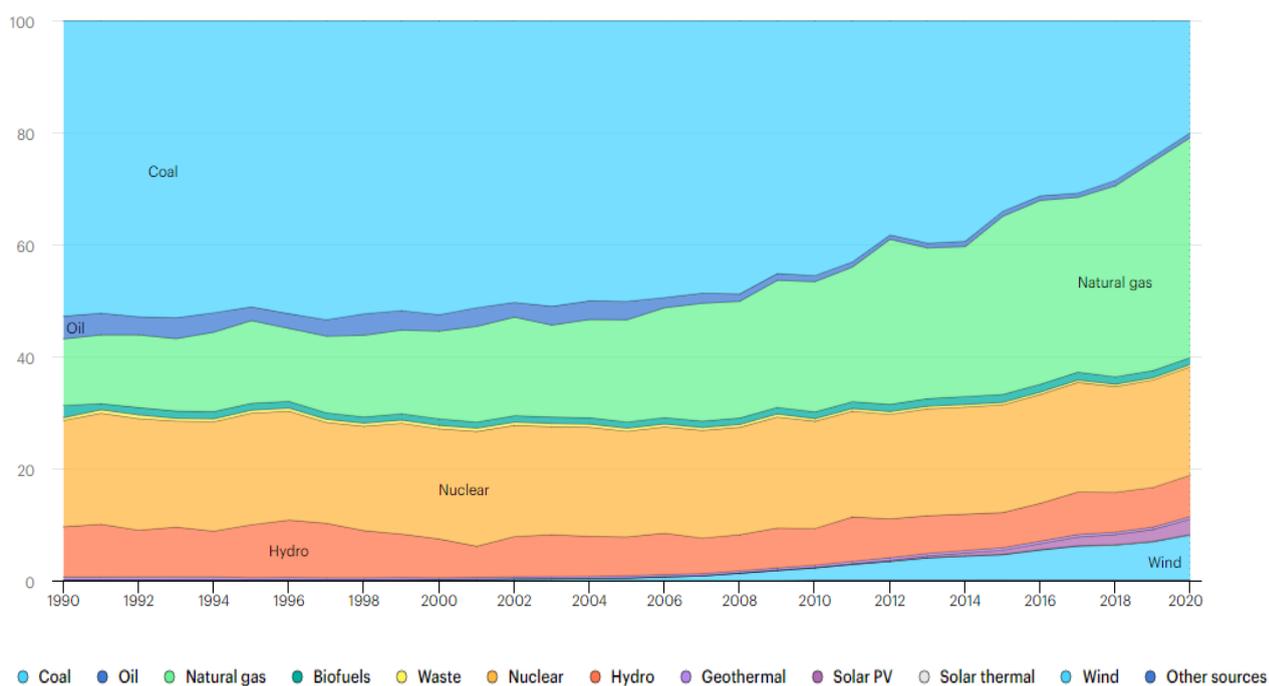
O Banco do Povo, banco central chinês, informou que minerar e negociar qualquer ativo digital passam a ser atividades terminantemente proibidas aos cidadãos e às empresas de comércio eletrônico chinesas. Está proibido também usar as corretoras de criptomoedas que ficam fora da China, e os funcionários dessas empresas que por acaso trabalham no país estão sujeitos à investigação.

Dentre as justificativas dadas pelo Governo chinês para tal medida têm-se a de que as criptomoedas são usadas para o jogo ilegal e na lavagem de dinheiro (GRADILONE, 2021). Outro ponto citado é a preocupação do país com o meio ambiente, o que está de acordo com

as políticas internas aplicadas, como por exemplo, o modelo da economia de baixo carbono, que tem o objetivo de amenizar sua emissão de carbono e tentar tirar assim o status da China de maior país emissor de CO₂ na atmosfera (MOREIRA e RIBEIRO, 2016).

Se antes a China era o país com a maior concentração de mineradores no mundo, após a proibição da mineração e negociação de criptomoedas em território chinês em 2021, os EUA tomaram seu lugar. Porém, o que pode ser visto é que essa mudança não muda em nada a atual situação do *bitcoin* com o meio ambiente. Isso porque além de ser o segundo maior emissor de gases de efeito estufa do mundo, as principais fontes de matriz energética e elétrica dos EUA são baseadas em combustíveis fósseis, tal como evidenciado pelos dados informados pela *International Energy Agency* (IEA) dos EUA e presentes na Figura 5.

Figura 5 - Geração de energia elétrica por fonte e em porcentagem nos Estados Unidos da América no período de 1990 a 2020



Fonte: International Energy Agency (IEA, 2022).

Como pode ser visto na Figura 5, o uso de energia não renovável nos EUA representa, mesmo nos anos mais recentes, a saber, 2018 a 2020, quase que 80% do total de geração de energia, com o gás natural (*natural gas*) e o carvão (*coal*) tendo as maiores participações. Outra fonte de energia também bastante gerada pelos EUA no período de 1990 a 2020, conforme Figura 5, é a energia nuclear, que apesar de não ser renovável, é considerada

“limpa” por não emitir gases de efeito estufa. Porém, como nos mostra Kanter (2009), apesar de não produzir ou produzir muito pouco gás de efeito estufa, o uso desse tipo de fonte de energia é um processo longo, relativamente arriscado e que produz resíduos.

Apesar de ter uma porcentagem menor na concentração dos *pools* de mineração em comparação com o que a China representava nesse mercado antes das medidas impostas pelo Estado em setembro de 2021, os Estados Unidos da América possuíam em agosto de 2021, último dado disponível, de acordo com Malar (2021a), 35% da mineração mundial, seguido do Cazaquistão, com 21%, e da Rússia, ocupando a terceira posição com 13%. Não diferente dos EUA, a Rússia possuía, segundo dados retirados da *International Energy Agency* (IEA), quase 80% de toda sua matriz elétrica produzida por fontes não renováveis, tendo o gás natural como principal fonte. Dados sobre a geração de energia do Cazaquistão não foram encontrados.

Segundo Romeiro (2021), as fontes não renováveis de energia, principalmente o gás, o carvão e o petróleo, são até 100 vezes mais intensivas na emissão de carbono na atmosfera do que as vindas de fontes de energia renováveis, como as hidrelétricas e a eólica. Isso pode ser visto na Tabela 2, que apresenta dados da intensidade de emissão de carbono por kilowatts para sete diferentes tipos de geração de energia.

Tabela 2 - Intensidade de carbono por KW (Kilowatts) por tipos de fonte de geração de energia

Fonte de Geração	Kg de CO2/KW
Turbina de Gás	0,5
Petróleo	0,65
Carvão	0,9
Nuclear	0,005
Hidroelétrica	0,005
Eólica	0,00495
Solar	0,58

Fonte - Romeiro (2021) a partir de dados do “The Parliamentary Office of Technology document Carbon Footprint of Electricity Generation”.

De acordo com a plataforma Digiconomist (2021a) citando Stoll *et al.* (2019), a

mineração de *bitcoin* utilizava em 2021, antes da proibição da China sobre estas atividades, um pouco mais de 41% de energia renovável em suas atividades, sendo que em agosto de 2021 esse número caiu para 25%. Nota-se também que se em 2020, para cada kilowatts de energia utilizado pela rede *bitcoin* eram emitidos 478,27 gramas de CO₂, em agosto de 2021 esse número passou a ser de 557,76 gramas de CO₂ por kilowatts. E por consequência do uso majoritário de fontes de energia não renováveis na geração de energia, a emissão de gases de efeito estufa decorrente do mercado de *bitcoins* é alta. Lembrando que a estimativa de consumo de energia do mercado de *bitcoin* para o ano de 2022 é de 204 Terawatt-hora, o que transformando para kilowatts, daria 204 bilhões, e resultaria numa emissão de 114 milhões de toneladas de CO₂ na atmosfera.

Artiga e Lopez (2021) apresentam que, no longo prazo, se a tendência do uso contínuo do *bitcoin* se mantiver, em um cenário otimista, as emissões de poluentes provenientes do *bitcoin* serão responsáveis por um aumento na temperatura global de 2°C (graus Celsius) em 22 anos. Berrens, Goodkind e Jones (2020) demonstraram que, em 2018, quando os EUA ainda ocupavam a segunda colocação no ranking de país com maior concentração de mineradores de *bitcoins* no mundo, a cada US\$ 1 do valor do *bitcoin*, US\$ 0,49 era responsável por danos à saúde e ao clima, como a poluição, que afeta desde a temperatura, a qualidade do ar até os seres que vivem naquela região por efeitos relacionados a ela. Isso quer dizer que 49% do valor desta criptomoeda gerada nos EUA foi responsável por danos ao meio ambiente e à saúde humana.

E ao que tudo indica o processo de mineração e seus consequentes danos se manterão dessa forma, e nem mesmo o uso de fontes de energia renováveis será suficiente para reverter essa situação. Um exemplo que representa tal situação é a da região da Ásia-Pacífico, onde 65% dos mineradores de *bitcoins* utilizam energia hidroelétrica, porém ao mesmo tempo, 12% deles utilizam também energia derivada do petróleo, o que indica que apesar das fontes de energia renováveis terem papel importante na mineração, as fontes de energia não renováveis infelizmente também estarão sempre presentes neste processo. Isso acontece porque todo o processo de mineração do *bitcoin* necessita de fontes de energia ininterruptas devido à busca constante, por parte dos usuários, de lucro e eficiência (ARTIGA e LOPEZ, 2021). E nesse caso as fontes de energia renováveis não são suficientes para que o fornecimento seja constante e de baixo custo devido a sazonalidade que algumas fontes de energia sofrem, como é o caso das hidrelétricas, situação de dificuldade de geração de energia pela qual, por exemplo, o Brasil normalmente sofre em alguns períodos do ano, o que faz com que o país precise ir atrás de fontes de energia não renováveis, recorrendo assim ao carvão e aos

combustíveis fósseis para alcançar seus objetivos.

Divino e Antunes (2021) nos mostra que Loviscach (2012) também levantava outra questão que nenhuma fonte de energia pode resolver, que é o lixo eletrônico produzido quando os equipamentos de mineração chegam ao fim do seu tempo de vida útil. De acordo com De Vries (2019), o fato de que os equipamentos utilizados possuem vida útil de 1 ano e meio e de que a maioria se torna exclusivamente lixo após este período, decorre das observações de que as máquinas mais eficientes e econômicas possam permanecer ativas e viáveis para a mineração, as máquinas que não atendem mais esses requisitos viram lixo. Segundo a plataforma Digiconomist (2022a) a produção de lixo eletrônico derivado da mineração de *bitcoin* chega a incríveis 35,29 KT (sendo que 1 kt (quilotonelada) = 1.000 toneladas), comparado ao que produz todo setor de TI (tecnologia da informação) e comunicações da Holanda.

Outro dado importante no que se refere à geração de resíduos é o de que apenas uma transação da criptomoeda produz 376,90 gramas de lixo, o que equivale ao peso de 2,30 aparelhos smartphones (Iphones) produzidos pela empresa Apple e 0,77 dispositivo em formato tablet (Ipads) também da empresa Apple. Dessa maneira, pode-se notar que o lixo eletrônico produzido por esse mercado se torna um outro problema, além do das fontes de energia utilizadas para a mineração, visto que apenas 20% de todo o lixo eletrônico produzido globalmente é reciclado da forma correta, sendo o restante despejado em aterros impróprios e, portanto, em locais altamente prejudiciais ao meio ambiente (DIGICONOMIST, 2022a).

Analisando pela ótica das diretrizes internacionais destinadas ao desenvolvimento sustentável, Divino e Antunes (2021) mostram que a mineração da criptomoeda *bitcoin* é bastante criticável, mesmo porque ela afeta a Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável, desenvolvida pela Organização das Nações Unidas (ONU). A Agenda de 2030 é um plano de ação global que reúne 17 objetivos e 169 metas que visam combater a pobreza e promover uma vida digna para todos dentro das condições que nosso planeta oferece sem comprometer as próximas gerações.

Um dos objetivos da agenda 2030, chamados de Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), afetados pela mineração do *bitcoin* é se comprometer a utilizar energia limpa e acessível, o que não acontece quando o assunto é *bitcoin*. Outro ODS afetado pela mineração é relacionado a redução das desigualdades, isso porque a mineração beneficia apenas as pessoas com recursos necessários para exercer tal atividade, e dentro dessa parcela de pessoas, usuários com maior poder aquisitivo obtêm melhores resultados com a mineração. Assim, é muito provável que nesta prática a concentração de riqueza nas mãos de poucos

amente.

Uma alternativa a esse modelo em que os mineradores atuam, chamado de *proof of work* (prova de trabalho), é chamado *proof of stake* (prova de participação). O primeiro é apontado como fator principal pelos impactos que a mineração causa na sociedade, por funcionar de maneira massiva com computadores específicos na tentativa de encontrar a resposta de um enigma criptográfico, e por se tratar de uma competição entre os outros mineradores em busca de uma única recompensa, sendo que quanto maior sua força computacional, maiores são suas chances de ser beneficiado. O segundo, como Kercher (2022) aborda, seria mais sustentável e eficiente, pois a mineração nesse modelo não existe, sendo que o que acontece é que, ao contrário do primeiro modelo que é uma competição entre todos os mineradores, o *proof of stake* usa uma espécie de sorteio para escolher qual computador irá construir um bloco na rede. Dessa forma no modelo *proof of stake* não existe competição entre os usuários, o que consequentemente exclui a necessidade de ter um alto poder computacional no que se refere ao processamento de dados.

Aliaga, Henriques e Martins (2018, p. 2) explicam que: “o *proof of stake* é um mecanismo de consenso em que o sistema faz uma escolha do nó que poderá criar um novo bloco por meio de um sorteio, cuja probabilidade de sucesso (de ser sorteado) pode ser influenciada pela sua quantidade de moedas”. Porém, mesmo tendo evidentes vantagens ambientais ao modelo *proof of work*, de acordo com Kercher (2022), uma mudança de rumo não deve acontecer, pois além de não receber mais uma recompensa em criptomoeda como no modelo atual e sim taxas sobre a validação da transação, o valor do ativo passa a ser definido dentro da rede pelos próprios usuários, e não mais fora dela, ou seja, definido pelo poder computacional e/ou pela energia consumida. Em entrevista fornecida para Malar (2021b), Genaro também não acredita nessa mudança, pois todo o sistema de criptomoedas está muito grande e sendo assim é pouco provável uma mudança para uma outra criptomoeda ou ainda que os usuários ativos do *bitcoin* aceitem essas modificações por apenas considerarem benéficas ao meio ambiente.

3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Ao longo do texto buscou-se a partir de um estudo comparativo e teórico responder se, de fato, a mineração da criptomoeda *bitcoin* impacta negativamente o meio ambiente, o meio social e a economia. Demonstrou-se a partir desta premissa um alto consumo de energia vindo

da mineração do *bitcoin*, consumo esse que ultrapassa o de países com mais de 100 milhões de habitantes, o que afeta diretamente a emissão de gás carbônico na atmosfera. Segundo dados levantados neste trabalho, a quantidade estimada de emissão de CO₂ na atmosfera, advinda da mineração, poderá chegar a 114 milhões de toneladas no final de 2022. Fato este que acontece pela necessidade de poder computacional de processamento de dados para a criação de novas unidades de moedas, e à medida que novas unidades são criadas mais difícil fica de confeccioná-las. E a principal preocupação que fez com que as criptomoedas entrassem numa discussão sobre os impactos antrópicos no meio ambiente é a fonte de energia utilizada em todo o processo de operações, oriunda principalmente de fontes de energia não renovável, o que agrava ainda mais o volume de emissões de CO₂ no planeta.

Uma alternativa a esse problema de emissões, mencionada no trabalho, é o uso de fontes de energia renováveis para realizar a mineração de criptomoedas, porém, conforme também discutido nesta pesquisa, nenhuma das fontes de energia renováveis disponíveis seria suficiente para abastecer a demanda de energia que a mineração necessita para funcionar. Outro ponto relacionado às energias limpas é que mesmo que elas fossem a solução para o problema da emissão de gases na atmosfera, os impactos da mineração de criptomoedas não se resumem apenas a isso.

Da forma que a mineração é realizada nota-se não somente uma grande demanda de energia, mas também, ao mesmo tempo, um grande desperdício de energia, isso porque o modelo adotado é baseado na competição usando o máximo de poder computacional de processamento de dados e de forma ininterrupta, ou seja, se traduz numa disputa entre todos os usuários onde apenas um ganha. Assim, os outros participantes da competição, que não atingem o objetivo proposto, consomem energia sem propósito algum, o que se reflete num desperdício de energia. Em um mundo onde milhões de pessoas ainda não têm acesso à energia, esse uso irresponsável proveniente da mineração de criptomoedas se torna ainda mais impactante.

Ademais, conforme discutido nesta pesquisa, o processo de mineração de *bitcoins* não é igualitário para todos, não é usado para subsistência da população em geral e nem é recomendado para tal, e muito provavelmente nunca será, ficando na mão de “poucos” que têm o privilégio de especular e esperar que os investimentos obtenham retorno. Essa conjuntura de fatores faz com que a proteção ao meio ambiente acabe ficando esquecida nesse mercado, que utiliza de forma desenfreada recursos naturais e materiais na confecção de novas unidades de criptomoedas, além de gerar resíduos e emitir gases poluentes. Tendo inclusive mecanismos que prometem melhorar sua relação com o planeta, exemplo disso é o

método de trabalho *proof of stake*, que mostra que a tecnologia *blockchain* se usada da maneira “correta” não causa um impacto ambiental significativo (o que não ocorre com o *bitcoin* hoje), traz também preocupações sociais junto.

A partir dos resultados obtidos, pode-se notar que, de fato, a mineração da criptomoeda *bitcoin* impacta negativamente alguns setores da sociedade. No curto prazo, o meio ambiente é quem sofre mais consequências, porém, o que se pode ver é que no longo prazo, além da preocupação com o planeta, é preciso estar ciente dos problemas sociais que o mercado da mineração pode trazer junto consigo, como por exemplo a agravamento das desigualdades sociais.

Por fim, nota-se que além da preocupação ambiental devidos aos impactos gerados, a mineração de criptomoedas também suscita preocupações sociais. A perspectiva capitalista da população em geral faz com que ela se feche para a realidade e não enxergue o quão nocivo é para o mundo como um todo visões extremamente individualistas que tem como propósito único o benefício próprio, e isso é exatamente o que acontece com a mineração do *bitcoin*. Assim, independente da inovação tecnológica oriunda e/ou proporcionada pela criação do *bitcoin*, não se pode desconsiderar sua responsabilidade ambiental e social, ou dito de outra forma, os benefícios que a criptomoeda traz a uma pequena parcela da população não deve se sobrepor aos efeitos globais que elas causam.

REFERÊNCIAS

- ALIAGA, Y.; HENRIQUES, M.; MARTINS, D. **Proof-Of-Stake baseado em tempo discreto**, 2018. Disponível em: <https://sol.sbc.org.br/index.php/wblockchain/article/view/7487/7369>. Acesso em: 22 mar. 2022.
- ARTIGA, C.; LOPEZ, M. **Bitcoin, energy use and climate change**, 2021. Disponível em: <http://library.fes.de/pdf-files/bueros/fesamcentral/18741.pdf>. Acesso em: 26 mar. 2022.
- ALKUDMANI, F. Como funciona a mineração de criptomoedas. **Portal do Bitcoin**, 2020. Disponível em: <https://portaldobitcoin.uol.com.br/como-funciona-a-mineracao-de-criptomoedas/>. Acesso em: 20 jan. 2022.
- BAZAN, V. O que é mineração e como minerar Bitcoin?. **Empiricus**, 2018. Disponível em: <https://www.empiricus.com.br/artigos/investimentos/o-que-e-mineracao-e-como-minerar-bitcoin/?xpromo=XE-ME-GGL-DSA-KW-X-SH-X-X-X>. Acesso em: 12 jan. 2022.
- BERRENS, R.; GOODKIND, A.; JONES, B. **Cryptodamages: Monetary value estimates of the air pollution and human health impacts of cryptocurrency mining**, 2020. Disponível em: <https://dokumen.pub/cryptodamages-monetary-value-estimates-of-the-air-pollution-and-human-health-impacts-of-cryptocurrency-mining.html>. Acesso em: 22 mar. 2022.
- BLOG CCNA. Blockchain: As principais aplicações na área de Redes e Telecom. **Blog CCNA**, 2018. Disponível em: <https://blog.ccna.com.br/2018/09/12/blockchain-as-principais-aplicacoes-na-area-de-redes-e-t-elecom/>. Acesso em: 02 fev. 2022.
- COINDESK. Ativo cada vez mais escasso: 90% de todos os bitcoin já foram minerados. **Exame**, 2021. Disponível em: <https://exame.com/future-of-money/ativo-cada-vez-mais-escasso-90-de-todos-os-bitcoins-ja-fo-ram-minerados/>. Acesso em: 15 jan. 2022.
- D'AVILA, S. **Relação entre tipos de tokens e modelos de negócios em blockchain**, 2018. Disponível em: https://estudogeral.uc.pt/bitstream/10316/94715/1/Dissertacao_Stenislav_Davila_rev3A.pdf. Acesso em: 20 fev. 2022.
- DIVINO, S.; ANTUNES, B. A mineração de criptomoedas e os impactos ambientais: reflexos na agenda 2030. **Revista Jurídica Luso-Brasileira**, 7, n. 6, 2021. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Stefano-Divino-2/publication/356681402_A_MINERACAO_DE_CRIPTOMOEDAS_E_OS_IMPACTOS_AMBIENTAIS_REFLEXOS_NA_AGENDA_2030/links/61a77de0aade5b1bf5f8802c/A-MINERACAO-DE-CRIPTOMOEDAS-E-OS-IMPACTOS-AMBIENTAIS-REFLEXOS-NA-AGENDA-2030.pdf. Acesso em: 01 fev. 2022.

DIGICONOMIST. **Bitcoin Electronic Waste Monitor**, 2022a. Disponível em: <https://digiconomist.net/bitcoin-electronic-waste-monitor/>. Acesso em: 27 fev. 2022.

DIGICONOMIST. **Bitcoin Energy Consumption Index**, 2022b. Disponível em: <https://digiconomist.net/bitcoin-energy-consumption/>. Acesso em: 27 fev. 2022.

IEA (International Energy Agency) - Data & Statistics. **Explore energy data by category, indicator, country or region**, 2022. Disponível em: <https://www.iea.org/data-and-statistics/data-browser?country=WORLD&fuel=Energy%20supply&indicator=ElecGenByFuel>. Acesso em: 15 mar. 2022.

GRADILONE, C. China probe bitcoin. **Isto é**, 2021. Disponível em: <https://www.istoedinheiro.com.br/china-proibe-bitcoin/>. Acesso em: 15 mar. 2021.

GOMEZ, V. O impacto ambiental invisível da criptomoeda bitcoin. **Portal impacto ambiental**, 2021. Disponível em: <https://www.impactounesp.com.br/post/o-impacto-ambiental-invisivel-da-criptomoeda-bitcoin>. Acesso em: 28 fev. 2022

JIANG, S. *et al.* Policy assessments for the carbon emission flows and sustainability of Bitcoin blockchain operation in China. **Nature Communications**, 2021. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/s41467-021-22256-3>. Acesso em: 01 mar. 2022.

KANTER, J. Is nuclear power renewable? **The New York Times**, 2009. Disponível em: <https://green.blogs.nytimes.com/2009/08/03/is-nuclear-power-renewable/>. Acesso em: 24 mar. 2022.

KERCHER, S. Impacto ambiental, furos jurídicos e apagões: conheça o “lado obscuro” dos NFTs. **CNN**, 2022. Disponível em: <https://www.cnnbrasil.com.br/business/impacto-ambiental-furos-juridicos-e-apagoes-conheca-o-lado-obsкуро-dos-nfts/>. Acesso em: 25 mar. 2022.

LAMOUNIER, L. O guia definitivo da tecnologia blockchain: uma revolução para mudar o mundo. **101 Blockchain**, 2018. Disponível em: <https://101blockchains.com/pt/tecnologia-blockchain-guia/>. Acesso em: 06 jan. 2022.

LUCENA, A. HENRIQUES, M. **Estudo de arquitetura dos blockchains de Bitcoins e Ethereum**. Disponível em: https://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:YJLsXGqnOqkJ:https://www.fee.unicamp.br/sites/default/files/departamentos/dca/eadca/eadcaix/artigos/lucena_henriques.pdf+&cd=1&hl=pt-BR&ct=clnk&gl=br&client=opera. Acesso em: 07 jan. 2022.

MALAR, J. Após restrições na China, EUA se tornam maior minerador mundial de bitcoin. **CNN**, 2021a. Disponível em: <https://www.cnnbrasil.com.br/business/apos-restricoes-na-china-eua-se-tornam-maior-minerador-mundial-de-bitcoin/>. Acesso em: 24 mar. 2022.

MALAR, J. Entenda como funciona a mineração de criptomoedas e os efeitos no meio ambiente. **CNN**, 2021b. Disponível em: <https://www.cnnbrasil.com.br/business/entenda-como-funciona-a-mineracao-de-criptomoedas>

-e-os-efeitos-no-meio-ambiente/. Acesso em: 15 mar. 2021.

MALONE, D.; O'DWYER, K. J. **Bitcoin Mining and Its Energy Footprint**. IRISH SIGNALS & SYSTEMS CONFERENCE (ISSC) AND CHINA-IRELAND INTERNATIONAL CONFERENCE (CIIT), 2014, Limerick, IRL, Proceedings... Limerick, IRL, 2014. Disponível em: https://karlodwyer.github.io/publications/pdf/bitcoin_KJOD_2014.pdf. Acesso em: 25 fev. 2022.

MOIA, V.; HENRIQUES, M. **Avaliação da segurança de protocolos criptográficos usados em moedas digitais**. Disponível em: https://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:azgsojM3HC0J:https://www.fee.uni-camp.br/sites/default/files/departamentos/dca/artigos/a264v0_IESS.pdf+&cd=2&hl=pt-BR&ct=clnk&gl=br&client=opera. Acesso em: 03 jan. 2022.

MOREIRA, H; RIBEIRO, W. **A China na ordem ambiental internacional das mudanças climáticas**. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ea/a/6tpjwS5ssjJ3rQhv9SJLymC/?lang=pt>. Acesso em: 15 mar. 2021.

ROMEIRO, T. **Bitcoin: A viabilidade da mineração do Brasil**. Dissertação (Mestrado em Economia e Finanças). Disponível em: <https://bibliotecadigital.fgv.br/dspace/bitstream/handle/10438/31333/Dissertacao%20teofilo-final%20-%20encader1.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 25 fev. 2022.

SÉRVIO, G. Como minerar bitcoin: suas principais dúvidas respondidas. **Olhar digital**, 2021. Disponível em: <https://olhardigital.com.br/2021/09/27/pro/como-minerar-bitcoin/>. Acesso em: 06 jan. 2022.

SILVA FILHO, A. et al. Mineração de criptomoedas utilizando energias renováveis. In: II Simpósio do Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Campina Grande. **Anais ...** Campina Grande, 2018. Disponível em: [https://www.ppgem.ufcg.edu.br/arquivos/Sipgem2018/anais/7_Artigo%20-%20SiPGEM2018%20Agrisino%20Pereira%20\(visto\).pdf](https://www.ppgem.ufcg.edu.br/arquivos/Sipgem2018/anais/7_Artigo%20-%20SiPGEM2018%20Agrisino%20Pereira%20(visto).pdf). Acesso em: 09 jan. 2022.

SILVA, W.; CRUZ, R. Bitcoin: a moeda digital que se tornou realidade. Publicação em revista científica da UNESC. Curso de Análise e Desenvolvimento de Sistemas - UNESC. Rondônia/Cacoal. v. 12, n. 15, 2014. Disponível em: <https://silo.tips/download/bitcoin-a-moeda-digital-que-se-tornou-realidade>. Acesso em: 04 jan.2022.

ULRICH, F. **Bitcoin: A moeda da era digital**. São Paulo: Mises Brasil, 2014. Disponível em: <https://produtos.infomoney.com.br/hubfs/ebook-bitcoin.pdf>. Acesso em: 17 jan. 2022.

VITORIO, T. Entenda a diferença entre criptomoedas e moeda digital, como a estudada pelo BC. **CNN**, 2021. Disponível em: <https://www.cnnbrasil.com.br/business/entenda-a-diferenca-entre-criptomoeda-e-moeda-digital-como-a-estudada-pelo-bc/>. Acesso em: 27 dez. 2021

VRIES, A. Renewable Energy Will Not Solve Bitcoin's Sustainability Problem. **Joule**, 3, 891-898, 2019. Disponível em:

<https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S254243511930087X?token=AD4C60FCAFF4A586173D54A01A0ED1967E3A6B1C352E62F6727F5D0573419E8BE00C1447DC98E62A4E94C1598686399B&originRegion=us-east-1&originCreation=20220303224621>. Acesso em: 27 fev. 2022.