

See discussions, stats, and author profiles for this publication at: <https://www.researchgate.net/publication/356681402>

A MINERAÇÃO DE CRIPTOMOEDAS E OS IMPACTOS AMBIENTAIS: REFLEXOS NA AGENDA 2030

Article · December 2021

CITATION

1

READS

1,262

2 authors, including:



Sthéfano Divino

Universidade Federal de Lavras (UFLA)

45 PUBLICATIONS 64 CITATIONS

SEE PROFILE

A MINERAÇÃO DE CRIPTOMOEDAS E OS IMPACTOS AMBIENTAIS: REFLEXOS NA AGENDA 2030

Sthéfano Bruno Santos Divino*

Beatriz Gaia Barreto Antunes**

Resumo: O presente artigo tem como problema de pesquisa o seguinte questionamento: quais os impactos ambientais trazidos pela mineração de criptomoedas? Objetiva-se demonstrar pelo método analítico e pela técnica de revisão bibliográfica que a grande quantidade de energia demandada para a mineração de criptomoedas afeta de forma direta a quantidade de gás carbônico emitido na atmosfera terrestre. No mais, demonstra-se pelo método teórico-crítico e dedutivo os impactos no cumprimento da Agenda 2030 frente o cenário contemporâneo. Para tanto, o primeiro capítulo é responsável pela abordagem explicativa do que é uma criptomoeda e como ela é criada (mineirada), com o foco no uso da energia elétrica. O segundo capítulo é responsável pela demonstração analítica dos impactos pelo uso excessivo de energia elétrica para criação de um bem imaterial. Por fim, o terceiro capítulo demonstra de forma dedutiva os impactos das práticas atuais de mineração de criptomoedas frente ao cumprimento da Agenda 2030. Conclui-se que mineração de criptomoedas pode afetar, principalmente, os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) n. 7 (Energia limpa e acessível); 10 (Redução das Desigualdades); e 12 (Consumo e Produção Responsáveis).

* Doutorando e Mestre em Direito Privado pela Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais. Advogado.

** Graduada em Direito pelo Centro Universitário de Lavras.

Palavras-Chave: Agenda 2030, Bitcoin, Criptomoedas; Impactos Ambientais; Mineração.

CRYPTOCURRENCY MINING AND ENVIRONMENTAL IMPACTS: REFLECTIONS ON AGENDA 2030

Abstract: This article has as its research problem the following question: what are the environmental impacts brought about by cryptocurrency mining? The objective is to demonstrate through the analytical method and the literature review technique that the large amount of energy required for cryptocurrency mining directly affects the amount of carbon dioxide emitted into the earth's atmosphere. Furthermore, the impacts on the fulfillment of the 2030 Agenda in the face of the contemporary scenario are demonstrated by the deductive and critical-theoretical methods. To this end, the first chapter is responsible for the explanatory approach to what a cryptocurrency is and how it is created (mined), focusing on the use of electric energy. The second chapter is responsible for the analytical demonstration of the impacts of the excessive use of electricity on the creation of an immaterial good. Finally, the third chapter deductive demonstrates the impacts of current cryptocurrency mining practices on the fulfillment of the 2030 Agenda. It is concluded that cryptocurrency mining can affect, mainly, the Sustainable Development Goals (SDGs) no. 7 (Clean and affordable energy); 10 (Reducing inequalities); and 12 (Responsible consumption and production).

Keywords: Agenda 2030, Bitcoin, Cryptocurrencies; Environmental Impacts; Mining.

INTRODUÇÃO



s criptomoedas são moedas digitais destinadas à circulação de valores e mercadorias que pretendem substituir ou ao menos acompanhar a moeda corrente tradicional adotada pelos países. Seu caráter de universalidade e presença permite com que seja transacionada em qualquer hora e em qualquer lugar do mundo.

Sua criação foi em 2008, por meio da criação da plataforma *blockchain* de Satoshi Nakamoto. Nesse cenário, ao mesmo tempo, nasce também a primeira criptomoeda: a Bitcoin (BTC). Para a criação e geração desse bem imaterial, torna-se necessária a existência de um binômio: computadores físicos e energia elétrica. A plataforma *blockchain*, resumidamente, fornece desafios algorítmicos para seus usuários e aqueles que eventualmente conseguem resolvê-los adquire como recompensa uma parte de uma criptomoeda. Se visualizada individualmente, essa premissa pode parecer simplória. Contudo, se observada coletivamente e mundialmente, verificam-se reflexos consideráveis.

Dessa forma, o presente artigo tem como problema de pesquisa o seguinte questionamento: quais os impactos ambientais trazidos pela mineração de criptomoedas? Objetiva-se demonstrar pelo método analítico e pela técnica de revisão bibliográfica que a grande quantidade de energia demandada para a mineração de criptomoedas afeta de forma direta a quantidade de gás carbônico emitido na atmosfera terrestre.

No mais, demonstra-se pelo método teórico-crítico e dedutivo os impactos no cumprimento da Agenda 2030 frente o cenário contemporâneo. Para tanto, o primeiro capítulo é responsável pela abordagem explicativa do que é uma criptomoeda e como ela é criada (mineirada), com o foco no uso da energia elétrica. O segundo capítulo é responsável pela demonstração analítica dos impactos pelo uso excessivo de energia elétrica para criação de um bem imaterial. Por fim, o terceiro capítulo

demonstra de forma dedutiva os impactos das práticas atuais de mineração de criptomoedas frente ao cumprimento da Agenda 2030.

Ao final, verifica-se que os principais Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) afetados são: n. 7 (Energia limpa e acessível), a partir do momento em que se utiliza fontes não renováveis ou, ainda que renováveis, excessivamente dispendiosas; 10 (Redução das Desigualdades), por meio do acesso aos recursos eletrônicos destinados à confecção das criptomoedas, induzindo que as pessoas titulares de maior recurso serão os responsáveis pela maior captação de valores no mercado a partir de sua produção; e 12 (Consumo e Produção Responsáveis), quando o consumo excessivo de energia faz com que a demanda se torne maior e exista a necessidade de fornecimento, sob pena de comprometer o funcionamento econômico do país em questão, tal como a China, conforme se verificará.

1 – O QUE É E COMO É CRIADA UMA CRIPTOMOEDA?

Até o ano de 2008¹, antes da criação da plataforma *blockchain* para utilização da Bitcoin, inexistiam possibilidades de se verificar ou autenticar atividades, dados e tarefas individuais realizadas no âmbito digital sem a intervenção de uma entidade centralizada com a finalidade de garantir sua veracidade e autenticidade.² A solução encontrada por Satoshi Nakamoto foi

¹“On January 3rd, 2009 Satoshi Nakamoto hashed the very first block of the “Bitcoin Blockchain” on his computer’s CPU, practically creating the world’s first Blockchain and cryptocurrency at the same time, with the hope of creating a decentralized and independent monetary system” MALFUZI, A. et.al. Economic viability of bitcoin mining using a renewable-based SOFC power system to supply the electrical power demand. *Energy*. v.203, n. 2020, p. 1. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0360544220309506>. Acesso em: 26 abr. 2021.

² WRIGHT, Aaron; DE FILIPPI, Primavera. *Decentralized blockchain technology and the rise of flex cryptography*. Paris: Yeshiva University; Université Paris II, 2015. p. 5. Artigo não publicado. Disponível em: <https://ssrn.com/abstract=2580664>. Acesso em: 26 abr. 2021.

a criação de uma plataforma essencialmente probabilística que força uma informação a ser transmitida pela internet para torná-la mais clara, objetiva, transparente e passível de verificação. Para conclusão desse objetivo, utiliza-se algoritmos processados em um hardware.³

A *blockchain* é representada por um banco de dados contendo transações organizadas cronologicamente, das quais serão armazenadas em uma rede física de computadores.⁴ Existem cinco elementos que caracterizam a *blockchain* e dão a ela suas funções e caracterizações, dos quais: criptografia; uma rede P2P⁵; um mecanismo de consenso entre os participantes dessa rede para autenticação; um livro-razão; e um conjunto de regras válidas para esse instituto.⁶ O conteúdo de cada bloco (*block*) contém informações sobre as transações realizadas, bem como a referência ao *block* anterior da cadeia (*chain*) em conjunto com um algoritmo matemático (*hash*⁷) que será utilizado como

³ WRIGHT, Aaron; DE FILIPPI, Primavera. *Decentralized blockchain technology and the rise of flex cryptography*. Paris: Yeshiva University; Université Paris II, 2015. p. 6. Artigo não publicado. Disponível em: <https://ssrn.com/abstract=2580664>. Acesso em: 26 abr. 2021.

⁴ WRIGHT, Aaron; DE FILIPPI, Primavera. *Decentralized blockchain technology and the rise of flex cryptography*. Paris: Yeshiva University; Université Paris II, 2015. p. 6. Artigo não publicado. Disponível em: <https://ssrn.com/abstract=2580664>. Acesso em: 26 abr. 2021.

⁵ *Peer-to-peer network*. Entende-se como redes colaborativas na qual um usuário envia um pacote de dados para outro que, ao recebê-lo, irá autenticá-lo, para posteriormente compartilhá-lo novamente com outro usuário.

⁶ HILEMAN, Garrick; RAUCHS, Michael. *Global blockchain benchmarking study*. Cambridge: University of Cambridge: Judge Business School, 2017, p. A14. Disponível em: <https://ssrn.com/abstract=3040224>. Acesso em: 26 abr. 2021.

⁷ “A hash (output) is the result of a transformation of the original information (input). A hash function is a mathematical algorithm that takes an input and transforms it into an output. A cryptographic hash function is characterized by its extreme difficulty to revert, in other words, to recreate the input data from its hash value alone. This is called the collision resistance”. PILKINGTON, Mark. *Blockchain technology: principles and applications*. In: OLLEROS, Xavier; ZHEGU, Majlinda. *Research handbook on digital transformations*. Cheltenham: Elgaronline, 2016. p. 225-253. DOI: <http://dx.doi.org/10.4337/9781784717766.00019>. Disponível em: <https://www.elgaronline.com/view/9781784717759.00019.xml>. Acesso em: 26 abr. 2021.

intermediador e solução, destinado à validar as informações prontas a serem inseridas e associadas ao conjunto de blocos. Dessa forma, objetivando a segurança em rede, salva-se uma cópia da *blockchain* em cada computador componente da rede P2P e, periodicamente, sincronizam-se entre si para manter o mesmo e atualizado banco de dados.⁸

A construção das cadeias de blocos possibilita que apenas legítimas e verdadeiras transações sejam adicionadas pelos usuários participantes da rede, pois serão eles os responsáveis pela verificação e autenticação das novas informações a serem implementadas sem a alteração das cadeias já então construídas. Porém, sua inclusão não é tão facilitada. É indispensável um consenso entre os usuários para validar a informação e a transação para incrementá-la como um novo *block* na *chain*. Esse consenso poderá ser externalizado por meio de mecanismos adequados, sendo que o mais comum é o denominado *Proof-of-work*,⁹ que dependerá de um poder de processamento computacional disponibilizado e conectado na internet para tanto.

Assim que a transação for validada pelos usuários e adequada a um novo bloco, esse bloco será inscrito em um livro-razão, que pode ser público ou privado, com o objetivo de garantia de estabilidade e a vitaliciedade da informação transacionada e validada pelos usuários, a qual poderá ser acessada na internet por qualquer pessoa, caso esteja em um livro público.

Uma das características marcantes da plataforma *blockchain* é sua natureza descentralizada¹⁰, anônima, com

⁸ WRIGHT, Aaron; DE FILIPPI, Primavera. *Decentralized blockchain technology and the rise of flex cryptography*. Paris: Yeshiva University; Université Paris II, 2015. p. 7-8. Artigo não publicado. Disponível em: <https://ssrn.com/abstract=2580664>. Acesso em: 26 abr. 2021

⁹ “The Proof of Work consensus mechanism requires that certain computers on the network (colloquially referred to as a “miners”) solve computationally-intensive mathematical puzzles, while others verify that the solution to that puzzle does not correspond to a previous transaction”. WRIGHT; DE FILIPPI, cit., p. 7.

¹⁰ “As criptomoedas usam controle descentralizado que funciona por meio da tecnologia de contabilidade distribuída, uma tecnologia que permite a realização confiável

fundamento em algoritmos que independem de um administrador centralizado para coordenar e estabelecer processos individualizados para cada tipo de transação realizada pelos usuários, bem como pela garantia de vitaliciedade das informações inscritas no livro-razão.¹¹ Nesse último caso, a *blockchain* fornece aos seus usuários a qualidade de tecnologia que dispensa um certo grau de confiança entre os partícipes da rede eletrônica, capaz de diminuir e reduzir os custos de transação¹² com terceiros intermediários para com os trâmites de checagem e autenticação de informações.¹³

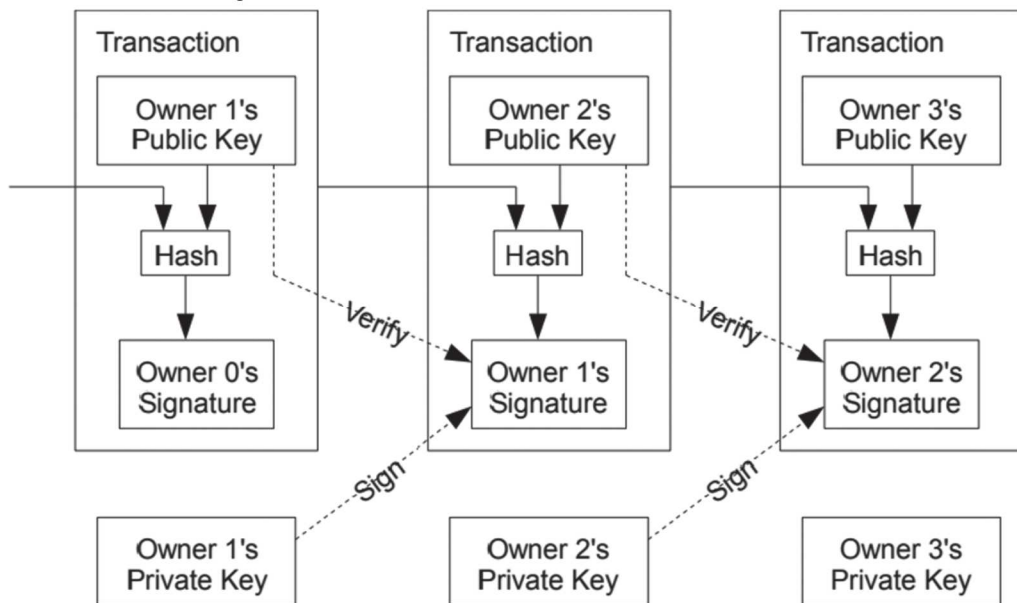
Demonstrativamente, o funcionamento da plataforma *blockchain* pode ser verificada abaixo:

e segura de qualquer transação através dos meios virtuais. Para mais: PIRES, Victor; COUTINHO, Felipe; MENASCHÉ, Daniel; DE FARIAS, Claudio. Gatos virtuais: detectando e avaliando os impactos da mineração de criptomoedas em infraestrutura pública”. In: *Simpósio Brasileiro de Segurança da Informação e de Sistemas Computacionais (SBSEG)*, 19, 2019, São Paulo. Anais [...]. Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Computação, 2019. p. 57-70. DOI: <https://doi.org/10.5753/sbseg.2019.13962>. No mais, o termo descentralizado está presente na conceituação e definição das moedas virtuais pois não existe um órgão ou governo responsável por controlar, intermediar e autorizar emissões de moedas, transferências e outras operações. Essa atuação compete aos usuários. NUBANK. *O que é criptomoeda?* Entenda de uma vez. 2020. Disponível em: <https://blog.nubank.com.br/o-que-e-criptomoeda>. Acesso em 20 de abril de 2021.

¹¹ SAVELYEV, Alexander. Contract Law 2.0: “smart” contracts as the beginning of the end of classic contract law. *Information and Communications Technology Law*, v. 26, n. 2, p. 116-134, Jan./Apr. 2017. DOI: <https://doi.org/10.1080/13600834.2017.1301036>. Disponível em: <http://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/13600834.2017.1301036>. Acesso em: 26 abr. 2021.

¹² COASE, Ronald. The nature of the firm. In: COASE, Ronald H. *The firm, the market and the law*. Chicago. The University of Chicago Press. p. 33-56. Edição original: *Economica*, IV, November 1937. p. 386-405.

¹³ Afirmam os autores: “*The blockchain technology is trustless, meaning that it does not require third party verification (i.e. trust), but instead uses a powerful consensus mechanism with cryptoeconomic incentives to verify authenticity of a transaction in the database, which also makes it safe, even in the presence of powerful or hostile third parties trying to prevent users from participating*”. DAVIDSON, Sinclair; DE FILLIPI, Primavera; POTTS, Jason. *Economics of blockchain. Public choice Conference*. Fort Lauderdale: United States, 2016. p. 3. DOI: <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.2744751>. Disponível em: https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=2744751. Acesso em: 26 abr. 2021.

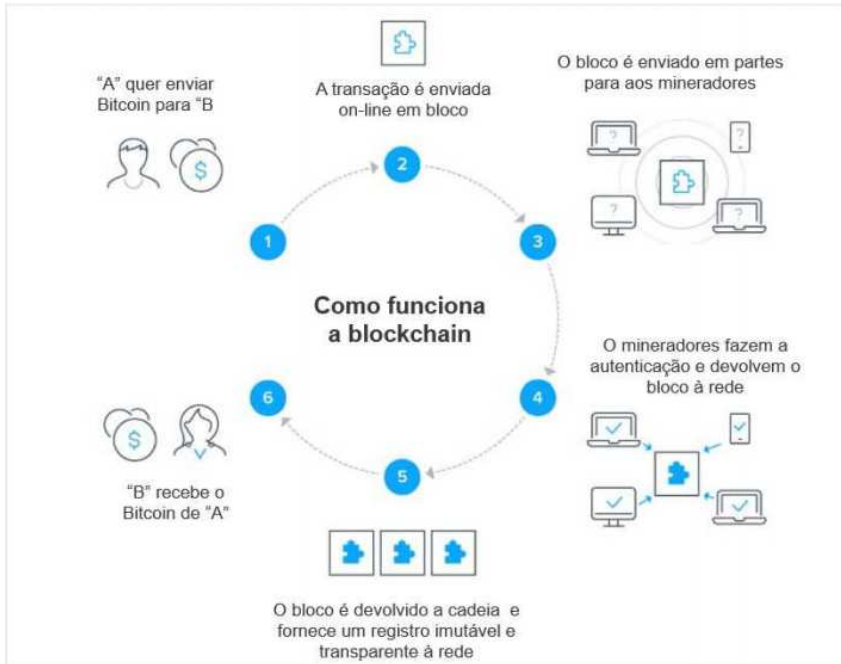
Figura 1: Funcionamento da *Blockchain*¹⁴

Em outros termos, pode-se representar:

Figura 2: Funcionamento da mineração¹⁵

¹⁴ NAKAMOTO, Satoshi. *Bitcoin: a peer-to-peer electronic cash system*. Disponível em: <https://bitcoin.org/bitcoin.pdf>. Acesso em: 26 abr. 2021.

¹⁵ Elaborado por: SÁ, Mike Rafael. *Bitcoin e os vazios institucionais: uma abordagem histórica da moeda*. Dissertação de mestrado. Universidade Vale do Rio dos Sinos – UNISINOS. Programa de Pós Graduação em Administração, Porto Alegre, 2019, p. 31.



Conforme dito, toda essa tecnologia foi criada e utilizada para a criação da criptomoeda *Bitcoin*. Nakamoto apresentou uma nova visão de como os valores monetários são observados e utilizados no cenário contemporâneo. Atualmente, existem cerca de 18,691,881 *Bitcoins* sendo comercializadas no mercado e capitalizadas no valor de R\$5,457,574,226,089, o que gera o total de inúmeras transações diárias no valor de R\$327,150,260,852.¹⁶ Pode-se verificar, nestes valores, a descentralização e a desvinculação da moeda ao cenário interno, sendo essencialmente controlada pelo mercado. Porém, o que dá a ela as possibilidades de crescimento?

A rede contém um incentivo para sua adesão e ingresso sob a forma de uma recompensa ligada à criação bem sucedida

¹⁶ Dados extraídos no dia 26/04/2021 in COINMARKETCAP. *Today's Cryptocurrency Prices by Market Cap*. Disponível em: <https://coinmarketcap.com/1/>. Acesso em: 26 abr. 2021.

de um novo bloco. Os usuários da rede envolvido nas transações da *blockchain* são incentivados a se comportar honestamente porque o protocolo Bitcoin torna o processo de criação de um bloco computacionalmente caro. Os participantes têm que gastar recursos, tais como tempo e eletricidade para executar seu hardware, a fim de criar blocos que satisfaçam requisitos específicos. Todo o processo de criação de novos blocos através deste sistema de *proof-of-work* é conhecido como *mineração*¹⁷/*min-ning*.¹⁸ E como resultado desse processo os usuários da rede P2P são bonificados com uma quantidade parcial de criptomoedas para poder comercializá-las livremente no mercado.

No mais, o objetivo do uso da criptografia no processo de utilização do Bitcoin é fornecer os recursos básicos de segurança, sendo que o Bitcoin só pode ser gasto pelo proprietário e isto só pode ser feito uma vez.¹⁹ Mas toda essa conquista têm um preço. A utilização do *proof-of-work* tem um grande custo, tanto energético quanto computacional, e tem sido uma das

¹⁷ De acordo com Santos, Pandolfo e Andreola o termo *mineração* é uma referência à exploração de metais preciosos. Compreende-se então uma espécie de alusão a preciosidade que essa novidade tecnológica poderá agregar ao mercado. LEOPOLDINO, A. dos S.; PANDOLFO, E. E. G.; ANDREOLA, R. Estudo da viabilidade de Mineração de Criptomoedas em Maringá-PR. *XI EPCC Anais Eletrônico*. 2019. Disponível em: <http://rdu.unicesumar.edu.br/bitstream/123456789/3692/1/Alex%20Leopoldino%20dos%20Santos.pdf>. Acesso em: 27 abr. 2021.

¹⁸ VRIES, Alex de. Bitcoin's energy consumption is underestimated: A market dynamics approach. *Energy Research & Social Science*, v. 70, n. 2020, p. 1. "In order to "mine" Bitcoin, computers - often specialised ones - are connected to the cryptocurrency network. They have the job of verifying transactions made by people who send or receive Bitcoin. This process involves solving puzzles, which, while not integral to verifying movements of the currency, provide a hurdle to ensure no-one fraudulently edits the global record of all transactions. As a reward, miners occasionally receive small amounts of Bitcoin in what is often likened to a lottery". CRIDDLE, Cristina. Bitcoin consumes 'more electricity than Argentina'. *BBC News*. 2021. Disponível em: <https://www.bbc.com/news/technology-56012952>. Acesso em: 27 abr. 2021.

¹⁹ BADEA, Liana; MUNGIU-PUPĂZAN, Mariana Claudia. The economic and environmental impact of Bitcoin. *IEEE Access*. Ahead of print. 2021, p. 2. DOI: 10.1109/ACCESS.2021.3068636.

críticas mais significativas à Bitcoin nos últimos anos.²⁰ Este algoritmo criou uma sociedade de mineração altamente competitiva na qual os mineiros/*minners* competem para resolvê-la, e a recompensa de 12,5 BTC (esta quantia cai pela metade a cada quatro anos ou a cada 10.000 BTCs) para cada bloco recém-criado.²¹

A título exemplificativo, o primeiro quebra-cabeça resolvido na *blockchain* resultou no consumo maciço de energia elétrica de, no mínimo, 43,3 Terawatt-hora (TWh) e foi estimada em 73,1 TWh, anualmente. Estudos realizados em 2018 estimaram que o consumo total de energia elétrica da rede era igual ao de países desenvolvidos inteiros como a Irlanda²² Hong Kong²³, e possivelmente até mesmo a Áustria. Isto levou a uma centelha de debate e interesse entre os acadêmicos. A Universidade de Cambridge até acrescentou uma nova fonte, o Índice de Consumo de Eletricidade Bitcoin de Cambridge (CBECI), para estimativas diárias do consumo de eletricidade pela rede Bitcoin. Isto apresentou uma alternativa ao já existente Índice de Consumo de Energia Bitcoin (BECI). Em 21 de abril de 2021, estes

²⁰ TRUBY J. Decarbonizing Bitcoin: law and policy choices for reducing the energy consumption of Blockchain technologies and digital currencies. *Energy Res Soc Sci*, 2018; v. 44, p. 399 e 410. <https://doi.org/10.1016/j.erss.2018.06.009>. Acesso em: 27 abr. 2021.

²¹ ANTONOPOULOS, Andreas M. *Mastering bitcoin: unlocking digital cryptocurrencies*. Sebastopol: O'Reilly, 2015.

²² VRIES, A. de. Bitcoin's growing energy problem, *Joule*, v. 2, n. 5, 16 May 2018, p. 801-805. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.joule.2018.04.016>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2542435118301776>. Acesso em: 27 abr. 2021.

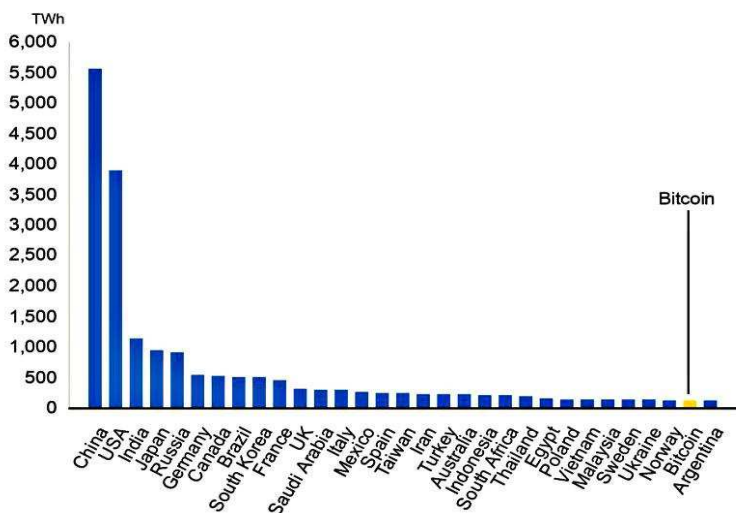
²³ Hong Kong consome 46,9 terawatt-hora (TWh) de eletricidade anualmente, enquanto a rede Bitcoin foi estimada a consumir 45,8 TWh anualmente. In: INTERNATIONAL ENERGY AGENCY, Key World Energy Statistics 2018. Disponível em: <https://webstore.iea.org/key-world-energy-statistics-2018>.

STOLL, C.; KLAABEN, L.; GALLERSDÖRFER, U. The Carbon Footprint of Bitcoin, *Joule*, volume 3, issue 7, 17 July 2019, p. 1647-1661. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2542435119302557>. Acesso em: 27 abr. 2021.

dois estimavam que a rede consumia anualmente 106,413²⁴ a 122,22²⁵ terawatt-hora (TWh) de energia elétrica. Para uma única transação de Bitcoin, isto se traduz na utilização de energia elétrica superior ao consumo da Argentina²⁶, como pode ser observado no gráfico abaixo:

Bitcoin usa mais energia do que a Argentina

Se o bitcoin fosse um país, estaria entre os 30 maiores usuários de energia em todo o mundo



Uso nacional de energia em TW/h

Fonte: University of Cambridge Bitcoin Electricity Consumption Index



2728

²⁴ DIGICONOMIST. *Bitcoin Energy Consumption Index*, 2021. Disponível em: <https://digiconomist.net/bitcoin-energy-consumption/>. Acesso em: 27 abr. 2021.

²⁵ CAMBRIDGE. Bitcoin Electricity Consumption Index, 2020. Disponível em: <https://cbeci.org/>. Acesso em: 27 abr. 2021.

²⁶ CRIDDLE, Cristina. Bitcoin consumes 'more electricity than Argentina'. *BBC News*. 2021. Disponível em: <https://www.bbc.com/news/technology-56012952>. Acesso em: 27 abr. 2021. E VRIES, Alex de. Bitcoin's energy consumption is underestimated: A market dynamics approach. *Energy Research & Social Science*, v. 70, n. 2020, p. 1.

²⁷ CRIDDLE, Cristina. Bitcoin consumes 'more electricity than Argentina'. *BBC News*. 2021. Disponível em: <https://www.bbc.com/news/technology-56012952>. Acesso em 3 de maio de 2021.

²⁸ Original em inglês.

Perceba-se que a demanda existente para geração de criptomoedas, principalmente a Bitcoin, está intrinsecamente ligada ao fator energia elétrica, pois os resultados advêm da utilização de computadores destinados ao processamento do algoritmo. E essa abordagem será realizada neste momento objetivando demonstrar o início de um percurso insustentável no cenário contemporâneo a nível mundial.

2 – A EXCESSIVA DEMANDA ENERGÉTICA: IMPACTOS ECONÔMICOS E AMBIENTAIS NA GERAÇÃO DAS CRIP-TOMOEDAS

A mineração de criptomoedas tem como resultado e produto bens imateriais com alta representação de capital no mercado. Contudo, conforme visualizado, todo procedimento somente se torna possível com o uso de energia elétrica para manter o hardware e o software em funcionamento na plataforma *Blockchain*.

A situação complica-se em razão a partir de que o fornecimento de qualquer moeda criptomoeda é tipicamente finito e disponibilizado de acordo com regras prescritas que, assintoticamente, aproximam-se de uma quantia fixa em um determinado momento. Ou seja, especificamente, à medida que o fornecimento de novas moedas diminui, a implicação de um processo de POW para extrair moedas deve necessariamente aumentar, exigindo-se quantidades cada vez maiores de eletricidade. Esse processo equivale a rodadas sequenciais de um torneio em que o vencedor leva tudo (teoricamente semelhante aos torneios de P&D²⁹), onde os custos associados à vitória em cada rodada aumentam progressivamente.³⁰ Estima-se que mais de 3 milhões

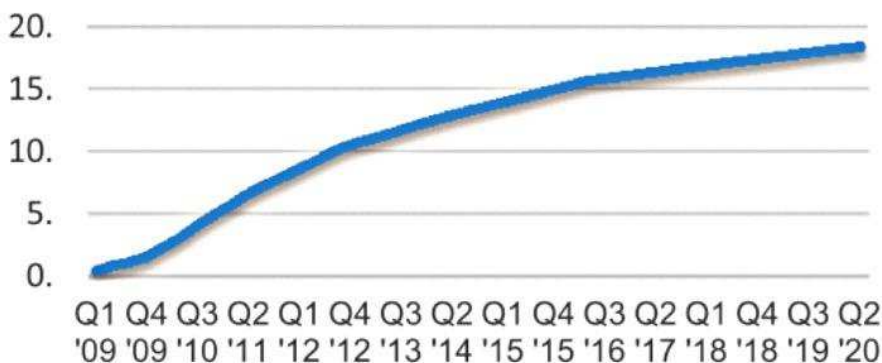
²⁹ MA, J. GANS, J. S.; TOURKY, R. Market Structure in Bitcoin Mining. *NBER*. 2018, p. 1-24. Disponível em: <https://www.nber.org/papers/w24242>. Acesso em: 03 de maio 2021.

³⁰ GOODKIND, Andrew L.; JONES, Benjamin A.; BERRENS, Robert P. Cryptodamages: Monetary value estimates of the air pollution and human health impacts

de pessoas estão usando ativamente criptomoedas como bitcoin.³¹

No gráfico abaixo é possível verificar que o número de bitcoins em circulação cresceu de forma considerável:

Número de bitcoins em circulação no mundo todo do 4º trimestre de 2012 ao 2º trimestre de 2020 (em milhões)



3233

De acordo com Gregório (2021) a bitcoin aumentou seu consumo de energia em 41,91% no último ano, e, com isso, já demanda mais eletricidade do que a maioria dos países no mundo, alguns dos quais com populações acima de 100 milhões de pessoas.³⁴

of cryptocurrency mining. *Energy Research & Social Science*. v. 59, n. 2020, p., 1-10.

³¹ UNIVERSITY OF CAMBRIDGE. *Study highlights growing significance of cryptocurrencies*. 2017. Disponível em: https://phys.org/news/2017-05-highlights-significance-cryptocurrencies.html?utm_source=TrendMD&utm_medium=cpc&utm_campaign=Phys.org_TrendMD_1. Acesso em 6 de maio de 2021.

³²BADEA, Liana; MUNGIU-PUPAZAN, Mariana Claudia. The economic and environmental impact of Bitcoin. *IEEE Access*. Ahead of print. 2021. DOI: 10.1109/ACCESS.2021.3068636.

³³ Original em inglês.

³⁴ GREGÓRIO, R. Bitcoin poluidor? Criptomoeda já consome mais energia que país

Contudo, mensurar com exatidão a eletricidade consumida para gerar uma criptomoeda levando em consideração o algoritmo utilizado ainda é um desafio para o cenário contemporâneo. Existem variáveis a serem consideradas que, infelizmente, não podem ser definidas com uma certeza considerável. Mesmo que se possa estimar o consumo computacional destinado à criação das criptomoedas com fundamento no número total colocado em circulação, essa referência pouco nos informa sobre as demais situações que atuam sobre a respectiva máquina que a gerou, omitindo informações sobre o seu real consumo na prática. Porém, estimar o consumo de energia elétrica na criação de uma criptomoeda, principalmente da bitcoin, utilizando a eficiência energética do hardware tem se tornado comum e o padrão ao longo dos anos.³⁵

Todavia, existem vários fatores a serem considerados para escolher um hardware e um software adequado destinado à mineração. O primeiro deles é o valor do próprio equipamento em relação ao resultado pretendido, que depende da quantidade de *hash* obtida pelo tempo de mineração, sendo que esse custo é usualmente medido por GH's. o segundo fator é o custo da energia. *Miners* tendem a preferir equipamentos com menor consumo, pois são mais eficientes e emitem menos calor dentro da máquina. O terceiro fator é a dificuldade, que é uma dimensão arbitrária do valor que mede o quão problemático é encontrar um algoritmo apto e necessário para criar um bloco. Essa dificuldade é recalculada cada vez que um bloco é inserido na rede, demandando maior quantidade de energia elétrica para a próxima solução/inserção.³⁶

com 100 milhões de pessoas. *Globo*. 2021. Disponível em: <https://valorinveste.globo.com/mercados/cripto/noticia/2021/01/08/bitcoin-poluidor-criptomoeda-ja-consome-mais-energia-que-pais-com-100-milhoes-de-pessoas.ghtml>. Acesso em 3 de maio de 2021.

³⁵ VRIES, A. Bitcoin's Growing Energy Problem. *Joule*, v.2, p. 801–809, May 16, 2018.

³⁶ MALFUZI, A. et.al. Economic viability of bitcoin mining using a renewable-based SOFC power system to supply the electrical power demand. *Energy*. v.203, n. 2020,

Porém, plataformas como Digiconomist³⁷ e a Bitcoin Electricity Consumption Index da Cambridge³⁸ fornecem cálculos que levam em consideração as receitas totais de mineração, em seguida, estima que parte é gasta em eletricidade, determina quanto os mineiros devem pagar por kWh e, finalmente, converte os custos em consumo de energia (usando a parte das receitas de mineração gasta em eletricidade para a estimativa).³⁹ Porém, como acontece com qualquer tecnologia emergente, é necessário considerar cuidadosamente seus impactos ambientais e de saúde na sociedade.

Na literatura contemporânea, Krause e Tolaymat⁴⁰ demonstram a quantificação da energia e das emissões de carbono para a mineração de quatro criptomoedas proeminentes (Bitcoin (BTC), Ethereum (ETH), Litecoin (LTC) e Monero (XMR), todas identificadas como usando um processo POW). Os autores realizam e respondem os seguintes questionamentos: (1) essas criptomoedas requerem a mesma quantidade de energia para funcionar? (2) quais processos ou serviços convencionais seriam comparados com a *criptomineração* (por exemplo, mineração de ouro), em termos de energia investida e valor extraído? e (3) quais impactos de carbono esse consumo de energia pode gerar? Os autores descobriram que a mineração de BTC, ETH, LTC e XMR tende a consumir mais energia do que a mineração de minerais tradicionais, como cobre, ouro, metais de platina e metais

p. 2. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0360544220309506>. Acesso em: 26 abr. 2021.

³⁷ DIGICONOMIST. *Bitcoin Energy Consumption Index*, 2021. Disponível em: <https://digiconomist.net/bitcoin-energy-consumption/>. Acesso em: 27 abr. 2021.

³⁸ CAMBRIDGE. *Bitcoin Electricity Consumption Index*, 2020. Disponível em: <https://cbeci.org/>. Acesso em: 27 abr. 2021.

³⁹ MALFUZI, A. et.al. Economic viability of bitcoin mining using a renewable-based SOFC power system to supply the electrical power demand. *Energy*. v.203, n. 2020, p. 2. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0360544220309506>. Acesso em: 26 abr. 2021.

⁴⁰ KRAUSE, Max J.; TOLAYMAT, T. Quantification of energy and carbon costs for mining cryptocurrencies. *Nat Sustain* 1, p. 711–718, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/s41893-018-0152-7>. Acesso em: 03 maio 2021.

de terras raras (com exceção do alumínio, que tem alto consumo de eletricidade) na produção um valor de mercado equivalente.⁴¹

Quanto aos impactos ambientais, Stoll et.al constataram que a prática de mineração de criptomoedas apenas com a BTC gerou cerca de 20 toneladas de gás carbônico na atmosfera em razão da alta demanda de energia elétrica.⁴² Estima-se que a emissão de poluentes gerada na mineração de BTC possa afetar o aquecimento global com um aumento de temperatura de aproximadamente 2°C nos próximos 11-22 anos.⁴³

No mais, Mora et.al demonstraram que uma parcela da mineração de criptomoedas na China consumia em 2015 pelo menos 30,34 GWh com a respectiva emissão de aproximadamente 19.12 a 19.42 mil toneladas de gás carbônico.⁴⁴ Além disso, Loviscach propôs um aspecto fundamental que deve ser levado em consideração na avaliação do impacto do Bitcoin no meio ambiente que vai além do consumo de energia elétrica do computador (expressa em kWh) para computação, redes e refrigeração. Existe, também, disposição dos resíduos eletrônicos produzidos.⁴⁵ Partindo do fato de que os equipamentos de

⁴¹ GOODKIND, Andrew L.; JONES, Benjamin A.; BERRENS, Robert P. Cryptodamages: Monetary value estimates of the air pollution and human health impacts of cryptocurrency mining. *Energy Research & Social Science*. v. 59, n. 2020, p. 2.

⁴² STOLL, C.; KLAABEN, L.; GALLERSDORFER, U. The carbon footprint of Bitcoin, Joule, v. 3 n. 2019, p. 1–15 LI, J. et.al. Energy consumption of cryptocurrency mining: A study of electricity consumption in mining cryptocurrencies. *Energy*, p. 168, 160–168, 2019. Disponível em: doi:10.1016/j.energy.2018.11.046. Acesso em: 03 maio. 2021.

⁴³ TRUBY, J. Decarbonizing Bitcoin: Law and policy choices for reducing the energy consumption of Blockchain technologies and digital currencies. *Energy Res. Soc. Sci.*, v. 44, p. 399–410, 2018. Disponível em: doi:10.1016/j.erss.2018.06.009. Acesso em: 03 mai. 2021.

⁴⁴ MORA, C. et. al. Bitcoin emissions alone could push global warming above 2°C. *Nat. Clim. Change*, v. 8, p. 931–933, 2018, doi:10.1038/s41558-018-0321-8. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/s41558-018-0321-8>. Acesso em: 03 maio 2021.

⁴⁵ LOVISCACH, J. *The Environmental Cost of Bitcoin*. 2012; Disponível em: https://j317h.de/talks/2012-09-20_Environmental_Cost_of_Bitcoin.pdf. Acesso em: 03 maio 2021.

mineração utilizados para obter o Bitcoin se tornam obsoletos em cerca de 1,5 anos, deixando apenas aqueles que provam ser economicamente viáveis permanecerem viáveis, devemos também considerar como eles se transformam em lixo eletrônico⁴⁶, cuja quantidade é comparável ao total de lixo eletrônico gerado por um país como Luxemburgo (12 kt).⁴⁷

Por fim, Kaiser, Jurado e Ledger indicam que uma parte substancial da mineração de moedas criptográficas ocorre na China.⁴⁸ Goodkind, Jones e Berrens já estimavam em 2018 que os danos da mineração de moedas na China seriam, em média, um pouco menores do que nos EUA. Os autores demonstram que, para 2018, os danos de uma moeda BTC gerada nos EUA foram de 49% do valor da moeda, e os danos de uma moeda gerada na China foram de 37% do valor da moeda. As taxas de emissão (CO2 kWh-1 15% e SO2 kWh-1 16% maior) e mortalidade t-1 das emissões (mortalidade SO2 t-1 39% maior) são maiores na China em comparação com os EUA, entretanto, a VSL⁴⁹ que os autores utilizam em na confecção do artigo é estimada em 90% menor. Combinando estes fatores, os impactos climáticos da mineração de moedas criptográficas da China constituem uma parcela maior dos danos totais (89% do clima, 11% dos efeitos sobre a saúde humana), em comparação com os danos dos EUA, onde aproximadamente 60% dos danos são causados pelos impactos climáticos. É importante notar que esta

⁴⁶ KOOMEY, J.; BERARD, S.; SANCHEZ, M. WONG, H. Implications of Historical Trends in the Electrical Efficiency of Computing". *IEEE Ann. Hist. Comput.*, v. 33, p. 46–54, 2011, doi:10.1109/MAHC.2010.28.

⁴⁷ VRIES, Alex. Renewable Energy Will Not Solve Bitcoin's Sustainability Problem. *Joule*, v. 3, p. 893–898, 2019, doi:10.1016/j.joule.2019.02.007.

BADDEA, Liana; MUNGIU-PUPĂZAN, Mariana Claudia. The economic and environmental impact of Bitcoin. *IEEE Access*. Ahead of print. 2021, p. 2. DOI: 10.1109/ACCESS.2021.3068636.

⁴⁸ KAISER, B.; JURADO, M.; LEDGER, A. The Looming Threat of China: An Analysis of Chinese Influence On Bitcoin, *Cornell University*, 2018. Disponível em: <https://arxiv.org/abs/1810.02466>. Acesso em: 03 maio 2021.

⁴⁹ *Value of Statistical Life*. Medida utilizada para verificar e quantificar a qualidade e quantidade de vida nominal de um ser humano para evitar uma fatalidade.

diferença entre a China e os EUA é impulsionada, em grande parte, pela diferença na magnitude do VSL para cada país.⁵⁰

Toda essa situação, somada ao atual cenário de escassez de componentes eletrônicos, principalmente destinados à confecção de hardware destinados à mineração,⁵¹ faz com que recursos naturais e materiais sejam utilizados para serem convertidos em moedas digitais sem qualquer conexão direta à proteção do meio ambiente. A visão essencialmente capitalista, especulatória e ambiciosa do *ser humano* cega-se em uma conduta visivelmente lesiva à sua própria condição de *ser humano* em um mundo dilapidado para consecução de premissas individuais sem qualquer tipo de retorno positivo ao seu ponto de origem.⁵²

A prática de mineração de criptomoedas permanece

⁵⁰ “For the US and China, our main finding is that in 2018, each \$1 of Bitcoin value created was responsible for \$0.49 in health and climate damages in the US and \$0.37 in China. Put differently, the human health and climate damages caused by Bitcoin represented almost half of the financial value of each US dollar of Bitcoin created (as represented by market prices). Further, the slightly smaller value in China relative to the US (for each \$1 of Bitcoin created) occurs primarily due to the extremely large disparity between the VSL estimate for the US (\$11.53 million) relative to that of China (\$1.12 million), a more than 10-to-1 ratio”. GOODKIND, Andrew L.; JONES, Benjamin A.; BERRENS, Robert P. Cryptodamages: Monetary value estimates of the air pollution and human health impacts of cryptocurrency mining. *Energy Research & Social Science*. v. 59, n. 2020, p. 7.

⁵¹ A Nvídia, uma das maiores fabricantes de placas de vídeo do mundo, precisou lançar drivers para suas placas de vídeo para limitar a potência destinada à mineração para tentar conter o comércio predatório de seus produtos, bem como evitar que a oferta seja mantida no cenário econômico, o que infelizmente não aconteceu, gerando um aumento substancial nesses produtos. Vide: WUEBBLING, M. GeForce Is Made for Gaming, CMP Is Made to Mine: We’re limiting the hash rate of GeForce RTX 3060 GPUs so they’re less desirable to miners and launching NVIDIA CMP for professional mining. *Nvidia*. 2021. Disponível em: <https://blogs.nvidia.com/blog/2021/02/18/geforce-cmp/>. Acesso em: 03 maio 2021.

⁵² É importante ressaltar que a mineração de criptomoedas evoluiu de uma atividade de passatempo para uma indústria profissional de capital intensivo, na qual os mineiros de bitcoins ganharam mais de US \$ 2 bilhões em receitas de mineração entre o período de 2009 à 2017. UNIVERSITY OF CAMBRIDGE. Study highlights growing significance of cryptocurrencies. 2017. Disponível em: https://phys.org/news/2017-05-highlights-significance-cryptocurrencies.html?utm_source=TrendMD&utm_medium=cpc&utm_campaign=Phys.org_TrendMD_1. Acesso em 6 de maio de 2021.

ainda criticável quando observada sob a ótica das diretrizes internacionais destinadas ao desenvolvimento sustentável. Nesse prisma, verificaremos como todo o cenário de criptoativos pode afetar direta ou indiretamente a Agenda 2030, um marco estabelecido pelas Nações Unidas com a finalidade de manutenção da sustentabilidade e manutenção do ambiente perante o desenvolvimento social, econômico e tecnológico.

3 – CRIPTOMOEDAS E O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL: REFLEXÕES SOB A ÓTICA DA AGENDA 2030

A Agenda 2030 é um mecanismo de *soft law* (de observância facultativa) para os países que estão de acordo com suas prioridades atuar em parceria global para formação de um plano entre pessoas, o planeta e a prosperidade, objetivando fortalecer a paz mundial.⁵³ O plano conta com 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS⁵⁴) e 169 metas que buscam, por exemplo, erradicar a pobreza e promover a vida digna. Também busca fortalecer a paz universal com mais liberdade.⁵⁵

É uma oportunidade histórica e sem precedentes para reunir países e determinar o curso global de ação para promover a prosperidade e o bem-estar a nível mundial, tendo como

⁵³ Disponível em: PNUD. Plataforma Agenda 2030. Disponível em: <http://www.agenda2030.org.br/sobre/>. Acesso em: 20 abr. 2020.

⁵⁴ “Os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável, também conhecidos como Objetivos Globais, são um chamado universal para ação contra a pobreza, proteção do planeta e para garantir que todas as pessoas tenham paz e prosperidade. Esses 17 Objetivos foram construídos com o sucesso dos Objetivos de Desenvolvimento do Milênio, incluindo novos temas, como a mudança global do clima, desigualdade econômica, inovação, consumo sustentável, paz e justiça, entre outras prioridades. Os objetivos são interconectados – o sucesso de um ODS envolve o combate a temas que estão associados a outros objetivos”. PNUD. O que são os objetivos de desenvolvimento sustentável? Disponível em: <https://www.br.undp.org/content/brazil/pt/home/sustainable-development-goals.html>. Acesso em: 20 abr. 2020.

⁵⁵ BRASIL. *Transformando Nosso Mundo: A Agenda 2030 Para O Desenvolvimento Sustentável*. 2016. Disponível em: http://www.mds.gov.br/webarquivos/publicacao/brasil_amigo_pesso_idosa/Agenda2030.pdf. Acesso em 20 de abril de 2021.

principal foco a proteção ao meio ambiente e o enfrentamento das mudanças climáticas,⁵⁶ almejando alcançar um futuro bem-sucedido para a própria Terra e todos os seres vivos que nela habitam. Estes objetivos buscam concretizar os direitos humanos de todos.⁵⁷

No entanto, o *sucesso* almejado não se dá a qualquer custo, de forma desgovernada ou ainda pensando só no ser humano, mas sim por meio de um avanço suportável se valendo de metas, objetivos e a união dos povos. Para que haja o bem-estar geral, é preciso fazer asintonizar-se com a natureza e respeitar seus limites naturais, pois não há como usufruir de seus recursos em sua ausência.

A grande quantidade energética utilizada para a obtenção de moedas criptografadas pode ser um impasse para o cumprimento de alguns dos ODS elencados pela Agenda 2030⁵⁸, uma vez que as moedas são descentralizadas, ou seja, não há órgão ou organização governamental que observe de forma oficial onde a Bitcoin está sendo extraída e qual fonte de energia elétrica vem sendo utilizada. Dessa forma, não há clareza se os mineradores estão utilizando fontes renováveis ou advindas de combustíveis fósseis.⁵⁹

Contudo, muitas das atividades humanas atuais utilizam

⁵⁶ FAGUNDES, F.; Zeifert, A. P. B.; Siqueira, C. S. de. Reduzir a Desigualdade Dentro dos Países e Entre Eles: Refletindo Sobre o ODS 10 da Agenda 2030 e a Justiça Social em Tempos de Racionalidade Neoliberal. *Salão do Conhecimento*, v. 6, n. 6, p. 1-12 (09), 2020. Disponível em: <https://publicacoeseventos.unijui.edu.br/index.php/salaoconhecimento/article/view/18592>. Acesso em 6 de maio de 2021.

⁵⁷ GERALDO, Genilson; PINTO, Marli Dias de Souza. Percursos da Ciência da Informação e os objetivos do desenvolvimento sustentável da agenda 2030/ONU. *Revista ACB*, [S.l.], v. 24, n. 2, p. 373-389, ago. 2019. ISSN 1414-0594. Disponível em: <<https://revista.acbsc.org.br/racb/article/view/1597>>. Acesso em: 09 maio 2021.

⁵⁸ Principalmente os ODS's 7 (Energia Acessível e Limpa), 11 (Cidades e Comunidades Sustentáveis) e 12 (Consumo e Produção Responsáveis), como se verá adiante.

⁵⁹ ARATINI, L. Electricity needed to mine bitcoin is more than used by 'entire countries'. *The Guardian*. 2021. Disponível em: <https://www.theguardian.com/technology/2021/feb/27/bitcoin-mining-electricity-use-environmental-impact>< Acesso em 21 de abril de 2021.

energia e a maior parte dessa energia provém da queima de combustíveis fósseis. No mundo, a principal fonte de geração de energia elétrica é o carvão.⁶⁰ Como é o caso da China, cujo país tem como fonte dominante de energia elétrica o carvão⁶¹ e que segundo estudo da consultoria especializada britânica CoinShares, em 2019 concentrou 66% da capacidade de processamento para geração de bitcoins (*hashrate*)⁶², e conforme Jiang et.al. no ano de 2020 já foi responsável por mais de 75% das transações.⁶³

Mas não há que se falar em inovação sem pensar na questão nas repercussões consequenciais ligadas direta ou indiretamente a novidade. No caso das criptomoedas não resta dúvida que se trata de inovação e que possuem seu valor. Porém, existe um preço à sociedade e ao meio ambiente devido à alta demanda energética utilizada. O fato de predominantemente a energia usada no mundo vir de fontes como o carvão, petróleo e gás natural não contribui para o desenvolvimento sustentável.

Todavia, como mencionado toda tecnologia tem seu impacto no meio ambiente, mesmo a eólica e a solar que são menos danosas ao meio ambiente. O desafio da governança é equilibrar

⁶⁰ BRASIL. *Energia e aquecimento global. Empresa de Pesquisa Energética. Empresa de Pesquisa Energética*. Disponível em <https://www.epe.gov.br/pt/abcedenergia/energia-e-aquecimento-global#:~:text=Muitas%20das%20atividades%20humanas%20atuais,de%20gasolina%20e%20%C3%B3leo%20diesel..> Acesso em 3 de maio de 2021.

⁶¹ SCHUTTE, G. R.; Debone, V. S. Trajetória e desafios da matriz energética chinesa. *Economia e Políticas Públicas*, v. 4, n. 1/2016 2021, p. 111-134. Disponível em: <https://www.periodicos.unimontes.br/index.php/economiaepoliticaspublicas/article/view/4047/3960>. Acesso em 03 de maio de 2021.

⁶² ORTEGA, J. China concentra 66% da mineração mundial de bitcoins. *Startse*. 2019. Disponível em: <https://www.startse.com/noticia/ecossistema/china-concentra-66-da-mineracao-mundial-de-bitcoins>. Acesso em 3 de maio de 2021.

⁶³ “Due to the proximity to manufacturers of specialized hardware and access to cheap electricity, majority of the mining process has been conducted in China as miners in the country account for more than 75% of the Bitcoin network’s hashing power” JIANG, S. et.al. Policy assessments for the carbon emission flows and sustainability of Bitcoin blockchain operation in China. *Nature Communications*. v. 12, n. 2021, p. 1-10. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/s41467-021-22256-3.pdf>. Acesso em 09 maio 2021.

a abrupta dependência energética da economia atual com os melhores métodos de extração disponíveis para alcançar um ponto ótimo de fornecimento de energia sustentável, competitivo e confiável.⁶⁴

Gates enfatizou a implicação negativa do Bitcoin no meio ambiente, pois apesar de ser virtual, demanda mais eletricidade por transação que qualquer outro método conhecido pela humanidade.⁶⁵ Compreende-se que as fontes alternativas de energias apresentam um papel fundamental para o crescimento e o atendimento da sociedade. Sob essa perspectiva, é importante ressaltar a utilização desse recurso no cenário mundial, socioeconômico e ambiental.⁶⁶

Neste sentido, o Objetivo de Desenvolvimento Sustentável nº 7 da Agenda 2030, cuja meta é ampliar a diversidade e a capacidade de eficiência do uso de fontes energéticas renováveis,⁶⁷ bem como o acesso à energia, em especial nos países mais vulneráveis, comunica-se diretamente com a questão de utilização de energia vinda de meios como o carvão, que possui

⁶⁴ DENNY, D. M. T. *Agenda 2030 e Governança Ambiental: Estudo de Caso Sobre Etanol da Cana de Açúcar e Padrões de Sustentabilidade Como Bonsucro*. Tese de Doutorado. Universidade Católica de Santos. 2018, p. 163. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Denny-Thame/publication/325615820_Agenda_2030_e_governanca_ambiental_Estudo_de_caso_sobre_o_etanol_da_cana-de-acucar_e_padroes_de_sustentabilidade_como_Bonsucro/links/5b18919645851587f297c697/Agenda-2030-e-governanca-ambiental-Estudo-de-caso-sobre-o-etanol-da-cana-de-acucar-e-padroes-de-sustentabilidade-como-Bonsucro.pdf. Acesso em 4 de maio de 2021.

⁶⁵ ENTREPRENEUR. Bill Gates Slams Bitcoin's Impact on Environment. *Entrepreneur*. 2021. Disponível em: <https://www.entrepreneur.com/article/366892>. Acesso em 21 de abril.

⁶⁶ SILVA et. al. Agenda 2030 e os desafios para a garantia de acesso à energia limpa e renovável. *Meio Ambiente (Brasil)*, v.1, n.3. p. 038-044, 2019. Disponível em: <https://www.meioambientebrasil.com.br/index.php/MABRA/article/download/44/39>. Acesso em 09 maio 2021.

⁶⁷ PESSOA, Zoraide Souza, et al. Acesso à energia e cidades sustentáveis: da agenda 2030 às políticas na área da Ciência, Tecnologia e Inovação (CT&I). *Parc. Estrat.* Brasília-DF. v. 24, n. 49, p. 31-48 (34) • jul-dez • 2019. Disponível em: http://seer.cgee.org.br/index.php/parcerias_estrategicas/article/viewFile/929/843. Acesso em 4 de maio de 2021.

considerável impacto no meio ambiente, pois a manutenção de um sistema que contribua com a degradação ambiental prejudica diretamente o alcance das fontes de energia limpas e acessíveis.

Por exemplo, é negativo para o ODS 7 existirem ainda pequenos produtores que, por falta de uma política energética adequada em sua região, precisam usar queima de lenha e outras formas de produção de energia não limpas para manterem seu setor produtivo.⁶⁸

Se observado o cenário contemporâneo, a mineração de criptomoeda que utilize grande demanda energética é prejudicial para o cumprimento da ODS quando a fonte de energia usada é considerada não limpa e não renovável. Logo, também é danoso para o meio ambiente como um todo. A falta de energia limpa e acessível tem impactos diretos na qualidade de vida do ser humano.⁶⁹

Estima-se que em 2024 a China exigirá a capacidade energética de 296.59 Twh. Esse valor excede o nível de consumo total de energia da Itália e da Arábia Saudita e ocupa o 12º lugar entre todos os países em 2016. Correspondentemente, os fluxos de emissão de carbono da operação de Bitcoin poderão atingir um pico de 130,50 milhões de toneladas métricas por ano em 2024. Internacionalmente, essa emissão ultrapassa a emissão total de emissões de gases de efeito estufa da República Tcheca e do Catar em 2016, relatada por cia.gov no cenário de referência, sem qualquer intervenção política. Internamente, a produção de emissões da indústria de mineração de Bitcoin ficaria entre as 10 primeiras entre 182 cidades de nível de prefeitura e 42 principais setores industriais na China, respondendo por aproximadamente

⁶⁸ SOUZA, L. C. Energia e sustentabilidade humana: impacto das metas do ODS 7 no Brasil. *Revista De Direito Ambiental e Socioambientalismo*, v. 6, n. 1, p. 58-79, 2020.. Disponível em: <https://indexlaw.org/index.php/Socioambientalismo/article/view/6486/pdf>. Acesso em 3 de maio de 2021.

⁶⁹ Dessa forma, como reflexo, consegue-se cumprir de forma reflexa o ODS 3 (garantia de uma vida saudável e promoção do bem-estar para todos em todas as idades).

5,41% das emissões da geração de eletricidade na China.⁷⁰

A situação da China ainda se agrava com sua participação no Acordo de Paris, ao qual se pretende limitar o aumento da temperatura média global. Sob o Acordo de Paris, a China se dedica a reduzir 60% da emissão de carbono até 2030 (com base nos dados de 2005). No entanto, de acordo Jiang et.al estima-se que o padrão de emissão de carbono do *blockchain* de Bitcoin tornar-se uma barreira potencial contra a meta de redução de emissões da China. O pico de emissão anualizada da indústria de mineração de Bitcoin a tornaria o décimo maior setor emissor de um total de 42 grandes setores industriais chineses. Em particular, seria responsável por aproximadamente 5,41% das emissões da geração de eletricidade na China.⁷¹ O pico de emissão de carbono por PIB da indústria de Bitcoin deve ficar em 10,77 kg por USD. Além disso, na economia nacional atual e na contabilidade das emissões de carbono da China, a operação do *blockchain* Bitcoin não está listada como um departamento independente para emissões de carbono e cálculo de produtividade. Isso adiciona dificuldade para os formuladores de políticas monitorarem o comportamento real da indústria do Bitcoin e projetar políticas bem direcionadas. Na verdade, o consumo de energia por transação da rede Bitcoin é maior do que vários canais de transações financeiras convencionais.⁷² Para resolver esse problema, sugere-se que os formuladores de políticas criem contas separadas para a indústria do Bitcoin a fim de melhor gerenciar e controlar seus comportamentos de emissão de carbono na China.⁷³

⁷⁰ JIANG, S. et.al. Policy assessments for the carbon emission flows and sustainability of Bitcoin blockchain operation in *China*. *Nature Communications*. v. 12, n. 2021, p. 1-10. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/s41467-021-22256-3.pdf>. Acesso em 09 maio 2021.

⁷¹ De acordo com o China Emission Accounts & Datasets (www.ceads.net).

⁷² KRAUSE, M. J.; TOLAYMAT, T. Quantification of energy and carbon costs for mining cryptocurrencies. *Nat. Sustain.* 1, 711–718, 2018.

⁷³ JIANG, S. et.al. Policy assessments for the carbon emission flows and sustainability of Bitcoin blockchain operation in *China*. *Nature Communications*. v. 12, n. 2021, p.

Perceba-se que a relação entre a transformação de recursos em energia elétrica é uma demanda patente nos países pioneiros no cenário da mineração de criptomoedas. Contudo, quanto maior a demanda maior serão os reflexos negativos frente ao seu fornecimento desenfreado. A descentralização impede, a princípio, uma maior fiscalização sobre os impactos advindos dessa prática, mas que não se deve fechar os olhos perante os estudos já então publicados com suas respectivas comprovações.

No mais, outro impacto da mineração de criptomoedas pode ser no ODS 10, que tem por meta a redução das desigualdades. De acordo com a Plataforma da Agenda 2030, o mundo é mais desigual hoje do que em qualquer momento da história desde 1940. A desigualdade de renda e na distribuição da riqueza dentro dos países têm disparado, incapacitando os esforços de alcance dos resultados do desenvolvimento e de expansão das oportunidades e habilidades das pessoas, especialmente dos mais vulneráveis.⁷⁴ Com a mineração, apenas as pessoas que possuem recursos podem ter acesso aos equipamentos necessários à sua atividade. Além disso, quanto maior o poder aquisitivo do minerador, maiores serão os resultados advindos da prática de mineração, fazendo com que sua posição frente aos demais atores sociais seja beneficiada em virtude da volatilidade do mercado quando da avaliação das criptomoedas. Portanto, a discrepância entre os que já se encontram em uma posição de pobreza frente aos demais atores sociais que podem ascender será consideravelmente elevada. Neste caso não se trata apenas do usuário individual que utiliza um simples hardware e um simples software em sua residência para minerar, mas das estações de mineração vultosas, cujos resultados são consideravelmente maiores para seu titular.

Não se objetiva apenas reduzir a desigualdade interna,

1-10. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/s41467-021-22256-3.pdf>. Acesso em 09 maio 2021.

⁷⁴ Plataforma Agenda 2030. Disponível em: <http://www.agenda2030.com.br/ods/10/>. Acesso em 4 de maio de 2021.

mas também entre os países. Esforços dedicados para redução da desigualdade de renda, aumento do acesso à tarifa zero para exportações de países menos desenvolvidos e em desenvolvimento, e o oferecimento de assistência adicional aos países menos desenvolvidos e pequenos estados em desenvolvimento, são mecanismos chaves para o mútuo crescimento. No entanto, será necessário acelerar o progresso para reduzir as disparidades crescentes dentro e entre os países.⁷⁵ Caso a China, por exemplo, permaneça nesse cenário dominante, estima-se que seu crescimento frente aos demais países será consideravelmente maior. Neste cenário de querer vencer a desigualdade entre os povos, as criptomoedas podem fazer um papel faltoso em benesses por acabar ocorrendo uma concentração de riqueza nas mãos de poucos.

Por fim, o ODS 12 da Agenda 2030, ao tratar sobre consumo e produção sustentável, relaciona-se com a criptomoeda no sentido de que a mineração visivelmente não tem se mostrado sustentável devido à alta quantidade de energia para a obtenção da moeda virtual. Todavia, para que haja a promoção do consumo sustentável são necessárias alterações estruturais na maneira de consumir das sociedades humanas, a qual deve equilibrar os meios de satisfação das necessidades de consumo das pessoas e a capacidade de suporte do planeta.⁷⁶

É válido, portanto, mencionar um modo que seja compensatório, baseando-se no princípio do poluidor-pagador. O princípio mencionado consiste em dizer que aquele que poluir ou exercer atividade que possa poluir está obrigado a pagar por

⁷⁵ BARBERIS, G. F.; Centeno, M. C. G.; Ródenas, M. C. E. Salud y pobreza, ODS de la Agenda 2030, ¿un reto posible de alcanzar? *Anales de ASEPUMA* nº 27, A502. 2019. p. 7. Disponível em: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7135791>. Acesso em 6 de maio de 2021.

⁷⁶ OLIVEIRA, V. M de et al. Avanços e retrocessos nas ações governamentais de promoção do consumo sustentável: a experiência brasileira. *Cadernos Gestão Pública e Cidadania*, São Paulo, v. 26, n. 84, p. 1-23, e-81400, 2021. Disponível em: <http://bibliotecadigital.fgv.br/ojs/index.php/cgpc/article/view/81400/79377>. Acesso em 6 de maio de 2021.

esta poluição.

Se as moedas digitais fossem como as já amplamente conhecidas e utilizadas, possivelmente seria mais simples manejá-las e regulá-las, seja por meio de impostos, encargos ou taxas em transações de moeda com base em seu consumo de energia relacionado.⁷⁷ Contudo, está-se diante do aumento dos valores de uma abstração frente à redução física dos recursos disponíveis no mundo. O ser humano está trocando o que é material pelo imaterial sem refletir sobre suas consequências futuras. Caso permaneça dessa forma, parte da Agenda 2030 será afetada e os reflexos em um futuro próximo podem ser catastróficos e irreparáveis por abstrações do cyberspaço.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Durante o decorrer do texto, pretendeu-se responder o seguinte questionamento quais os impactos ambientais trazidos pela mineração de criptomoedas?

Demonstrou-se que a grande quantidade de energia demandada para a mineração de criptomoedas afeta de forma direta a quantidade de gás carbônico emitido na atmosfera terrestre. Como as criptomoedas necessitam de recursos energéticos para serem gerados, quanto maior sua demanda maior o gasto e uso de energia para confeccioná-las. Além disso, em razão da sua dificuldade de solução do hash, a medida que novas moedas são incorporadas o algoritmo tende a reduzir a proporcionalmente a quantidade de moedas inseridas no mercado, necessitando de uma relação energética ainda maior para a produção de apenas uma criptomoeda.

Esse impacto atinge diretamente o cumprimento da Agenda 2030 frente o cenário contemporâneo. Verifica-se que

⁷⁷ TRUBY J. Decarbonizing Bitcoin: law and policy choices for reducing the energy consumption of Blockchain technologies and digital currencies. *Energy Res Soc Sci*, 2018; v. 44, p. 399 e 410. <https://doi.org/10.1016/j.erss.2018.06.009>. Acesso em: 27 abr. 2021.

os principais Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) afetados são: n. 7 (Energia limpa e acessível), a partir do momento em que se utiliza fontes não renováveis ou, ainda que renováveis, excessivamente dispendiosas; 10 (Redução das Desigualdades), por meio do acesso aos recursos eletrônicos destinados à confecção das criptomoedas, induzindo que as pessoas titulares de maior recurso serão os responsáveis pela maior captação de valores no mercado a partir de sua produção; e 12 (Consumo e Produção Responsáveis), quando o consumo excessivo de energia faz com que a demanda se torne maior e exista a necessidade de fornecimento, sob pena de comprometer o funcionamento econômico do país em questão, tal como a China.

Dessa forma, por mais que as criptomoedas representem um avanço considerável na tecnologia, sua utilização no cenário atual visivelmente está sendo prejudicial ao setor ambiental e econômico. Deve-se repensar individualmente sob sua forma de criação e seus reflexos em um cenário futuro, no qual substitui-se o físico pelo abstrato.



REFERÊNCIAS

- ANTONPOULOS, Andreas M. *Mastering bitcoin: unlocking digital cryptocurrencies*. Sebastopol: O'Reilly, 2015.
- ARATINI, L. Electricity needed to mine bitcoin is more than used by 'entire countries'. *The Guardian*. 2021. Disponível em: <https://www.theguardian.com/technology/2021/feb/27/bitcoin-mining-electricity-use-environmental-impact>. Acesso em 21 de abril de 2021.
- BADEA, Liana; MUNGIU-PUPĂZAN, Mariana Claudia. The economic and environmental impact of Bitcoin. *IEEE Access*. Ahead of print. 2021, p. 2. DOI:

- 10.1109/ACCESS.2021.3068636.
- BARBERIS, G. F.; Centeno, M. C. G.; Ródenas, M. C. E. Salud y pobreza, ODS de la Agenda 2030, ¿un reto posible de alcanzar? *Anales de ASEPUMA* nº 27, A502. 2019. p. 7. Disponível em: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7135791>. Acesso em 6 de maio de 2021.
- BRASIL. *Energia e aquecimento global. Empresa de Pesquisa Energética. Empresa de Pesquisa Energética*. Disponível em <https://www.epe.gov.br/pt/abcdenergia/energia-e-aquecimento-global#:~:text=Muitas%20das%20atividades%20humanas%20atuais,de%20gasolina%20e%20%C3%B3leo%20diesel..> Acesso em 3 de maio de 2021.
- BRASIL. *Transformando Nosso Mundo: A Agenda 2030 Para O Desenvolvimento Sustentável*. 2016. Disponível em: http://www.mds.gov.br/webarquivos/publicacao/brasil_amigo_pesso_idosa/Agenda2030.pdf Acesso em 20 de abril de 2021.
- CAMBRIDGE. Bitcoin Electricity Consumption Index, 2020. Disponível em: <https://cbeci.org/>. Acesso em: 27 abr. 2021.
- CRIDDLE, Cristina. Bitcoin consumes 'more electricity than Argentina'. *BBC News*. 2021. Disponível em: <https://www.bbc.com/news/technology-56012952>. Acesso em: 27 abr. 2021.
- COASE, Ronald. The nature of the firm. In: COASE, Ronald H. *The firm, the market and the law*. Chicago. The University of Chicago Press. p. 33-56. Edição original: *Economica*, IV, November 1937. p. 386-405.
- COINMARKETCAP. *Today's Cryptocurrency Prices by Market Cap*. Disponível em: <https://coinmarketcap.com/1/>. Acesso em: 26 abr. 2021.
- DAVIDSON, Sinclair; DE FILLIPI, Primavera; POTTS, Jason. *Economics of blockchain. Public choice Conference*.

- Fort Lauderdale: United States, 2016. p. 3. DOI: <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.2744751>. Disponível em: https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=2744751. Acesso em: 26 abr. 2021.
- DENNY, D. M. T. *Agenda 2030 e Governança Ambiental: Estudo de Caso Sobre Etanol da Cana de Açúcar e Padrões de Sustentabilidade Como Bonsucro*. Tese de Doutorado. Universidade Católica de Santos. 2018, p. 163. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Denny-Thame/publication/325615820_Agenda_2030_e_governanca_ambiental_Estudo_de_caso_sobre_o_etanol_da_cana-de-acucar_e_padroes_de_sustentabilidade_como_Bonsucro/links/5b18919645851587f297c697/Agenda-2030-e-governanca-ambiental-Estudo-de-caso-sobre-o-etanol-da-cana-de-acucar-e-padroes-de-sustentabilidade-como-Bonsucro.pdf. Acesso em 4 de maio de 2021.
- DIGICONOMIST. *Bitcoin Energy Consumption Index*, 2021. Disponível em: <https://digiconomist.net/bitcoin-energy-consumption/>. Acesso em: 27 abr. 2021.
- ENTREPRENEUR. Bill Gates Slams Bitcoin's Impact on Environment. *Entrepreneur*. 2021. Disponível em: <https://www.entrepreneur.com/article/366892>. Acesso em 21 de abril.
- FAGUNDES, F.; Zeifert, A. P. B.; Siqueira, C. S. de. Reduzir a Desigualdade Dentro dos Países e Entre Eles: Refletindo Sobre o ODS 10 da Agenda 2030 e a Justiça Social em Tempos de Racionalidade Neoliberal. *Salão do Conhecimento*, v. 6, n. 6, p. 1-12 (09), 2020. Disponível em: <https://publicacoeseventos.unijui.edu.br/index.php/salaconhecimento/article/view/18592>. Acesso em 6 de maio de 2021.
- GERALDO, Genilson; PINTO, Marli Dias de Souza. Percursos da Ciência da Informação e os objetivos do

- desenvolvimento sustentável da agenda 2030/ONU. *Revista ACB*, [S.l.], v. 24, n. 2, p. 373-389, ago. 2019. ISSN 1414-0594. Disponível em: <<https://revista.acbsc.org.br/racb/article/view/1597>>. Acesso em: 09 maio 2021.
- GREGÓRIO, R. Bitcoin poluidor? Criptomoeda já consome mais energia que país com 100 milhões de pessoas. *Globo*. 2021. Disponível em: <https://valorinveste.globo.com/mercados/cripto/noticia/2021/01/08/bitcoin-poluidor-criptomoeda-ja-consome-mais-energia-que-pais-com-100-milhoes-de-pessoas.ghtml>. Acesso em 3 de maio de 2021.
- GOODKIND, Andrew L.; JONES, Benjamin A.; BERRENS, Robert P. Cryptodamages: Monetary value estimates of the air pollution and human health impacts of cryptocurrency mining. *Energy Research & Social Science*. v. 59, n. 2020, p., 1-10.
- HILEMAN, Garrick; RAUCHS, Michael. *Global blockchain benchmarking study*. Cambridge: University of Cambridge: Judge Business School, 2017, p. A14. Disponível em: <https://ssrn.com/abstract=3040224>. Acesso em: 26 abr. 2021.
- INTERNATIONAL ENERGY AGENCY, Key World Energy Statistics 2018. Disponível em: <https://webs-tore.iea.org/key-world-energy-statistics-2018>.
- JIANG, S. et.al. Policy assessments for the carbon emission flows and sustainability of Bitcoin blockchain operation in China. *Nature Communications*. v. 12, n. 2021, p. 1-10. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/s41467-021-22256-3.pdf>. Acesso em 09 maio 2021.
- KAISER, B.; JURADO, M.; LEDGER, A. The Looming Threat of China: An Analysis of Chinese Influence On Bitcoin, *Cornell University*, 2018. Disponível em: <https://arxiv.org/abs/1810.02466>. Acesso em: 03 maio 2021.

- KOOMEY, J.; BERARD, S.; SANCHEZ, M. WONG, H. Implications of Historical Trends in the Electrical Efficiency of Computing". *IEEE Ann. Hist. Comput.*, v. 33, p. 46–54, 2011, doi:10.1109/MAHC.2010.28.
- KRAUSE, Max J.; TOLAYMAT, T. Quantification of energy and carbon costs for mining cryptocurrencies. *Nat Sustain* 1, p. 711–718, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/s41893-018-0152-7>. Acesso em: 03 maio 2021.
- LEOPOLDINO, A. dos S.; PANDOLFO, E. E. G.; ANDREOLA, R. Estudo da viabilidade de Mineração de Criptomoedas em Maringá-PR. *XI EPCC Anais Eletrônico*. 2019. Disponível em: <http://rdu.unicesumar.edu.br/bitstream/123456789/3692/1/Alex%20Leopoldino%20dos%20Santos.pdf>. Acesso em: 27 abr. 2021.
- LOVISCACH, J. *The Environmental Cost of Bitcoin*. 2012; Disponível em: https://j317h.de/talks/2012-09-20_Environmental_Cost_of_Bitcoin.pdf. Acesso em: 03 maio 2021.
- MA, J. GANS, J. S.; TOURKY, R. Market Structure in Bitcoin Mining. *NBER*. 2018, p. 1-24. Disponível em: <https://www.nber.org/papers/w24242>. Acesso em: 03 de maio 2021.
- MALFUZI, A. et.al. Economic viability of bitcoin mining using a renewable-based SOFC power system to supply the electrical power demand. *Energy*. v.203, n. 2020, p. 1. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0360544220309506>. Acesso em: 26 abr. 2021.
- MORA, C. et. al. Bitcoin emissions alone could push global warming above 2°C. *Nat. Clim. Change*, v. 8, p. 931–933, 2018, doi:10.1038/s41558-018-0321-8. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/s41558-018-0321-8>. Acesso em: 03 maio 2021.

- NAKAMOTO, Satoshi. Bitcoin: a peer-to-peer electronic cash system. Disponível em: <https://bitcoin.org/bitcoin.pdf>. Acesso em: 26 abr. 2021.
- NUBANK. *O que é criptomoeda?* Entenda de uma vez. 2020. Disponível em: <https://blog.nubank.com.br/o-que-e-criptomoeda>. Acesso em 20 de abril de 2021.
- OLIVEIRA, V. M de et al. Avanços e retrocessos nas ações governamentais de promoção do consumo sustentável: a experiência brasileira. *Cadernos Gestão Pública e Cidadania*, São Paulo, v. 26, n. 84, p. 1-23, e-81400, 2021. Disponível em: <http://bibliotecadigital.fgv.br/ojs/index.php/cgpc/article/view/81400/79377>. Acesso em 6 de maio de 2021.
- ORTEGA, J. China concentra 66% da mineração mundial de bitcoins. *Startse*. 2019. Disponível em: <https://www.startse.com/noticia/ecossistema/china-concentra-66-da-mineracao-mundial-de-bitcoins>. Acesso em 3 de maio de 2021.
- PESSOA, Zoraide Souza, et al. Acesso à energia e cidades sustentáveis: da agenda 2030 às políticas na área da Ciência, Tecnologia e Inovação (CT&I). *Parc. Estrat.* Brasília-DF. v. 24, n. 49, p. 31-48 (34) • jul-dez • 2019. Disponível em: http://seer.cgee.org.br/index.php/parcerias_estrategicas/article/viewFile/929/843. Acesso em 4 de maio de 2021.
- PILKINGTON, Mark. Blockchain technology: principles and applications”. In: OLLEROS, Xavier; ZHEGU, *Majlinda*. *Research handbook on digital transformations*. Cheltenham: Elgaronline, 2016. p. 225-253. DOI: <http://dx.doi.org/10.4337/9781784717766.00019>. Disponível em: <https://www.elgaronline.com/view/9781784717759.00019.xml>. Acesso em: 26 abr. 2021.
- PIRES, Victor; COUTINHO, Felipe; MENASCHÉ, Daniel; DE

- FARIAS, Claudio. Gatos virtuais: detectando e avaliando os impactos da mineração de criptomoedas em infraestrutura pública”. In: *Simpósio Brasileiro de Segurança da Informação e de Sistemas Computacionais (SBSEG)*, 19, 2019, São Paulo. Anais [...]. Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Computação, 2019. p. 57-70. DOI: <https://doi.org/10.5753/sbseg.2019.13962>.
- PNUD. Plataforma Agenda 2030. Disponível em: <http://www.agenda2030.org.br/sobre/>. Acesso em: 20 abr. 2020.
- PNUD. O que são os objetivos de desenvolvimento sustentável? Disponível em: <https://www.br.undp.org/content/brazil/pt/home/sustainable-development-goals.html>. Acesso em: 20 abr. 2020.
- SÁ, Mike Rafael. *Bitcoin e os vazios institucionais: uma abordagem histórica da moeda*. Dissertação de mestrado. Universidade Vale do Rio dos Sinos – UNISINOS. Programa de Pós Graduação em Administração, Porto Alegre, 2019.
- SAVELYEV, Alexander. Contract Law 2.0: “smart” contracts as the beginning of the end of classic contract law. *Information and Communications Technology Law*, v. 26, n. 2, p. 116-134, Jan./Apr. 2017. DOI: <https://doi.org/10.1080/13600834.2017.1301036>. Disponível em: <http://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/13600834.2017.1301036>. Acesso em: 26 abr. 2021.
- SCHUTTE, G. R.; Debone, V. S. Trajetória e desafios da matriz energética chinesa. *Economia e Políticas Públicas*, v. 4, n. 1/2016 2021, p. 111-134. Disponível em: <https://www.periodicos.unimontes.br/index.php/economiaepoliticaspubblicas/article/view/4047/3960>. Acesso em 03 de maio de 2021.
- SILVA et. al. Agenda 2030 e os desafios para a garantia de acesso à energia limpa e renovável. *Meio Ambiente*

- (*Brasil*), v.1, n.3. p. 038-044, 2019. Disponível em: <https://www.meioambientebrasil.com.br/index.php/MABRA/article/download/44/39>. Acesso em 09 maio 2021.
- SOUZA, L. C. Energia e sustentabilidade humana: impacto das metas do ODS 7 no Brasil. *Revista De Direito Ambiental e Socioambientalismo*, v. 6, n. 1, p. 58-79, 2020.. Disponível em: <https://indexlaw.org/index.php/Socioambientalismo/article/view/6486/pdf>. Acesso em 3 de maio de 2021.
- STOLL, C.; KLAABEN, L.; GALLERSDORFER, U. The carbon footprint of Bitcoin, *Joule*, v. 3 n. 2019, p. 1–15 LI, J. et.al. Energy consumption of cryptocurrency mining: A study of electricity consumption in mining cryptocurrencies. *Energy*, p. 168, 160–168, 2019. Disponível em: doi:10.1016/j.energy.2018.11.046. Acesso em: 03 maio. 2021.
- TRUBY J. Decarbonizing Bitcoin: law and policy choices for reducing the energy consumption of Blockchain technologies and digital currencies. *Energy Res Soc Sci*, 2018; v. 44, p. 399 e 410. <https://doi.org/10.1016/j.erss.2018.06.009>. Acesso em: 27 abr. 2021.
- UNIVERSITY OF CAMBRIDGE. *Study highlights growing significance of cryptocurrencies*. 2017. Disponível em: https://phys.org/news/2017-05-highlights-significance-cryptocurrencies.html?utm_source=TrendMD&utm_medium=cpc&utm_campaign=Phys.org_TrendMD_1. Acesso em 6 de maio de 2021.
- VRIES, Alex de. Bitcoin's energy consumption is underestimated: A market dynamics approach. *Energy Research & Social Science*, v. 70, n. 2020, p. 1.
- VRIES, A. de. Bitcoin's growing energy problem, *Joule*, v. 2, n.

- 5, 16 May 2018, p. 801-805. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.joule.2018.04.016>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2542435118301776>. Acesso em: 27 abr. 2021.
- VRIES, Alex. Renewable Energy Will Not Solve Bitcoin's Sustainability Problem. *Joule*, v. 3, p. 893–898, 2019, doi:10.1016/j.joule.2019.02.007.
- WRIGHT, Aaron; DE FILIPPI, Primavera. *Decentralized blockchain technology and the rise of lex cryptographia*. Paris: Yeshiva University; Université Paris II, 2015. p. 5. Artigo não publicado. Disponível em: <https://ssrn.com/abstract=2580664>. Acesso em: 26 abr. 2021.
- WUEBBLING, M. GeForce Is Made for Gaming, CMP Is Made to Mine: We're limiting the hash rate of GeForce RTX 3060 GPUs so they're less desirable to miners and launching NVIDIA CMP for professional mining. *Nvidia*. 2021. Disponível em: <https://blogs.nvidia.com/blog/2021/02/18/geforce-cmp/>. Acesso em: 03 maio 2021.