

Matheus Carvalho

Licenciado em Geografia pela Universidade Federal da Bahia (UFBA)  
teu\_mil@hotmail.com

Paulo Cesar Zangalli Junior

Doutorado em Geografia pela Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho (UNESP-  
Presidente Prudente), Professor Adjunto da Universidade Federal da Bahia (UFBA)  
pauloczangalli@gmail.com

---

# Alterações climáticas e inovações tecnológicas: O caso da *Blockchain*

## Resumo

Nesse artigo buscou-se entender de que forma as tecnologias atuais se tornam agentes do clima, e, para isso, foram objetos de pesquisa a *blockchain* e a mineração de criptomoedas, por esta última estar associada à primeira. Para demonstrar as implicações dessas tecnologias ao meio ambiente, foi necessário buscar por denúncias em importantes veículos de notícias sobre impactos ambientais gerados por elas. Foi possível demonstrar que a prática da mineração de criptomoedas é responsável por um grande consumo elétrico proveniente da geração por queima de carvão mineral, elevando a dispersão de gases de efeito estufa e sobrecarregando redes elétricas. O principal modelo de validação dessas duas tecnologias estimula os altos consumos energéticos ao gerar uma competição por lucros baseada em poder computacional; assim, é necessário repensar o modelo de consenso dessas tecnologias para que se torne viável sua utilização em grande escala e não apenas na forma de especulação monetária.

**Palavras-chave:** Mudanças Climáticas, Blockchain, Energia.

## Abstract

CLIMATE CHANGE AND TECHNOLOGICAL INNOVATIONS: THE CASE OF BLOCKCHAIN

In this article we sought to understand how current technologies become climate agents, for this the main research object were blockchain and cryptocurrency mining, as it is associated with the first. To demonstrate the implications of these technologies on the environment, it was necessary to search for complaints in

important news outlets about environmental impacts they generated. It was possible to demonstrate that the practice of cryptocurrency mining is responsible for a large electrical consumption resulting from generation by burning, raising the dispersion of greenhouse gases and overloading electrical networks. The main validation model of these two technologies stimulates high energy consumption by generating a competition for profits based on computational power, so it is necessary to rethink the consensus model of these so that they become viable for large-scale use, not just a form of monetary speculation.

**Key-words:** Climate Change, Blockchain, Energy.

## 1. Introdução

As mudanças climáticas são uma realidade cada vez mais presente, evidenciada por ondas de calor, chuvas intensas e desastres naturais. A emergência climática demanda ampliar os espaços de diálogo e conscientização sobre os riscos, além de exigir uma mudança cultural e tecnológica. A queima de combustíveis fósseis e o desmatamento são as principais causas do aumento de CO<sup>2</sup> na atmosfera, resultando no aquecimento global desde a Revolução Industrial (IPCC, 2022). Embora acordos internacionais busquem reduzir emissões, sua ineficácia é visível já que as emissões de CO<sup>2</sup> cresceram 43% desde a Conferência do Rio em 1992 até 2010 e continuam a aumentar (NOBRE; REID; VEIGA, 2012). O relatório do PNUMA (UNEP, 2023) aponta que as emissões deveriam cair 28% para limitar o aquecimento em 2°C e 42% para limitar em 1,5°C até 2030, algo que está longe de acontecer. No atual ritmo de emissões só conseguiríamos restringir o aumento da temperatura a 2,9°C acima dos níveis pré-industriais neste século. A implementação total das NDCs condicionais reduziria esse aumento para 2,5°C, acima das metas estabelecidas. Segundo dados do Manua Loa Observatory<sup>1</sup>, a concentração de CO<sup>2</sup> em 2023 foi de 421ppm e em outubro de 2024 essa concentração já é de 422ppm.

A indústria tecnológica tem papel crucial na mitigação das mudanças climáticas. A inovação em fontes renováveis é uma opção viável para enfrentar esse desafio, embora o desenvolvimento de tecnologias também possa exacerbar as emissões. Nesse contexto, o foco deste artigo recai sobre a mineração de criptomoedas e a tecnologia de *blockchain*, que, apesar de

seu potencial transformador, tem contribuído negativamente devido ao consumo energético massivo, especialmente em processos de consenso baseados em prova de trabalho.

Criptomoedas, surgidas em 2009, têm um impacto ambiental preocupante. Seu processo de mineração, que envolve intensa competição para resolver desafios criptográficos, resulta em elevado consumo de energia, do qual mais de 50% são provenientes de fontes fósseis, segundo o CCAF (2019). Embora criptomoedas como o *Bitcoin* limitem sua produção, esse processo predatório demanda um consumo crescente de energia sem ganho proporcional, destacando a contradição entre inovação tecnológica e sustentabilidade<sup>2</sup>.

As *blockchains*, subprodutos da mineração de criptomoedas, apresentam potencial de revolucionar a gestão de dados devido a suas características de imutabilidade, descentralização das bases de dados e auditabilidade, garantindo maior segurança na conservação das informações e possibilitando maior disponibilidade desses dados para a população. Essa tecnologia pode ser aplicada à preservação ambiental através de registros de gestão de recursos hídricos (CAVAGNARI; ANTIQUEIRA, 2021), gestão de resíduos e fomento da economia circular (COSTA et al., 2021). Contudo, o consumo de energia para manter essas redes descentralizadas permanece uma grande barreira para seu uso sustentável.

Busca-se entender com esse artigo de que forma avanços tecnológicos influenciam na atual crise climática, tendo como foco a tecnologia de criptomoedas e da *blockchain*, pois a utilização exacerbada de energia elétrica, principalmente de matriz fóssil, contribui para a produção do colapso climático. O contexto geopolítico de produção de territórios pelos grandes mineradores de criptomoedas se torna relevante para entender como essas tecnologias se adequam à lógica capitalista, usufruindo do neoliberalismo na busca por capitalizar, através da especulação, o seu produto.

Assim, na primeira parte do artigo discutimos os processos de mineração de criptomoedas e a produção de energia e na sequência desenvolvemos uma discussão sobre a geopolítica envolvida na atração de mineradores e a lógica do efeito *rebound* e *backfire* sobre a dinâmica energética. Por fim, apresentamos as conclusões do trabalho.

## 2. Materiais e Métodos

A principal metodologia deste trabalho foi a revisão sistemática e bibliográfica, sendo, portanto, uma pesquisa qualitativa. A revisão bibliográfica se deu por meio de buscas ativas na base do Google Acadêmico e, especialmente, de reportagens jornalísticas sobre a temática, por ser um tema novo de poucas referências acadêmicas.

O ponto de partida para essa pesquisa foi buscar a dimensão para os gastos energéticos das criptomoedas e de suas *blockchains*, e, para tal, foi delimitado que o foco principal recairia sobre o *Bitcoin*, a mais consolidada criptomoeda durante o período da pesquisa, que também detém maior valor monetário associado e a mais expressiva rede de mineração. A quantificação da energia despendida pelas moedas digitais é complexa, no entanto, a *Cambridge Centre for Alternative Finance* (CCAF) da *University of Cambridge Judge Business School* disponibiliza seu índice de sustentabilidade da rede de *blockchain*, o qual apresenta estimativas do consumo de energia do *Bitcoin*, o qual é atualizado a cada 24 horas, permitindo entender a grandeza dos gastos energéticos.

A partir dos dados apresentados no CCAF, foram feitas pesquisas de mais informações sobre a mineração no modelo de prova de trabalho pelo mundo, utilizando-se tanto da aba de notícias do buscador Google, como de sites de jornais internacionais; todavia, as informações são escassas sobre países que não têm grande participação na prática, portanto, China, Estados Unidos e Cazaquistão foram os países utilizados por apresentarem mais fontes a serem analisadas, já que são também os maiores polos de mineração. A plataforma de pesquisa de artigos acadêmicos utilizada foi o Google Acadêmico, lançando mão de operadores booleanos para combinar os termos "*blockchain*", "*energy*", "*mining cryptocurrency*", "*supply*", "*proof of work*" e "*climate change*", e, assim, podendo-se filtrar aqueles resultados que melhor se relacionassem com o tema.

No decorrer das leituras, se mostrou necessária a discussão mais ampla da conjuntura, analisando-se como o capitalismo sobrepõe seus interesses ao meio ambiente, de forma a explorá-lo, viabilizando formas de acumulação. Considerou-se ainda que os avanços, que parecem ir na direção da sustentabilidade, são métodos para garantia de expansão, como ocorre com a busca de eficiência energética.

Durante o período da pesquisa, ocorreu um evento já há algum tempo esperado: a mudança do modelo de consenso da Ethereum, que passou a acontecer por prova de participação. A mudança foi responsável por mostrar uma possibilidade viável para suavizar o grande desperdício de energia causado pelas criptomoedas e *blockchains*, direcionando a análise para uma comparação entre os modelos anterior e atual.

Outras questões entram em pauta para o presente trabalho. A primeira é o Drex, nova moeda digital oficial do Brasil, que não demonstra atrativos para sua viabilidade após a criação do Pix, e precisa ser melhor pensada para encontrar seu espaço no mercado monetário brasileiro. A segunda é direcionada à propaganda de sustentabilidade utilizada para os carros elétricos que é imprecisa, já que a energia utilizada pode ser gerada através de queima de combustível fóssil, o que demonstra discordância com o paradigma da sustentabilidade.

### 3. Resultados e Discussão

Estimativas demonstram que 65 a 75% da produção mundial da criptomoeda *Bitcoin*, líder de mercado em *blockchain*, ocorriam na China, principalmente em quatro províncias. As províncias de Sichuan e Yunnan eram supridas por hidrelétricas, já as províncias de Xinjiang e Inner Mongolia têm como fonte de energia usinas de queima de carvão. Segundo índice produzido pela CCAF (2019), somente o *Bitcoin* consome 115,62 TW/h por ano, mais do que o consumo de países como Bélgica e Finlândia, ocasionando uma emissão de 58,59 milhões de toneladas anuais de Gases de Efeito Estufa (GEE). Tal dimensão levou o governo chinês a pôr em prática em maio de 2021 severas repressões à mineração de criptomoedas, levando mais de 50% dos mineradores do mundo, que estavam estabelecidos no país, a buscar novos locais para se instalar (SIGALOS, 2021).

Após as sanções impostas pela China visando ao combate às fazendas de mineração, que drenam recursos e aumentam a pegada de carbono no país, os grandes mineradores buscaram outros polos onde podiam se instalar, e os Estados Unidos se tornaram o novo grande foco desta indústria, por conta da política liberal e dos valores da energia. O estado de Nova

York foi um dos mais buscados, já que é abastecido pelas hidrelétricas do rio Niágara, possibilitando baixos custos energéticos; contudo, o grande crescimento da demanda faz com que usinas locais, que já estavam em desuso por ter como base a queima de carvão mineral e de gás natural, necessitem ser reativadas para supri-la, havendo casos nos quais a fazenda de mineração foi instalada dentro da própria usina, gerando aumento no valor repassado pelas concessionárias e na pegada de carbono. O estado de Nova York, buscando escassear a produção energética local baseada em queima, sancionou uma lei que proíbe a mineração de criptomoedas através do modelo de prova de trabalho em seu território, isentando desta medida aqueles que usam em sua totalidade energia renovável e não comprometem a rede de distribuição; a medida funciona também como forma de resgatar créditos de carbono para outras atividades no local (ASTOR, 2023; CAYMAZ, 2022).

Seguindo os Estados Unidos, o Cazaquistão foi o segundo país mais buscado pelos mineradores para se instalar. Algumas características explicam esse caminho: o Cazaquistão, além de fazer fronteira com a China, detém energia barata, proveniente de minas de carvão, e uma baixa fiscalização, o que possibilita que as estruturas industriais que abrigam estas fazendas de mineração possam ser construídas em um curto intervalo de tempo sem muita burocracia. Todavia, essa vasta demanda energética começou a gerar problemas em seu território, com a rede de distribuição apresentando instabilidade e o preço dos combustíveis experimentando significativo aumento, desencadeando revoltas e protestos por parte da população. O crescimento da mineração em países cuja matriz energética depende majoritariamente da queima de combustível fóssil aumenta a pegada de carbono desta atividade, indo na contramão da sustentabilidade que os avanços tecnológicos devem fomentar (SIGALOS, 2022; WILSON, 2022).

A indústria de mineração de criptomoedas demonstra características neoextrativistas, as quais, segundo Whitacker (2019), ocorrem por meio de apropriação territorial em diversas escalas e dimensões, e, através de capital estrangeiro, promove uma nova forma de uso do território. A multidimensionalidade se dá pelos distintos agentes que transformam o território, criando novas relações de poder. Assim como

exposto para o Cazaquistão, mineradores se utilizam de suas influências e de seu capital para ganhar vantagens em diversos países, produzindo e reproduzindo relações sociais capitalistas, através da apropriação de recursos locais onde se instalam, gerando acumulação de capital. Conforme explica Andrade:

[...] nos territórios produzidos pelas empresas em suas áreas de influência, áreas que se expandem ocupando novos espaços e, ao mesmo tempo, se descaracterizam perdem influência territorial à proporção que se expandem. Convém lembrar ainda que o território construído pela empresa se superpõe ao território construído pelo estado ou pelos estados, apresentando conflitos e complementações. O Estado, sobretudo o autodenominado Estado liberal, está a serviço das empresas e, conseqüentemente, do jogo de interesses e da capacidade de cooptação das mesmas que disputam territórios e mercados (ANDRADE, 1994, p. 220).

Um dos locais que trilham tal caminho é o estado do Texas, nos Estados Unidos, que vem tentando se tornar o novo polo de mineração, atraindo os emigrantes de Nova York e de outros locais. Isso ocorre pelo fato de o estado ver benefícios econômicos em contar com a indústria nesse local, criando condições favoráveis que consolidam sua dependência em relação aos agentes que exploram e enriquecem às custas de seus recursos naturais e do baixo custo da eletricidade. Assim, ocorre uma nova territorialização, pois as fazendas de mineração estabelecem uma relação de poder com o espaço, criando uma disputa pelo domínio territorial por essas empresas.

Os transtornos ligados à mineração de criptomoedas se estendem desde a problemática ambiental até questões sociais nos locais onde se instalam. Na busca por maximizar os lucros, costumam se instalar em locais de população mais pobre, onde encontram terrenos e custos mais baixos, criando especulação imobiliária e aumento no custo de vida, causado pelo aumento das taxas energéticas, além de sucateamento da paisagem com contêineres e galpões, que costumam ser abandonados quando os custos deixam de favorecer os mineradores (ZIMMERMAN, 2021).

A mineração dos criptoativos, principalmente o *Bitcoin*, por ser a pioneira entre as criptomoedas (SCHENDES, 2023) e deter aproximadamente metade do valor de mercado desses ativos (ROSA, 2021), demonstra um processo de especulação financeira, pois é uma moeda que não está atrelada a nenhum estado-nação e, segundo Krause e Tolaymat (2018), ao comparar

o consumo de energia utilizado, a mineração de cobre, ouro, platina e óxidos de terra rara consomem menos que o *Bitcoin* para gerar valores equivalentes, sendo os minérios mais úteis, pois podem ser utilizados para produção de equipamentos, algo impossível na moeda intangível, que apenas funciona para acumulação monetária. A avidez exploratória consolidada pelo modo de produção capitalista se remodela para garantir cada vez mais lucro com menos ônus, sem levar em conta os impactos que gera. No contexto do neoliberalismo do mercado financeiro, que tem como meta o máximo benefício em acumulação usufruindo da especulação criada por ele, capitaliza-se uma ideia, que pouco agrega, mas muito fatura, consolidando, nesse contexto, as criptomoedas.

A expansão da reprodução capitalista ocorre em ciclos, necessitando de inovações para superar as crises criadas pelo próprio sistema econômico, se adequando às tecnologias da época para alcançar novas formas e novos espaços de exploração. É possível afirmar que as criptomoedas se tornaram uma dessas formas de acumulação, criando uma nova territorialização através da influência de seus agentes, exaurindo recursos naturais desses territórios, nesse caso a energia, em virtude de seus lucros. Sobre a expansão:

O capitalismo apenas consegue escapar de sua própria contradição por meio da expansão. A expansão é, simultaneamente, intensificação (de desejos e necessidades sociais, de populações totais e assim por diante) e expansão geográfica. Para o capitalismo sobreviver, deverá existir ou ser criado espaço novo para sua acumulação. Se o modo capitalista de produção prevalecer em todos os aspectos, em todas as esferas e em todas as partes do mundo, haverá pouco ou nenhum espaço restante para acumulação adicional (o crescimento populacional e a criação de novos desejos e necessidades seriam as únicas opções) (HARVEY, 2005, p. 42 apud WHITACKER, 2017, p. 190).

Os ciclos responsáveis pela regulação do sistema capitalista podem ser compreendidos pelo modelo dos ciclos de Kondratieff, os quais tinham na sua concepção duração média de 50 anos. Os ciclos são formados por quatro etapas que representam os momentos da economia mundial, sendo elas inovação, progresso, recessão e crise. Assim, a cada crise do capitalismo se busca uma inovação, uma forma de garantir a expansão geográfica e a acumulação do modo de produção, que continua a se perpetuar na história. Entretanto, com os acelerados avanços tecnológicos do final do século XX

em diante, a duração dos ciclos vem diminuindo, com crises e inovações surgindo cada vez mais rápido (WHITACKER, 2017).

Para falar sobre criptomoedas é necessário estar sempre atento às novidades que surgem dia após dia, como a criação de novas moedas que buscam a inovação para se colocar no mercado. A crítica precisa ser feita não apenas em relação aos gastos energéticos excessivos, mas também em relação à utilidade dessas moedas. Assim, entra em pauta a nova moeda digital do Brasil, o Drex, uma criptomoeda idealizada pelo Banco Central (Bacen) com o intuito de ser utilizada no mercado financeiro brasileiro, contudo, após a primeira etapa de testes, restritas a alguns membros do sistema financeiro nacional, demonstrou falta de maturidade em relação à privacidade dos dados, algo a ser resolvido antes da implementação da tecnologia, entretanto, uma nova etapa de testes deve se iniciar no ano de 2025 (BANCO CENTRAL DO BRASIL, 2024a). Como outras criptomoedas, essa se baseia na *blockchain* para validação de transações, entretanto de forma centralizada nos servidores do Bacen. O questionamento sobre o Drex diz respeito à necessidade de sua existência, já que ela pretende ser uma moeda diferente do Real, mas com cotação e existência atreladas à moeda já existente, mantendo a cotação sempre em paridade, mas com necessidade de conversão, a qual foi nomeada de “tokenização” (STEIL, 2023).

As principais criptomoedas existentes têm como base a desvinculação de Estados e validação descentralizada, assim permitindo sua premissa neoliberal de especulação financeira: a criação do Drex foge da lógica já consolidada dessas moedas, pois vincula sua cotação ao Estado brasileiro. É preciso evidenciar que El Salvador utiliza o *Bitcoin* como sua moeda oficial, mas em razão inversa ao Brasil e ao Drex, já que o Estado salvadorenho estabeleceu que iria submeter a sua economia aos valores e variações da criptomoeda; entretanto, o *Bitcoin* não é acometido por questões de políticas internas ou externas do país, tendo sua cotação regida pela própria especulação no mercado.

A criação de uma nova moeda de mesmo valor e que em essência só servirá para movimentar o Real “tokenizado” demonstra uma medida tomada apenas para se utilizar da premissa de modernidade das criptomoedas. O Drex aparenta ser ainda mais supérfluo em um cenário

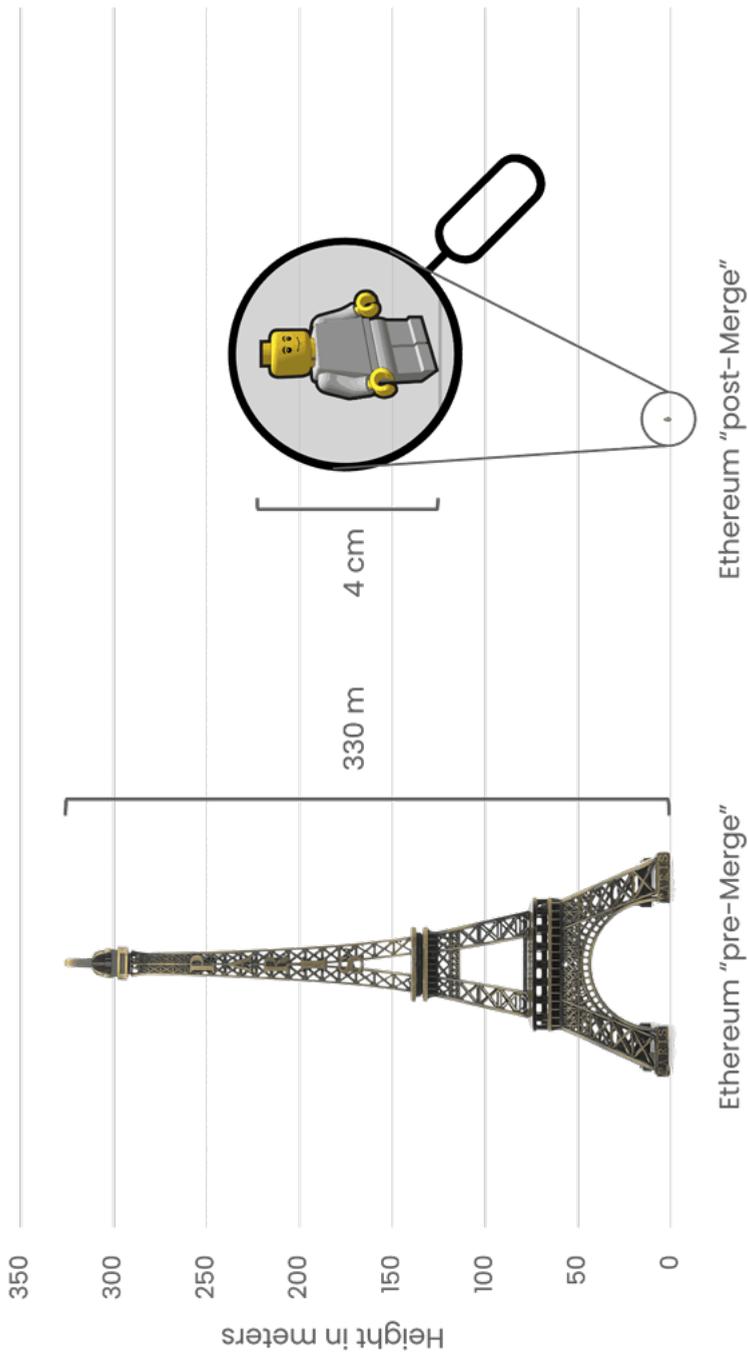
posterior à criação do Pix, um sistema de transferência rápido e adotado pela grande massa nacional, tecnologia que movimentou, segundo o Banco Central do Brasil (2024b), mais de 2,4 trilhões de reais no mês de setembro de 2024. É preciso ainda observar de qual forma a *blockchain* desta moeda irá funcionar e qual o dispêndio energético dessa tecnologia, o que pode gerar gastos extras ao consumidor e às instituições financeiras.

É necessário repensar as *blockchains* para que tornem seus modelos mais sustentáveis e possam ser ainda mais difundidas sem agravar o cenário climático atual, pois a busca pela eficiência na tecnologia deve também passar pelos gastos energéticos. Li et al. (2019) demonstram que a eficiência da mineração decorre do algoritmo: comparando uma mesma criptomoeda e utilizando cinco diferentes algoritmos de prova de trabalho, foi possível demonstrar diferenças de rendimento e, por consequência, de eficiência energética.

A Ethereum, segunda maior criptomoeda em atividade, apesar de ter iniciado com o mecanismo de consenso de prova de trabalho, sempre demonstrou preocupação sobre a questão do gasto excessivo de eletricidade. Nesse contexto, e tendo como compromisso de seu planejamento nos últimos anos uma mudança na rede visando à sustentabilidade da moeda e da *blockchain*, passou, em setembro de 2022, a adotar o modelo de prova de participação, no qual seus membros, que possuem um valor mínimo de 32 unidades de Ethereum, passam a ganhar credibilidade para resolver o desafio criptográfico que será validado pela rede, sem necessidade de competição por velocidade de processamento. Isso gerou, segundo a empresa, uma redução de 99,988% do gasto energético, passando-se a consumir aproximadamente 2,6 GW/h em um ano, enquanto no modelo anterior o consumo era de 78 TW/h, uma proporção de 30.000:1 como apresenta a figura 1 (ETHEREUM, 2022).

Portanto, o aprofundamento em estudos sobre a mudança do mecanismo de consenso e a evolução dos algoritmos de mineração na busca por maior eficiência pode tornar as criptomoedas viáveis para um futuro mais sustentável, e, por consequência, o seu subproduto, a *blockchain*, que tem potencial para ser um marco na gestão de dados de diversas frentes que abrem caminho para uma sociedade mais ecológica.

**Figura 1**  
PROPORÇÃO DE CONSUMO DA ETHEREUM PRÉ E PÓS MUDANÇA DE MECANISMO DE CONSENSO



Fonte: Ethereum (2022).

Mesmo com a mudança do modelo de validação para a prova de participação, a Ethereum continua demonstrando o caráter predatório do recurso da mineração de criptomoedas: menos de um ano após o *The merge* da Ethereum, nome atribuído ao momento da mudança do modelo de validação, o consumo de energia da rede dedicada a ela já é superior ao dobro do inicial, segundo as estimativas do CCAF (2019). É importante ressaltar que, mesmo com o significativo crescimento do consumo pela Ethereum, ele permanece em patamar muito inferior ao do *Bitcoin*, que se mantém, segundo o mesmo portal, com gastos anuais superiores a 100 TW/h, uma marca que outras criptomoedas ainda não alcançaram.

Partindo dos equipamentos utilizados para a mineração de criptomoedas, o principal deles é a unidade de processamento gráfico, popularmente chamada de placa de vídeo: tomando como exemplo duas placas com poder de processamento semelhante e gerações distintas, é possível determinar seu percentual de ganho de eficiência, e, por estarmos falando de mineração de criptomoedas, foram selecionadas placas de alto desempenho, que geralmente são utilizadas para a referida prática, portanto as placas escolhidas como exemplo pelos autores deste artigo foram a RTX4070TI e a RTX3090, ambas da líder de mercado Nvidia. A primeira é a mais recente, lançada no ano de 2023, conta com um consumo de 285W em alta carga, segundo a fabricante, já a segunda foi lançada 3 anos antes, em 2020, e seu consumo é de 350W nas mesmas condições, demonstrando um ganho de eficiência de aproximadamente 20% (NVIDIA, 2023).

Apesar do ganho de eficiência das novas placas, analisando-se as estimativas do CCAF (2019) é possível perceber que, mesmo após seis meses do lançamento da nova e mais eficiente placa, a tendência de elevação de consumo permanece em ascensão. Com base nos dados, é possível perceber a ocorrência de um efeito *rebound* ou até mesmo *backfire*, com um aumento do número de placas sendo utilizadas, já que agora necessitam de menos energia para dispor do mesmo poder computacional, aumentando a margem de lucro e permitindo um maior investimento em mais equipamentos. Esses efeitos são assim explicados:

O *rebound* é normalmente expresso como a diferença entre a economia projetada e a economia realizada. Pode ser expresso como percentual da economia projetada. Afirmar a existência de um *rebound* de 10%, por exemplo, equivale a dizer que 10%

da economia projetada não foram realizados. O *backfire* ocorre quando o efeito *rebound* ultrapassa 100%. É importante deixar evidente a relação de causalidade implicada nestas definições. Os dois efeitos aplicam-se a variações no consumo de energia causadas por variações nos níveis de eficiência energética (BARRETO, 2018, p. 68).

Aliado a essas questões, é possível analisar que algumas empresas adotam em suas campanhas de publicidade o invólucro da sustentabilidade, pregando que seu crescimento se dá aliado ao desenvolvimento sustentável. Ao declarar a redução de consumo gerada pela mudança do mecanismo de consenso, a Ethereum se torna uma dessas empresas, todavia Whitacker (2019, p. 195) afirma que “o desenvolvimento sustentável é utilizado como estratégia ideológica, econômica e política voltada para a reprodução do modo de produção capitalista criando, assim, condições para o domínio de determinados territórios”. A mudança do mecanismo de consenso da Ethereum para o de prova de participação demonstrou uma significativa redução no consumo energético de sua rede de mineração, no entanto houve a ocorrência do efeito *rebound*, conforme já demonstrado pelos dados da CCAF (2019), elevando novamente o consumo de energia elétrica necessária para produção de Ethereum, demonstrando que não há um princípio de sustentabilidade no processo de concepção da criptomoeda.

O debate sobre *rebound* vem se tornando cada vez mais necessário, pois a demanda energética só tende a crescer. Os avanços tecnológicos foram fundamentais para a melhora do padrão de vida, pois a adoção de maquinários, desde os movidos a vapor até os a corrente elétrica, para substituição do trabalho antes feito de forma braçal, permitiu ceder esforços para outras atividades benéficas ao desenvolvimento da sociedade, contudo transformando as atividades humanas em dependentes de eletricidade. Conforme a sociedade se desenvolve na busca pelo conforto e pela melhora da qualidade de vida, há a elevação do consumo elétrico partindo das residências, com maiores ganhos relacionados à ascensão de capital (BARRETO, 2018).

Desta forma, é viável fazer paralelo sobre a dependência atual da sociedade em máquinas para acesso a serviços:

A indústria da informática nos oferece um exemplo cristalino dessa dimensão quantitativa. Se há dez anos um único computador pessoal (desktop) atendia tranquilamente as necessidades de uma família (de, digamos, quatro pessoas),

hoje não é incomum – em famílias com renda relativamente similar àquela de dez anos atrás – que cada membro possua seu próprio computador (muitas vezes, um laptop). Vale frisar que, mesmo que os computadores de hoje sejam mais eficientes no consumo de energia, expansões no consumo desta natureza devem trazer consigo aumento da demanda por energia ao expandir o número de unidades consumidoras (BARRETO, 2018, p. 166).

Tal exemplo demonstra como a tecnologia vem transformando a sociedade em refém dos seus avanços, através das facilidades que proporciona. Se nesse contexto residencial já há o crescimento do número de aparelhos, deve-se levar em conta que, além dos computadores, cada um desses membros da família deva ter também um smartphone. Por mais que exista um grande aumento de eficiência, os novos computadores utilizam peças que necessitam de mais energia para desempenhar o necessário para a computação atual. Partindo para um cenário corporativo, as empresas vêm se adequando para exercer suas atividades principalmente em computadores e servidores, o que requer velocidade para que se tornem viáveis as novas demandas. Tais máquinas vêm elevando a necessidade de produção de energia, que em um cenário ideal seria fornecida por fontes limpas e renováveis. Contudo, Barreto (2018) afirma que ainda existe pressão para o aumento de eficiência energética dos combustíveis fósseis, com o intuito de inviabilizar o investimento em fontes renováveis em decorrência da discrepância do valor a ser aplicado. Logo, o cenário ideal conflita com os interesses de mercado, pois a geração com uma matriz mais barata possibilita maior acúmulo de capital por empresas que exercem relações de poder com a criação de territorialidades onde se instalam.

Ao se falar sobre geração de energia por queima no Brasil, provavelmente a associação feita será referente à produção de energia para os veículos automotores, já que o país adota fontes limpas para a rede elétrica, entretanto já ocorre o processo de substituição da frota atual por carros elétricos, ainda que em escala bastante reduzida, tendo em vista que existem algumas barreiras para eletrificação significativa da frota nacional, sendo as principais o preço e a disponibilidade de unidades. Ao comparar os preços do carro Renault Kwid, que dispõe de modelos elétricos e a combustão, percebe-se que o modelo elétrico custa mais do que o dobro da versão flex mais cara, segundo a tabela de preço médio de veículos da Fundação Instituto de Pesquisas Econômicas (FIPE) (FIPE, 2015).

Apesar da prioridade dada às fontes limpas, segundo o Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS) (ONS, 2023), a geração por termelétricas é de aproximadamente 1/8 do total nacional. O crescimento do uso das termelétricas é facilmente percebido pela população brasileira através da conta de luz, pois nela foram implantadas bandeiras que representam níveis tarifários, essas vão do verde ao vermelho, sendo a verde um indicativo de gasto inferior à produção usual do país. Já a vermelha, subdividida em dois patamares, demonstra que foi necessário recorrer às termelétricas para suprir a demanda, encarecendo o valor pago por KW/h nas residências e gerando também um aumento na produção de GEE.

Dentre as inovações recentes, os carros elétricos vendem a propaganda de serem ecológicos, pois, ao substituírem o motor a combustão por baterias, deixam de ser responsáveis pela emissão de CO<sup>2</sup>; todavia, isso ocorre apenas em relação à emissão direta, pois há um aumento na produção de energia por queima de combustível em decorrência da frota elétrica, responsável pela emissão indireta do composto na atmosfera. Ao se pôr em evidência o Brasil, percebe-se que o país já se mantém próximo de seu limite produzido, tendo como válvula de escape as termelétricas para suprir uma maior demanda. Um crescimento acelerado da necessidade de produção de energia por conta de uma entrada massiva de carros elétricos na frota nacional teria de ser suprida através dessa fonte não renovável e danosa ao meio ambiente, logo os carros elétricos seriam os responsáveis por essa nova produção de GEE. Outro prejuízo a ser causado, esse a longo prazo, é o descarte das baterias, que têm vida útil estipulada. Apesar dos avanços relacionados à eficiência energética seguirem melhorando, a eletrificação dos carros ainda não pode ser considerada uma solução para o cenário atual, mas o início da concepção de uma opção viável para o futuro.

A discussão sobre as baterias utilizadas nos carros elétricos toma maiores proporções de impacto ambiental se forem analisadas as questões da extração de matéria-prima para sua produção, gerando também impactos sociais nas regiões de maior concentração desse material. As baterias dispostas nos carros elétricos atuais utilizam íons de lítio como tecnologia: a escolha desse material é resultante de sua capacidade de reter maior quantidade de carga elétrica em uma menor concentração de material, e, por consequência, de peso, o que favorece o desempenho dos automóveis,

já que quanto menor for o peso do carro, menos energia será necessária para colocá-lo em movimento (AGUSDINATA et al., 2018).

Apesar dos benefícios das baterias de íons de lítio, Agusdinata et al. (2018) expõem os impactos gerados por sua extração do Chile. Embora o lítio possa ser extraído a partir da mineração de rochas, seu fornecimento mundial é principalmente proveniente de lagos de salmoura, com destaque para o Salar de Atacama, no Chile. O Atacama é uma região conhecida por sua paisagem desértica, onde a mineração de lítio e outros minerais se baseia na evaporação da salmoura, em tanques específicos para a prática, e posterior lavagem dos minerais com carbonato de sódio. A prática da mineração tem levado as comunidades próximas à migração forçada, em razão da grande quantidade de água retirada do subterrâneo local, que já enfrenta dificuldades hídricas em decorrência da precipitação média anual estar entre 100 a 200mm (AGUSDINATA et al., 2018).

As baterias de íons de lítio são uma tecnologia bastante comum na sociedade atual, pois suas características as tornam ideais para os carros elétricos, mas também para estar no bolso das pessoas, mantendo seus smartphones e computadores portáteis ligados. Assim, já há uma crescente busca da indústria pelo material, e, com o surgimento e a popularidade dos carros movidos à bateria, tende a crescer ainda mais. A extração de minérios foi e continua sendo extremamente importante para o desenvolvimento tecnológico, todavia a mitigação de seus efeitos nocivos deve ser prioridade no aprimoramento das técnicas de extração.

A exploração do lítio no Chile ocorre em terras onde há ocupação ancestral, por povos que durante anos construíram uma ligação com aquela terra, parte da grandiosidade cultural do país. A migração desses povos gera um grande impacto social e demonstra a perversidade do neocolonialismo, já que a retirada de grande quantidade de água subterrânea de uma região de severa aridez inviabiliza as condições de resistência de uma população que mantém raízes culturais com a terra, perdendo-a para empresas que não valorizam aquele lugar, apenas tratando-o como mercadoria que, após ser exaurida, deixará de ter qualquer valor (AGUSDINATA et al., 2018).

A sociedade se torna cada dia mais dependente da tecnologia. Ações rotineiras como ir ao banco se tornaram exceções; a busca por solvência dessas novas tecnologias, associada à necessidade produzida, tem tornado

as pessoas reféns de celulares e computadores, a exemplo do documento de carteira de trabalho, que atualmente tem por padrão a emissão apenas em meio digital, sendo necessário o acesso ao sistema para sua utilização. Barreto (2018, p. 136) questiona se “é possível desvincular a acumulação capitalista de exigências materiais e energéticas crescentes?”, todavia o capitalismo se apodera das tecnologias para garantir demanda por bens e serviços, criando sempre novos espaços de expansão e demanda por mais energia.

Apesar da *blockchain* encontrar na troca do modelo de consenso uma maneira de reduzir os gastos energéticos, é importante que se mantenha o objetivo de redução do consumo para que essa se torne realmente sustentável e possa ser adotada em diversas frentes. A redução atingida no momento, apesar de significativa, ainda não é a ideal, pois o consumo continua a crescer; portanto, os esforços da rede devem se concentrar em uma adoção de modelos de consenso e algoritmos mais eficientes, pois assim poderá se tornar uma grande aliada na defesa do meio ambiente, através da gestão de dados.

#### **4. Considerações Finais**

Com base na pesquisa apresentada, foi possível demonstrar que a criptomoeda é uma tecnologia bastante inovadora, todavia fundamentada em ideais neoliberais, ao buscar a desvinculação total da unidade monetária do Estado, utilizando-se também de especulação para inflar seu valor. Seu acréscimo à sociedade não compensa os gastos energéticos decorrentes de sua criação e sua manutenção. Em contrapartida, a *blockchain* é uma tecnologia com grande potencial, mas que exige esforço para torná-la sustentável. A mudança do modelo de consenso prova de trabalho para o prova de participação, realizado pela Ethereum, foi responsável por um decréscimo de consumo inicial de 30.000:1, e é importante destacar que, em menos de um ano após essa mudança, o consumo da rede Ethereum dobrou, mas ainda se mantém dentro do aceitável. Por outro lado, a maior rede de mineração, a do *Bitcoin*, ainda permanece utilizando o modelo de validação de prova de trabalho.

As criptomoedas são responsáveis por relevante percentual de liberação de Gases de Efeito Estufa na atmosfera. Para maximizar lucros,

empresas focadas na prática de mineração de criptomoedas priorizam países com eletricidade proveniente da queima de combustíveis fósseis, devido aos baixos custos. Mas os impactos são também sociais, pois a instalação das empresas favorece novas relações de poder nos territórios afetados. Ressalte-se que uma maior demanda por terrenos e energia ocasionou o aumento dos preços, elevando o custo de vida.

Uma das possíveis soluções para os altos gastos de energia é a melhoria da eficiência energética dos componentes fabricados, o que é sempre buscado pelas indústrias, já que o aumento da eficiência possibilita ao consumidor final uma economia na conta de energia. No entanto, isso pode ocasionar um efeito *backfire*, que, ao invés de reduzir o consumo, promove sua elevação.

Para além do foco da pesquisa, críticas a outras tecnologias foram tecidas nesse artigo, a primeira ao Drex, a moeda digital oficial do Brasil, que, pelas informações preliminares divulgadas, se torna supérflua após a criação do sistema Pix, o qual já é bastante adotado no país. A segunda é a indústria de carros elétricos, a qual utiliza como estratégia de marketing a sustentabilidade do veículo, que não utiliza combustível fóssil, todavia essa informação é imprecisa, dado que em muitos países os carros utilizam energia produzida por usinas de queima de combustíveis fósseis.

Os resultados obtidos permitem uma discussão sobre a influência do capitalismo na produção do clima mundial, de que forma o modo de produção se utiliza de novas tecnologias na busca por acumulação e expansão, criando novas necessidades para a sociedade sem ponderar o meio ambiente e a disponibilidade de recursos.

## Notas

- 1 Dados disponíveis em: <https://www.co2.earth/>, acessado em 30/10/2024.
- 2 Concebido como um sinônimo de desenvolvimento sustentável a partir do relatório Brundtland (1987) como uma noção de três dimensões: social, econômica e ambiental, de desenvolvimento. Porém, segundo Whitacker (2017), o desenvolvimento sustentável traz em sua aparência uma contemplação romântica da natureza que oculta sua essência: a reprodução do modo de produção capitalista.

## Referências

- AGUSDINATA, Datu Buyung; LIU, Wenjuan; EAKIN, Hallie; ROMERO, Hugo. Socio-environmental impacts of lithium mineral extraction: towards a research agenda. **Environmental Research Letters**, [S.L.], v. 13, n. 12, p. 1-14, 2018.
- ANDRADE, Manuel Correia de. Territorialidades, desterritorialidades, novas territorialidades: os limites do poder nacional e do poder local. In: SANTOS, Milton; SOUZA, Maria Adélia A. de; SILVEIRA, Maria Laura (Org.). **Território: globalização e fragmentação**. São Paulo: Hucitec, 1994. p. 211-220.
- ASTOR, Will. Environmental groups sue Seneca Lake bitcoin miner. **Rochester Beacon**, 2023. Disponível em: <https://rochesterbeacon.com/2023/01/25/environmental-groups-sue-seneca-lake-bitcoin-miner>. Acesso em: 30 jan. 2023.
- BANCO CENTRAL DO BRASIL. Banco Central do Brasil, 2024a. **Banco Central atualiza Piloto Drex**. Disponível em: <https://www.bcb.gov.br/detalhenoticia/20160/noticia>. Acesso em: 31 out. 2024.
- BANCO CENTRAL DO BRASIL. Banco Central do Brasil, 2024b. **Estatísticas do Pix**. Disponível em: <https://www.bcb.gov.br/estabilidadefinanceira/estatisticaspix>. Acesso em: 31 out. 2024.
- BARRETO, Eduardo Sá. **O capital na estufa**: para a crítica da economia das mudanças climáticas. Rio de Janeiro: Consequência, 2018. 226 p.
- BRUNDTLAND, Gro Harlem. **Our common future**: by world commission on environment and development. Oxford: Oxford University Press, 1987
- CAVAGNARI, Daniel Weigert; ANTIQUEIRA, Lia Maris Orth Ritter. Blockchain Hídrico: O registro gestor ambiental dos recursos hídricos In: CONGRESSO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE, 18., Poços de Caldas-MG, 2021. **Anais Eletrônicos** [...]. Poços de Caldas-MG: Instituto Federal Sul de Minas Gerais, 2021. Disponível em: [https://www.meioambientepocos.com.br/ANAIS%202021/254\\_blockchain-hdrico-o-registro-gestor-ambiental-dos-recursos-hdricos.pdf](https://www.meioambientepocos.com.br/ANAIS%202021/254_blockchain-hdrico-o-registro-gestor-ambiental-dos-recursos-hdricos.pdf). Acesso em: 01 nov. 2024.
- CAYMAZ, Gunay. Decisão crítica dos EUA sobre mineração de criptomoeda: as reações estão crescendo. **Investing.com**, 2022. Disponível em: <https://br.investing.com/news/cryptocurrency-news/decisao-critica-dos-eua-sobre-mineracao-de-criptomoeda-as-reacoes-estao-crescendo-1060844>. Acesso em: 29 nov. 2022.
- CCAF. **Cambridge Bitcoin Electricity Consumption Index**, 2019. Index. Disponível em: <https://ccaf.io/cbeci/index>. Acesso em: 30 jan. 2023.

COSTA, Milena Mota; BARRETO NETO, João Félix; ALBERTE, Elaine Pinto Varela; CARNEIRO, Alex Pires; VENTIN, Jádí Tosta Iglesias. Blockchain para fomento da economia circular na construção: um panorama sobre a produção científica. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DA INFORMAÇÃO E COMUNICAÇÃO NA CONSTRUÇÃO, 3., Uberlândia-MG, 2021. **Anais [...]**. Porto Alegre: ANTAC, 2021. p. 1-13. Disponível em: <https://eventos.antac.org.br/index.php/sbtic/article/view/591>. Acesso em: 01 nov. 2024.

ETHEREUM. **Ethereum**, 2022. Ethereum's energy expenditure. Disponível em: <https://ethereum.org/en/energy-consumption>. Acesso em: 30 jan. 2023.

FIPE. Fundação Instituto de Pesquisas Econômicas - FIPE, 2015. **Preço médio de Veículos**. Disponível em: <https://veiculos.fipec.org.br/>. Acesso em: 24 ago. 2023.

GUPTA, Manav. **Blockchain For Dummies**. 3rd IBM Limited Edition. [S. L.]: John Wiley & Sons, Inc., 2020. 50 p. Disponível em: <https://www.ibm.com/downloads/cas/OK5M0E49>. Acesso em: 22 mar. 2022.

IPCC: Summary for Policymakers In: SHUKLA, P. R.; SKEA, J.; SLADE, R.; AL KHOURDAJIE, A.; VAN DIEMEN, R.; MCCOLLUM D.; PATHAK, M.; SOME, S.; VYAS, P.; FRADERA, R.; BELKACEMI, M.; HASIJA, A.; LISBOA, G.; LUZ, S.; MALLEY, J. (eds.). **Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change**. Contribution of Working Group III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge: Cambridge University Press, 2022. p. 1-48. doi: 10.1017/9781009157926.001

KRAUSE, Max J.; TOLAYMAT, Thabet. Quantification of energy and carbon costs for mining cryptocurrencies. **Nature Sustainability**, v. 1, n. 11, p. 711-718, 2018.

LI, Jingming; LI, Nianping; PENG, Jinqing; CUI, Haijiao; WU, Zhibin. Energy consumption of cryptocurrency mining: a study of electricity consumption in mining cryptocurrencies. **Energy**, [S.L.], v. 168, p. 160-168, fev. 2019.

NOBRE, Carlos A.; REID, Julia; VEIGA, Ana Paula Soares. **Fundamentos científicos das mudanças climáticas**. São José dos Campos: Rede Clima/Inpe, 2012. 44 p.

NVIDIA. Nvidia, 2023. **Placas de vídeo GeForce**. Disponível em: <https://www.nvidia.com/pt-br/geforce/graphics-cards/>. Acesso em: 24 ago. 2023.

ONS. Operador Nacional do Sistema Elétrico - ONS, 2023. **Carga e Geração**. Disponível em: <https://www.ons.org.br/paginas/energia-agora/carga-e-geracao>. Acesso em: 22 ago. 2023.

ROSA, Sílvia. **Bitcoin**: valor de mercado volta ultrapassar US\$ 1 trilhão. Saiba o que está por trás da alta em outubro. XP Expert, 2021. Disponível em: <https://conteudos.xpi.com.br/criptomoedas/bitcoin-mostra-recuperacao-em-outubro-e-valor-de-mercado-volta-ultrapassar-us-1-trilhao/>. Acesso em: 02 nov. 2024.

SCHENDES, William. **Bitcoin faz 14 anos**: Conheça a história da primeira criptomoeda. Olhar Digital, 2023. Disponível em: <https://olhardigital.com.br/2023/01/05/pro/bitcoin-faz-14-anos-conheca-a-historia-da-primeira-criptomoeda/>. Acesso em: 02 nov. 2024.

SIGALOS, Mackenzie. China is kicking out more than half the world's bitcoin miners – and a whole lot of them could be headed to Texas. **CNBC**, 2021. Disponível em: <https://www.cnbc.com/2021/06/15/chinas-bitcoin-miner-exodus-.html>. Acesso em: 10 jan. 2023.

SIGALOS, Mackenzie. Kazakhstan's deadly protests hit bitcoin, as the world's second-biggest mining hub shuts down. **CNBC**, 2022. Disponível em: <https://www.cnbc.com/2022/01/06/kazakhstan-bitcoin-mining-shuts-down-amid-fatal-protests.html>. Acesso em: 19 out. 2022.

STEIL, Juliana. Drex: Entenda tudo sobre a moeda digital do BC. **Valor**, São Paulo, 2023. Disponível em: <https://valor.globo.com/financas/criptomoedas/noticia/2023/08/10/drex-entenda-tudo-sobre-a-moeda-digital-do-bc.ghtml>. Acesso em: 14 ago. 2023.

United Nations Environment Programme. **Emissions Gap Report 2023**: Broken Record – Temperatures hit new highs, yet world fails to cut emissions (again). Nairobi, 2023. <https://doi.org/10.59117/20.500.11822/43922>.

WHITACKER, Guilherme Magon. A dinâmica neoextrativista da Vale S.A. entre o desenvolvimento sustentável e a acumulação por espoliação. In: FERREIRA, Gustavo Henrique Cepolini (Org.). **Conflitos e Convergências da Geografia**. Ponta Grossa: Atena Editora, 2019. p. 190-205.

WHITACKER, Guilherme Magon. **Desenvolvimento sustentável: decifra-me ou te devoro**: análise sobre o desenvolvimento sustentável no modo de produção capitalista. 2017. 365 f. Tese (Doutorado em Geografia) - Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente, 2017.

WILSON, Tom. **Kazakhstan's bitcoin 'paradise' may be losing its lustre**. Reuters, 2022. Disponível em: <https://www.reuters.com/technology/kazakhstans-bitcoin-paradise-may-be-losing-its-lustre-2022-01-14/>. Acesso em: 19 out. 2022.

ZIMMERMAN, Jeremy. **Why a Small Town in Upstate NY Banned Cryptocurrencies**. Institute For Internet And The Just Society, 2021. Disponível em: <https://www.internetjustsociety.org/cosmonaut/why-a-small-town-in-upstate-ny-banned-cryptocurrencies>. Acesso em: 29 nov. 2022.

Recebido em 26/10/2024

Aceito em 23/11/2024