

Criptomoedas e os impactos ambientais

RESUMO

Com o intuito de compreender e entender o funcionamento das criptomoedas, bem como as influências que elas causam no meio em que vivemos, o presente artigo objetivou apresentar os impactos ambientais causados pela mineração de criptomoedas. Desenvolveu-se uma pesquisa bibliográfica em meio a documentos, sites, livros e revistas, destes destacando artigos científicos, teses e dissertações. A partir da perspectiva da Ciência, Tecnologia e Sociedade (CTS), identifica-se a ausência de uma reflexão crítica aprofundada sobre os impactos ambientais causados pelo universo das criptomoedas, o que representa a contribuição desse estudo. Neste sentido, a pesquisa apresenta como resultado que a mineração de criptomoedas está presente como contribuinte para o aquecimento global de duas formas mais abrangentes, a primeira é o alto consumo de energia elétrica para manutenção e processamento das redes blockchain, e a segunda o acúmulo de lixo eletrônico, que ocorre devido à substituição dos computadores atuais por mais modernos e eficientes, ou seja, obtenção de maior capacidade de processamento e menor consumo de energia.

PALAVRAS-CHAVE: Criptomoedas. Bitcoin. Blockchain. Impactos ambientais. Aquecimento global.

Lucas Tartarotti

Instituto Federal Catarinense (IFC),
São Francisco do Sul, Santa
Catarina, Brasil
lucas.t10@hotmail.com

Mateus Mezzomo Kozak

Centro Universitário da Serra
Gaúcha (FSG), Caxias do Sul, Rio
Grande do Sul, Brasil
mateus.kozak@fsg.edu.br

Vinicius Zanchet de Lima

Centro Universitário da Serra
Gaúcha (FSG), Caxias do Sul, Rio
Grande do Sul, Brasil
vinicius.lima@fsg.edu.br

INTRODUÇÃO

Na década de 90 um visionário chamado W. Scott Stornetta dá início a ideia de um modelo de pagamento online, aproveitando essa contextualização em 2008 é citada pela primeira vez a palavra blockchain, que se dá pela continuidade do trabalho de Stornetta sendo aprimorada por Satoshi Nakamoto que em resumo funciona como um livro-razão, compartilhado e imutável, o que facilita processo de registro de transações, reduz os riscos e os custos envolvidos (NAKAMOTO, 2008).

Com a utilização do blockchain são criadas as criptomoedas, trazendo a independência financeira aos processos de transações bancárias, ganho de velocidade e segurança (ARAGON M., 2018). A primeira criptomoeda catalogada foi o bitcoin criado por Nakamoto (2008), com seu código sendo aberto ao público em 2009 e hoje é a maior criptomoeda do mercado financeiro. Posteriormente no ano de 2013 a ethereum é consolidada por Vitalik Buterin, seguindo nesse contexto seu objetivo seria que qualquer pessoa poderia utilizar da plataforma para criar e executar suas aplicações, com total acesso a arquitetura, mas sem a complexidade de criar sua própria rede (FERREIRA, 2017).

Embora estejamos falando de moeda digital, o processamento, mineração e manutenção dessa rede, necessitam da utilização de computadores de alto desempenho (VANNI M., 2021). Com o uso destes computadores, a preocupação em relação ao consumo de eletricidade aumentou (PINTO, et al., 2010). Segundo a Universidade de Cambridge a operação da criptomoeda faz uso de 129,24 terawatts-hora (TWh) por ano, um consumo superior até mesmo se comparado com a Argentina, e continua aumentando no sentido de ultrapassar a Suécia (VANNI M., 2021).

Outro fator em destaque consequente da mineração de criptomoedas e manutenção das redes blockchain é o lixo eletrônico, que conforme surgem os avanços tecnológicos e os produtos de informática com ciclos de vida menores, o acúmulo do mesmo se torna evidente (MATTOS et al., 2008). Provenientes de mineradores anualmente são produzidas 30.700 toneladas de lixo eletrônico conforme estimativa de Vries A. (2018).

O consumo de eletricidade e lixo eletrônico se visualizados individualmente, parecem simplórios. Contudo, se observada coletivamente e mundialmente, esses se tornam muito maiores, e pode-se notar uma grande influência no aquecimento global. (DIVINO, S. ANTUNES, B., 2021). Faz-se necessário então intensificar estudos, pesquisas e debates sobre esse tema chegando até empresas e público em geral, com intuito de obter uma maior abrangência e também compreender como serão os negócios futuros e quais impactos eles causarão, e por fim, que todos tenham acesso e estejam cientes destas informações (MACIEL F. A, 2018). Vanzo (2017) grifa a importância de que essas informações cheguem a todos, e diz que o mundo seria melhor se todos estivessem cientes deste tema. Sendo assim o este trabalho teve como objetivo apresentar os impactos ambientais causados pela mineração de criptomoedas.

No contexto da Ciência, Tecnologia e Sociedade (CTS), observa-se a ausência de uma reflexão crítica aprofundada, tanto no ambiente acadêmico como na área

de investimento em criptomoedas, sobre os impactos ambientais causados pelo universo de criptomoedas (mineradores, investidores, etc.). Esse fato motivou o desenvolvimento desta pesquisa e representa sua relevância acadêmica e para a sociedade em geral.

O presente artigo se encontra estruturado da seguinte forma, primeiramente apresentará o método de pesquisas. Posteriormente dividido em cinco seções e por último as considerações finais. A primeira seção fala sobre o desenvolvimento do blockchain, como foi criado e como funciona. A segunda seção fala sobre as criptomoedas, destacando duas delas o bitcoin e a ethereum. A terceira seção aborda o aquecimento global com uma breve história desde os primórdios até a atualidade, também se decompõe e dois temas menores que seriam energia elétrica e lixo eletrônico. A quarta seção fala sobre os impactos ambientais deixados pela mineração de criptomoedas. A quinta seção mostra um framework conceitual exemplificando de maneira visual como ocorre todo o processamento das criptomoedas até chegar aos impactos ambientais. Tudo isso seguindo os princípios da pesquisa bibliográfica exploratória.

METODOLOGIA

O presente artigo utilizou como método a pesquisa bibliográfica exploratória com revisão na literatura, fazendo a análise em documentos, sites, livros e revistas, destes destacando artigos científicos, teses, dissertações e trabalhos de conclusão de curso, com o objetivo de apresentar um conteúdo explicativo sobre o tema abordado.

A pesquisa bibliográfica, segundo Pizzani et. al. (2012, p. 54) é descrita da seguinte forma, “é a revisão da literatura sobre as principais teorias que norteiam o trabalho científico. Essa revisão é o que chamamos de levantamento bibliográfico ou revisão bibliográfica, a qual pode ser realizada em livros, periódicos, artigos científicos, sites da internet entre outras fontes”.

Segundo Yin (2001), primeiramente deve-se fazer levantamento dos dados encontrados de maneira a fim de seguir o escopo proposto. Conhecer, analisar e esclarecer problemas através de referências teóricas é o que denomina a pesquisa bibliográfica (TOFOLI, 2011).

A pesquisa sobre o tema teve início na base de dados da plataforma Scielo e posteriormente o Google Acadêmico, utilizando como palavras chaves criptomoedas, bitcoin, blockchain, impactos ambientais e aquecimento global, destes resultaram vários trabalhos, onde foram selecionados os mais recentes e relevantes tendo como métrica a quantidade de citações, sem restrições de idiomas ou país de origem.

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A TECNOLOGIA BLOCKCHAIN

Visando maior segurança e velocidade nas transações bancárias pela internet, um idealizador na década de 90 conhecido como W. Scott Stornetta criava um conceito de inovação, uma tecnologia que viria a revolucionar o mercado de transações, se tratava de uma validação online de forma descentralizada que é uma das características do blockchain, onde transações ocorrem de forma individual sem depender de um administrador ou coordenador da rede (COUTINHO et. al., 2019). Posteriormente um dos nomes mais conhecido dos criptoativos viria a pôr em prática o conceito já firmado por Stornetta, atendendo pelo codinome Satoshi Nakamoto foi criado o blockchain a palavra foi vista pela primeira vez no ano de 2008 se tornando um marco histórico para segurança online (NAKAMOTO, 2008).

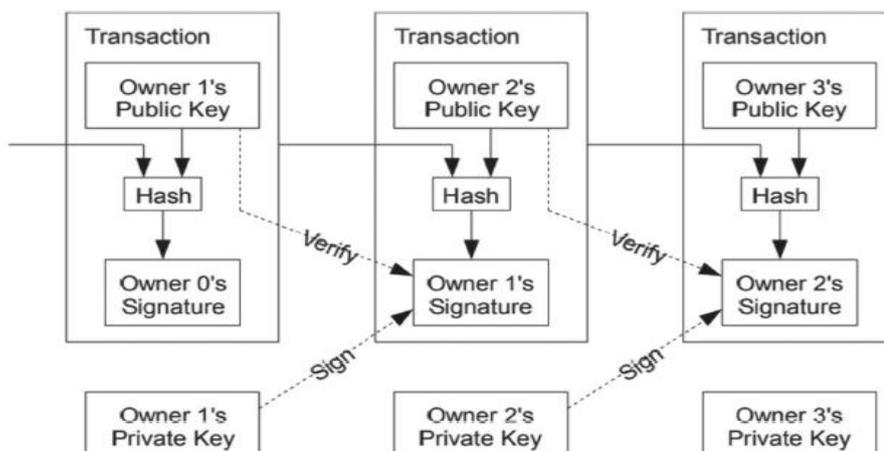
A blockchain pode ser definida como um banco de dados distribuído que registra transações com bitcoins em blocos, os quais podem ser acessados por diversos servidores. Diferentemente de sistemas centralizados, não há um único ponto de controle dessas transações. O usuário realiza a operação por meio de sua assinatura digital, enquanto o próprio sistema, com uso de criptografia, valida e armazena essas transações em blocos (MORAES, 2021).

A blockchain é um livro-razão compartilhado e imutável que facilita o processo de registro de transações, trazendo assim uma redução de riscos e custos para todos os envolvidos. Praticamente qualquer item de valor pode ser rastreado e negociado em uma rede de blockchain sem depender de terceiros, permitindo transações confiáveis e seguras com integridade e resistência a adulteração, este fato se dá por estar agrupada em blocos ordenados cronologicamente e protegidos através de links de hash (sequência alfanumérica conhecida entre os programadores como string), armazenados em uma rede física de computadores. (WRIGHT et. al., 2015).

Como exposto por Khan e Salah (2018) são muitas as possibilidades para implantação do blockchain, inclusive para sistemas de segurança de maneira que provoquem uma quebra nos padrões de modelos ou tecnologias já estabelecidas, também salientam a importância de novas tecnologias do conhecimento TIC (tecnologias da informação e conhecimento), em áreas como economia, a fim de formular novas maneiras de trabalhar. Crosby (2016) cita a blockchain como a maior aliada contra fraudes e falsificações em função de demonstrar transparência em suas transações.

Levando em consideração as afirmações de Iansiti e Lakhani (2017), apesar de todas as vantagens do blockchain, possuímos algumas desvantagens como nível de complexidade social, tecnológica e de regulamentação, além de provir de um alto consumo energético, conforme exposto por Vries, A. (2018) o primeiro bloco de blockchain resolvido teve um consumo energético de 43,3 Terawatt-hora (TWh). Um resumo do funcionamento da blockchain pode ser visto abaixo (DIVINO, S. ANTUNES, B., p. 2186).

Figura 1: Esquema de funcionamento do blockchain.



Fonte: Divino, S. Antunes, B., p. 2186, 2021.

A transação acontece da seguinte forma, é escolhida a moeda eletrônica a ser utilizada com assinaturas digitais, em seguida cada proprietário transfere a moeda para o outro, assinando digitalmente um hash da transação anterior e a chave pública do precedente proprietário, tudo isso é anexado a moeda e enviado ao agraciado, ele pode verificar as assinaturas e validar a transação conforme explica Nakamoto (2008). Após a validação da transação ela fica salva em um novo bloco e transcrita no livro-razão público ou privado, tendo como objetivo a vitaliciedade e estabilidade destas informações (WRIGHT, et. al., 2015). Kurose e Ross (2013) também deixam claro que a assinatura digital serve para identificar o proprietário, além disso, que está em concordância com o conteúdo ali exposto, essa assinatura deve estar criptografada de tal maneira que impeça a falsificação.

Um complexo ecossistema digital de empreendedorismo e troca surgiu com a infraestrutura digital do núcleo do Bitcoin, em especial, o blockchain (SAIEDI; BROSTROM; RUIZ, 2021).

CRIPTOMOEDAS

Nos dias atuais uma tecnologia ainda não conhecida por muitos brasileiros vem ganhando força, as chamadas criptomoedas que popularizaram nos últimos anos de forma a mudar a ideia de investimentos e de pagamentos (BRAZ, G de S., HENRIQUE, 2018). Antes desse grande passo o comércio na internet dependia exclusivamente das instituições financeiras, com um sistema baseado em confiança. E foi graças a um grupo de codinome Satoshi Nakamoto que surge um novo conceito de transações online, um sistema de pagamento eletrônico baseado em prova criptográfica, conhecido como a tecnologia blockchain, um livro-razão compartilhado e imutável (NAKAMOTO, 2008).

O notável crescimento do mercado de criptomoedas nos últimos anos, que passou de um cenário totalmente marginal para atingir uma capitalização comparável à de uma bolsa de valores de porte médio, proporciona uma oportunidade singular de acompanhar sua evolução em um curto intervalo de tempo, assim como as tendências de adoção dessas moedas digitais pelas pessoas (WATOREK et al., 2021). Segundo o site CoinMarketCap (2025), em julho de 2025

existem cerca de 18.88 milhões de criptomoedas negociadas, com valor de mercado total de aproximadamente 3.92 trilhões de dólares americanos [USD].

Mineração é o nome dado ao processo de criação novas criptomoedas (NAKAMOTO, 2008), o mesmo vem sofrendo críticas nos últimos anos devido ao seu grande consumo computacional e energético conforme explica Truby J. (2018), esse fato ocorre devido à utilização Proof-of-Work do português prova de trabalho, Nakamoto (2008) cita que essa prova de trabalho seria basicamente uma CPU (unidade central de processamento). Para O'Dwyer (2011) ao fazer uso das criptomoedas os clientes são para a rede apenas números criptografados, fato que atua como obsoleto na preservação da identidade de cada um, ele também diz que a criptografia impede que qualquer moeda sofra alguma falsificação.

É indispensável para quem vai se aventurar com seu minerador e for competitivo na resolução dos blocos criptografados, utilizar de hardwares especializados, se for de outra maneira o gasto de energia seria superior ao que o seu minerador consiga compilar, trazendo prejuízos ao usuário (RODRIGUES, 2017). Rodrigues complementa que os modernos computadores para mineração hoje em dia fazem em média centenas de milhões de tentativas por segundo, ou seja, centenas de milhões de hashes por segundo.

O BCE - Banco Central Europeu (2012, 2019), cita criptomoedas como um ativo digital não regulamentado e de total responsabilidade de quem desenvolve, e é apresentado como moeda de troca por serviços e bens dentro de sua rede virtual. Löber e Houben (2018) complementam que o Comitê da Basileia considera que as criptomoedas não fornecem segurança aos seus usuários, ao ponto de considera-las como moeda de troca e reserva de valor, sendo totalmente o oposto do dinheiro físico. Por sua maioria os países juntamente com suas autoridades governamentais e bancos centrais desencorajam as pessoas a aquisição de criptoativos, mas acabam não esclarecendo seu status legal perante o fato (PRASAD, 2018). Um resumo do funcionamento da mineração pode ser visto abaixo (DIVINO, S. ANTUNES, B., p. 2187).

Figura 2: Funcionamento da mineração.



Fonte: Divino, S. Antunes, B., p. 2187, 2021.

Para cada mineração os computadores acessam o chamado blockchain, ou seja, a rede onde estão conectados, em seguida é compartilhada entre os mineradores um "livro razão" onde fica guardado os dados da transação (GZH, 2022). SÁ, Mike Rafael (2019) exemplifica que essas redes se encontram divididas em blocos para posteriormente os mineradores interpretarem o código, após obterem a validação a transação é aprovada e devolvida à rede. Tal modelo faz com que não haja duplicidade nas transações (KARAME, et. al., 2012).

Atualmente possuímos mais de 9000 mil criptomoedas circulando no mercado de transações, diante dessa diversidade fica impossível avaliar os benefícios de cada uma delas. Sendo assim o presente artigo abordou as duas moedas que segundo o site especializado CMC (2022), são as mais populares e se encontram ranqueadas como primeira Bitcoin e segunda Ethereum, conforme a lista disponibilizada no site.

Bitcoin

Proveniente do blockchain o bitcoin traz a independência financeira, deixando de lado a necessidade das instituições financeiras na realização de nossas transações, a descentralização contribui para um ganho de velocidade além e segurança (ARAGON M., 2018). Como apotegma Leon Louw, que já foi nomeado ao prêmio Nobel da Paz, "todas as pessoas informadas precisam conhecer o bitcoin, pois ele pode ser um dos acontecimentos mais importantes do mundo", essa frase torna um incentivo para que todos venham a conhecer essa nova maneira de lidar com seu dinheiro (ARAGON M., 2018).

Essa moeda digital surge em 2008 com sua publicação em fórum, e foi a primeira a ser lançada com código aberto ao público no ano de 2009, onde milhares de computadores físicos emprestam de sua capacidade computacional para que os bitcoins sejam criados, denominando o processo como mineração (NAKAMOTO, 2008).

Para proteção dessas informações utiliza-se de criptografia assimétrica (chave pública) criada na década de 70 por Whitfield Diffie e Martin Hellman, que é nada mais nada menos que transformar textos legíveis em ilegíveis, para chegar a esse nível de segurança o texto é cifrado em uma das duas chaves do algoritmo de criptografia, a outra chave fica destinada a decifração para que o texto possa ser lido posteriormente (MARQUES, 2013).

O bitcoin hoje é a maior criptomoeda do mercado financeiro com \$ 797,242,605,348 (setecentos e noventa e sete bilhões e duzentos e quarenta e dois milhões e seiscentos e cinco mil e trezentos e quarenta e oito dólares) em circulação, seu valor atual gira em torno de R\$ 207.621 BRL com um volume de R\$ 124.784.537.109 BRL em 24 horas conforme o site CMC (2022).

Tudo começa com o usuário criando seu wallet (semelhante a uma conta bancária), essa ação lhe dá direito a armazenamento e envio dos bitcoins de sua conta. São dois os principais tipos de wallets, a primeira se chama web wallet, aonde o cliente vem a contratar um terceiro para armazenar e gerenciar suas moedas, a segunda, software wallet, o cliente instala a wallet no seu próprio hardware (p. ex., desktop, smartphone, etc.), esse modelo faz com que ele fique responsável pela sua carteira (RODRIGUES, 2017).

Seguindo o pensamento de Antonopoulos (2014), toda transação entre carteiras é adicionada a um pool (piscina de mineração ou grupo de mineradores), e posteriormente transmitida a todos os mineradores da rede. A ordem segue a prioridade de tempo de espera, e após agrupar um conjunto delas se forma um novo bloco, onde ele encontra um hash de identificação que é registrado como nome do bloco.

Antonopoulos (2014) também afirma que o bitcoin tem um limite de mineração que gira em torno de 10 minutos, tanto para resolução dos hashes quanto para quantidade de moedas impressas. Esse fato só é possível porque a própria rede aumenta e diminui o grau de dificuldade para a mineração, ou seja, não importa seu poder computacional utilizado no processo, o tempo sempre será definido pela rede.

Ethereum

Com o sucesso do bitcoin e o emprego do blockchain nas resoluções de problemas, acabam surgindo outras criptomoedas para suprir as necessidades do nosso cotidiano, com esse intuito Koç et. al. (2018) destaca a ethereum como a que mais obteve sucesso dentre as demais posteriores ao bitcoin.

A ethereum é consolidada em 2013 por Vitalik Buterin, programador que esteve presente no desenvolvimento do bitcoin. Schüpfer (2017) explica que essa criptomoeda utiliza do blockchain não somente para guardar dados dos usuários, mas também seu código fonte. Seguindo nesse contexto Ferreira (2017) diz que o objetivo de Buterin seria que qualquer pessoa poderia utilizar da plataforma para

criar e executar suas aplicações, com total acesso a arquitetura, mas sem a complexidade de criar sua própria rede.

Um sistema que adota como base contratos inteligentes com ênfase no blockchain, essa plataforma é um conjunto de VM (máquina virtual), descentralizadas que adotam como nome de EVM (Ethereum Virtual Machines), e são responsáveis pela execução dos contratos, conforme explica Braga et. al., (2017). Christidis e Devetsikiotis (2016) exemplificam que cada contrato é identificado por um endereço, e esse endereço é acionado assim que citado como destino para uma transação, nesse momento a rede executa de maneira automática o contrato inteligente.

Wood (2014) conta que as aplicações da plataforma ethereum ocorrem de maneira descentralizada e exatamente como foram programadas, evitando assim fraudes ou interferência de terceiros, além disso, a rede é compilada em um blockchain de infraestrutura compartilhada globalmente. Wood também complementa sobre a classificação dos usuários que ocorrem de três formas, primeiro como mineradores que são os que validam os blocos dentro da rede, usuários comuns que são os que realizam transações, ou simplesmente pertencer as duas já citadas, cada um deles pode ter uma troca de informações, valores, ou parâmetros de um contrato.

O valor do ethereum está girando por volta de R\$15.862,02 BRL com um volume de negociação em 24 horas de R\$84.055.514.113 BRL, hoje ele ocupa o segundo lugar em capitalização com um mercado de R\$1.905.731.205.340 BRL em circulação, suas principais corretoras de negociação são Binance, OKX, Bybit, CoinFLEX (CMC, 2022).

AQUECIMENTO GLOBAL

Há séculos o ser humano vem evoluindo por meio de descobertas, mostrando sua forte capacidade de adaptação sobre o meio natural, essas descobertas só se tornam possível através da alteração dos recursos naturais. Para facilitar esses avanços ao longo do tempo se utilizam de ferramentas criadas a partir dos recursos ali dispostos, essa característica de obter informações e criar, torna o homem diferente dos demais seres vivos. Em decorrência a extração dos recursos naturais a humanidade vai de passo a passo ao encontro de sua extinção, fato que foi agravado ainda mais com a Revolução Industrial (DIAS, 2011).

No século XIX, com a criação das máquinas a vapor no auge da Revolução Industrial, a produção disparou de maneira acelerada, logo após no século XX surge à eletricidade criando o conceito a produção em massa e impulsionando a produção automatizada da década de 70. No decorrer dos anos as coisas não evoluíram tanto na parte industrial, se comparada a TI (tecnologia da informação), por exemplo, a comunicação móvel e os comércios eletrônicos são revolucionários (RUBMANN et. al., 2015).

Com toda essa tecnologia em uso obtemos uma maior busca por fontes energéticas, que, conforme informações do IPCC (Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas), 2013, o aquecimento global juntamente com as mudanças climáticas, tem como causa a emissão de gases, esses são recorrentes principalmente dos processos de combustão gerados na produção de energia (GIODA A., 2018). Além disso, o calor gerado pela circulação da energia elétrica

causa impactos ambientais plausíveis, conforme cita estudo publicado no site "Nature Climate Change", houve um aumento da temperatura de até 1º C na Rússia e no norte da Ásia, e em 0,8º C nas pradarias do Canadá, de acordo com o modelo estudado (G1, 2013).

Tendo como objetivo a diminuição do caos causado por todo esse desenvolvimento além da extração de matéria-prima e produção acelerada, conforme explica Barbieri et. al. (2010), estão sendo feitos estudos com afins de evitar impactos negativos, mas de maneira, que não venha interferir no desenvolvimento econômico, isso faz uso de tecnologias conhecidas como eco inovações, que servem como base para sustentabilidade, e eficiência no uso dos recursos naturais (KATARZYNA, 2013).

Energia Elétrica

Os primeiros fenômenos elétricos se derem na Grécia Antiga em trabalhos observação, como os do filósofo Tales de Mileto (640-546 a. C.), que constatou as atrações de corpos (CINDRA, 2005). Um dos famosos influenciadores dos modelos de eletrostática foi Benjamin Franklin por volta de 1743, criou um modelo de um único fluido elétrico (WHITTAKER, 1973, p. 46).

Em torno de 1800 com a criação da bateria elétrica, o pioneiro inglês Humphry Davy percebeu que a melhor maneira de utilizar uma corrente elétrica seria emitindo luz por sobre o metal, que posteriormente ficou conhecido como lâmpada de arco. Esse experimento tinha alto custo de produção e baixos índices de durabilidade e, além disso, gerava muito calor, o que vem a torna-lo inexecuível. Posteriormente Warren de la Rue e Joseph Swan aperfeiçoaram o protótipo de Davy com uma ideia de bulbo a vácuo e filamentos mais duráveis. Estudando por 10 anos essa ideia, surge Thomas Edison, que em 21 de outubro de 1879, cria uma lâmpada capaz de brilhar por 45 horas seguidas (PINELLI N., 2019).

Nossa principal fonte de energia é o sol, que atua como influenciador para outras fontes energéticas, a humanidade primeiramente manipulou o fogo em forma de energia natural, depois os fluidos. Hoje em dia possuímos muitas outras formas, nossa casa, por exemplo, conta com TV, geladeira ou até mesmo um brinquedo a pilha que para seu funcionamento se faz necessário o uso de energia. Portanto a energia é algo muito importante para a sobrevivência, e ao longo da história da humanidade vem aprimorando essas transformações, contudo isso causa um grande impacto ambiental como uma das principais influências da destruição da fauna e flora, um agravante na geração de resíduos (lixo) ou aumentar o risco de esgotar os recursos naturais (EPE, 2018).

Com o uso de computadores e periféricos, a preocupação em relação ao consumo de eletricidade aumentou. Citando o Brasil como exemplo, 70% da geração de energia elétrica provem de hidrelétricas (EPE, 2018). Tal construção exige uma grande mobilização das pessoas, essas têm de deixar seus lares e dar espaço ao projeto, pois, essa construção causa um impacto ao ecossistema local, inundando florestas, que são responsáveis pela redução da emissão de gases poluentes como, por exemplo, gás carbônico (CO2) e metano (CH4), os principais colaboradores do efeito estufa. (PINTO, et. al, 2010).

Lixo eletrônico

O Dicionário Aurélio Básico da Língua Portuguesa define que, “lixo é tudo aquilo que não se quer mais e se joga fora; coisas inúteis, velhas e sem valor”, LIXO (1988). Seguindo esse contexto tudo que é gerado a partir de eletroeletrônicos, bem como tudo que deriva deles recebe o nome de “e-waste”, um termo que é comumente utilizado pelos Estados Unidos e está associado aos resíduos tecnológicos (NASCIMENTO, 2010).

Com todos os avanços tecnológicos e os produtos de informática com ciclos de vida menores, é cada vez maior o acúmulo de lixo eletrônico (MATTOS et. al., 2008). Ferreira, Juliana M. de B. et. al. (2008) exemplifica que para a criação de um desktop são utilizados cerca de 1.800 quilos de matéria-prima para formarem componentes, sendo 240 quilos em combustíveis fósseis (petróleo, gás, etc), 22 quilos de produtos químicos e 1.500 quilos de água potável. Nascimento (2010) reforça que diariamente nos deparamos com tecnologias mais sofisticadas e optamos pela troca dos nossos eletrônicos antigos gerando mais resíduos.

Nos últimos anos houve um constante crescimento na venda de computadores, por exemplo, em 2009 o crescimento foi de 22% sendo considerado tanto para uso corporativo ou pessoal, outro dado importante é quantidade de lares que possuem computadores que neste mesmo ano era de 17% no mundo, esse fato se agrava pela durabilidade de um computador que é em média quatro anos (PINTO, et. al, 2010).

Carpanez (2007), explica que os eletrônicos utilizam de materiais nocivos em seus componentes como, por exemplo, mercúrio, cádmio, arsênio, cobre, chumbo e alumínio, que após um descarte mal-sucedido pode penetrar no solo e contaminar alimentos que são cultivados no local. Após a ingestão destes alimentos algumas pessoas podem vir a sofrer de sintomas leves como dor de cabeça e até náuseas, ou sintomas mais graves como comprometimento do sistema nervoso ou surgimento de cânceres, conforme o químico do Laboratório de Química Analítica Ambiental da Universidade de Brasília (UnB) Antônio Guaritá explica. Mattos et. al., (2008), complementa que além das consequências do descarte inadequado o custo de produção é altamente prejudicial ao meio ambiente.

DESENVOLVIMENTO (RESULTADOS E DISCUSSÕES)

ANÁLISE DOS IMPACTOS CAUSADOS PELAS CRIPTOMOEDAS NO MEIO AMBIENTE

Quando falamos dos impactos que a mineração de criptoativos causa ao meio em que vivemos, para a manutenção de uma rede de blockchain a revista Joule estima que são emitidos 22 megatons de dióxido de carbono por ano. Em outras palavras, emite o mesmo CO₂ que cidades como Las Vegas, Kansas City, Caracas ou Lima, que resultam como consequência o agravamento do aquecimento global, essas são referências de um estudo da Universidade Técnica de Munique (TUM), e, adaptada pelos autores Stoll (2019). Uma criptomoeda tem consumo de energia anual que pode ser comparado a países como a Finlândia, e sua pegada de carbono se comparam à Suíça, esses são dados extraídos do site especializado Digiconomist Copyright (2022).

O índice de consumo de eletricidade segundo a Universidade de Cambridge revela que a operação da criptomoeda faz uso de 129,24 terawatts-hora (TWh) por ano, um consumo superior até mesmo se comparado com a Argentina, e continua aumentando no sentido de ultrapassar a Suécia (VANNI M., 2021). Para lidar com a influência energética e sua ligação direta ao aquecimento global autores como Sugiyama et. al. (2014), citam uma necessidade de projetos para atenuar as evidentes consequências.

Os autores Mattos et. al., (2008), afirmam que o setor eletrônico é o que mais cresce atualmente. Em termos de faturamento somente perde para o petrolífero. Associado a esse crescimento, juntamente com o consumismo e descarte inadequado, influenciam consideravelmente para com que dispare os números de lixo eletrônico a proporções desastrosas e causando problemas ambientais.

DRISSE M. N. B. (2021) principal autora do relatório da OMS, explica que de acordo com a Global E-waste Statistics Partnership (GESP), o lixo eletrônico teve um aumento de 21% nos cinco anos até 2019, quando 53,6 milhões de toneladas métricas de lixo eletrônico foram geradas, e desse total as projeções perduram que o valor só venha a aumentar à medida que os eletrônicos continuam a expandir no mercado. No ano de 2019 como comparativos somente 17,4 % do lixo eletrônico foi devidamente reciclado, apesar de uma baixa porcentagem esse fato evitou que 15 milhões de toneladas de dióxido de carbono fosse emitido à atmosfera, Drisse então reforça que as coletas do lixo eletrônico bem como sua reciclagem são essenciais para reduzir emissões climáticas.

Sobre o lixo eletrônico proveniente de mineradores anualmente são produzidas 30.700 toneladas conforme estimativa de Vries, A. (2018). Assim que os computadores destinados a mineração se tornam obsoletos, a busca por novos equipamentos passa a se tornar quase que essencial, gerando assim uma vida útil de em média 1,29 anos para cada computador dedicado a mineração, isso ocorre devido ao consumo de eletricidade que é o custo mais considerável entre os mineradores, forçando-os a buscar novos processadores mais eficientes (BBC, 2021).

Os dados analisados evidenciam que a mineração de criptoativos representa um impacto ambiental significativo, tanto no consumo energético quanto nas emissões de gases de efeito estufa. O consumo anual de energia, comparável a países inteiros como Finlândia e Argentina, associado às emissões de CO₂ semelhantes às de cidades de grande porte, demonstra que a infraestrutura necessária para manter redes de blockchain é intensiva em recursos naturais. Essa realidade se torna ainda mais preocupante diante do crescimento contínuo da demanda por criptoativos, que tende a intensificar essas emissões caso não haja mudanças tecnológicas ou regulatórias.

Conforme apresentado, o lixo eletrônico é um problema ambiental adicional. A curta vida útil dos equipamentos utilizados para mineração, aliada a rápida obsolescência tecnológica, resulta na geração anual de inúmeras toneladas de resíduos eletrônicos. Isso potencializa a liberação de poluentes tóxicos e gases de efeito estufa, além de pressionar a cadeia de suprimentos de recursos minerais para fabricação de novos equipamentos.

Os resultados apontam para uma necessidade urgente de mitigação dos impactos ambientais associados a mineração de criptomoedas. Além disso, a conscientização dos agentes e usuários de criptomoedas pode desempenhar um

papel relevante na construção de um mercado mais sustentável, alinhado aos objetivos globais de redução das emissões de carbono e gestão responsável de resíduos.

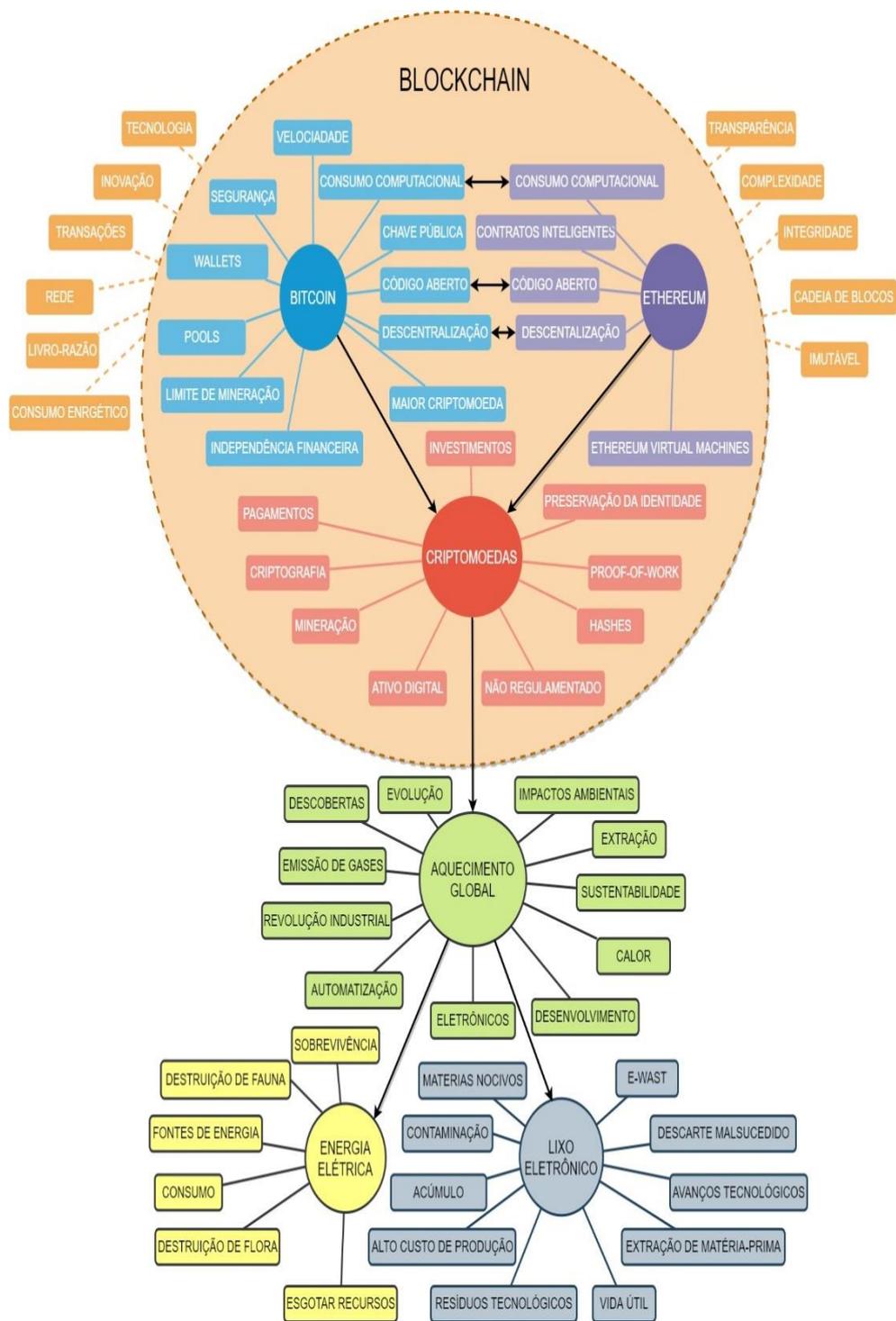
FRAMEWORK CONCEITUAL

O modelo teórico explica a maneira como a utilização das redes blockchain contribui diretamente ao aquecimento global. Este está composto por construtos denominados como criptomoedas e aquecimento global, seguido de suas dimensões bitcoin, ethereum, energia elétrica e lixo eletrônico, cada qual com suas principais características. Primeiramente temos a grande rede blockchain que é onde são criadas e funcionam as criptomoedas, temos duas principais moedas em destaque, o Bitcoin e o Ethereum que possuem algumas correlações.

O fluxo começa pelas duas dimensões do blockchain denominadas ethereum e bitcoin, que juntamente com outras moedas digitais formam o constructo criptomoedas. O conjunto de criptomoedas funciona dentro da grande rede blockchain, onde computadores de alto desempenho fazem o papel de processar todas as informações, conforme grifado por Vanni M. (2021). Com o uso destes computadores a preocupação em relação ao consumo de eletricidade aumentou, Pinto, et. al, (2010) explicam que por estes fatores a blockchain faz ligação direta ao aquecimento global.

O constructo aquecimento global resulta em mais duas dimensões sendo uma delas, energia elétrica, que conforme o site G1 (2013), o calor gerado pela circulação da energia elétrica causa impactos ambientais plausíveis, um estudo publicado no site "Nature Climate Change", prova um aumento da temperatura mundialmente. A outra dimensão se denomina lixo eletrônico, que conforme surgem os avanços tecnológicos e os produtos de informática com ciclos de vida menores, autores como Mattos et. al., (2008), falam das consequências deste acúmulo de resíduos eletrônicos. Divino, S. Antunes, B., (2021) são autores que grifam a ligação do lixo eletrônico ao aquecimento global. A seguir modelo teórico dos impactos causados pelas criptomoedas ao meio ambiente.

Figura 3: Framework conceitual



Fonte: Desenvolvido pelos autores.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

De acordo com objetivo de apresentar os impactos ambientais causados pela mineração de criptomoedas, este artigo demonstrou que para existência das

criptomoedas é necessária uma rede denominada blockchain. Neste sentido, para o funcionamento dessa rede são utilizados computadores que emprestam sua capacidade de processamento, tanto para manutenção quando o funcionamento da rede. Esses computadores tem um altíssimo consumo energético, o que de fato afeta diretamente o meio ambiente, que por sua vez a produção de energia elétrica causa diversos impactos, sendo um dos principais a emissão de CO₂, que responde a 60% do efeito estufa.

Para obtenção de moedas como bitcoin e ethereum a decriptografia faz-se necessária, e para ser competitivo nessa área, temos de estar sempre à frente dos demais, para isso contar com as novas tecnologias é sempre a melhor opção. Um computador com maior capacidade de processamento e menor consumo energético faz com que os lucros aumentem. Por outro lado, conforme os computadores antigos vão sendo deixados para trás, temos o aumento gradativo do lixo eletrônico, que é outro fator associado ao aquecimento global. A construção de um computador utiliza de materiais nocivos em seus componentes como, por exemplo, mercúrio, cádmio, arsênio, cobre, chumbo e alumínio, que após um descarte malsucedido pode penetrar no solo e contaminar alimentos que são cultivados no local.

Os achados do presente estudo demonstram que a mineração de criptomoedas gera impactos negativos no meio ambiente. Isso ocorre porque existe um alto consumo de energia elétrica para manutenção e processamento das redes blockchain. Além disso, outro impacto gerado pelas criptomoedas ocorre devido à substituição dos computadores atuais por versões mais modernas e com maior capacidade de processamento, gerando acúmulo de lixo eletrônico e gasto de recursos na produção desses equipamentos.

O resultado desta pesquisa abrange as perspectivas da Ciência, Tecnologia e Sociedade. Na ciência, a pesquisa contribui com os achados em um tema pouco abordado de forma acadêmica. Na tecnologia, as criptomoedas são a principal tendência para o futuro do dinheiro a nível mundial, o que demonstra a relevância desse tema. Se tratando da sociedade, os impactos ambientais gerados por essa tecnologia devem ser estudados e discutidos para avaliação dos seus prós e contras, objetivo alcançado no presente artigo.

Como implicação de trabalhos de pesquisas no conceito bibliográfico, o presente artigo possui como limitação que o tema abordado é recente e pouco estudado no mundo acadêmico, o que traz como resultado nas buscas poucos estudos sobre o assunto em específico.

Por fim, como indicação de trabalhos futuros, sugere-se buscar trazer outros impactos causados pela mineração de criptomoedas, como por exemplo, os impactos causados pela obtenção da energia elétrica, e por outro lado também se sugere exemplificar buscas por fontes de energias renováveis. Também de suma importância, a aplicação do modelo framework de maneira empíricas, a fim de evidenciar na prática as relações entre os constructos e suas dimensões, além de suas correlações.

Cryptocurrencies and environmental impacts

ABSTRACT

To understand how cryptocurrencies work, as well as their impact on our environment, this article aims to present the environmental impacts caused by cryptocurrency mining. A bibliographical survey was conducted across documents, websites, books, and magazines, highlighting scientific articles, theses, and dissertations. From the perspective of Science, Technology, and Society (STS), we identified a lack of in-depth critical reflection on the environmental impacts caused by the cryptocurrency universe, which represents the contribution of this study. In this sense, the research concludes that cryptocurrency mining contributes to global warming in two broad ways: the first is the high consumption of electricity for the maintenance and processing of blockchain networks, and the second is the accumulation of electronic waste, which occurs due to the replacement of current computers with more modern and efficient ones, i.e., obtaining greater processing capacity and lower energy consumption.

KEYWORDS: Cryptocurrencies. Bitcoin. Blockchain. Environmental impacts. Global warming.

REFERÊNCIAS

- ANTONOPOULOS, M. Andreas. **Mastering Bitcoin**. 1º Edição. Sebastopol: O'Reilly Media, Inc, 2014.
- ARAGON M., 2018. **Ciptomoeda**: Uma análise da utilização do bitcoin na sociedade. Trabalho de Conclusão de Curso submetido ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina como parte dos requisitos para obtenção do título de Tecnólogo em Gestão da Tecnologia da Informação, 2018.
- BARBIERI, José Carlos et al. Inovação e sustentabilidade: novos modelos e proposições. **Revista de Administração de Empresas [online]**. v. 50, n. 2 pp. 146-154, 2010.
- BRAGA, A. M., MARINO, F. C. H., and DOS SANTOS, R. R. **Segurança de aplicações blockchain além das criptomoedas**. Livro-texto dos minicursos SBSeg, pages 99–148, 2017.
- BRAZ, G de S., HENRIQUE. **As criptomoedas: aceitação das moedas virtuais no mercado financeiro internacional**. Projeto de Pesquisa apresentado à Unidade de Aprendizagem Trabalho de Conclusão de Curso em Relações Internacionais I, do Curso de Relações Internacionais, como requisito à elaboração do trabalho monográfico. Linha de pesquisa: Economia, Sistema Financeiro, Mercado Monetário. Universidade de Santa Catarina. Tubarão, 2018.
- CARPANEZ, J. **10 mandamentos do lixo eletrônico**. Do G1, em São Paulo, 2007.
- CHRISTIDIS, K. AND DEVETSIKIOTIS, M. K. "**Blockchains and Smart Contracts for the Internet of Things**", em IEEE Access, vol. 4, pág. 2292-2303, 2016.
- CINDRA, J. L; TEIXEIRA, O. P. B. "A evolução das ideias relacionadas aos fenômenos térmicos e elétricos: algumas similaridades". **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, 22, p.379-399, 2005.
- COINMARKETCAP. **Cryptocurrency Market Capitalizations**, acesso em <https://coinmarketcap.com/>, em 27 julho 2025.
- CROSBY, M., PATTANAYAK, P., VERMA, S. & KALYANARAMAN, V. Blockchain technology: Beyond bitcoin. Applied Innovation. **Revisão de Inovação Aplicada**, Edição nº 2 de junho de 2016.
- DIAS, R. **Gestão Ambiental**: Responsabilidade Social e Sustentabilidade. São Paulo: Atlas, 2011.
- DIVINO, S. ANTUNES, B. **A mineração de criptomoedas e os impactos ambientais: reflexos na agenda de 2030**. 7. 2179-2215, 2021.
- DRISSE M. N. B. **Aumento do lixo eletrônico afeta saúde de milhões de crianças, alerta OMS**. Nações Unidas no Brasil. Brasília, DF, Brasil, 2021.
- O'DWYER, B. The Case of Sustainability Assurance: Constructing a New Assurance Service. **Contemporary Accounting Research**. Vol.28. No4. Pp. 1230-1266, 2011.

FERREIRA, Frederico Lage. **Blockchain e Ethereum: Aplicações e Vulnerabilidades**. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Ciência da Computação). Instituto de Matemática e Estatística, Universidade de São Paulo (USP), São Paulo, 2017.

FERREIRA, JULIANA M. de B. et al. A sociedade da informação e o desafio da sucata eletrônica. **Revista Ciências exatas e tecnologia**, v.3, n. 3, p. 157-170, 2008.

G1 - Globo Comunicação e Participações S. A. **Consumo de energia pode ter ligação com aquecimento global, diz estudo**. Do Globo Natureza, em São Paulo, 2013.

GIODA A. **Comparação dos níveis de poluentes emitidos pelos diferentes combustíveis utilizados para cocção e sua influência no aquecimento global**. Departamento de Química, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, 22451-900 Rio de Janeiro – RJ, Brasil. *Quim. Nova*, Vol. 41, No. 8, 839-848, 2018.

GZH. **O que é e como funciona a mineração de criptomoedas**. Jornal digital GZH. 2022.

ANSITI, M., LAKHANI, K. R. The blockchain revolution. **Harvard Business**, 2017.

IPCC: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. **Contribuição do Grupo de Trabalho I para o Quinto Relatório de Avaliação do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas** [Stocker, TF, D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, SK Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex e PM Midgley (eds.)]. Cambridge University. Press, Cambridge, Reino Unido e Nova York, NY, EUA, 1535 pp, 2013.

KARAME, et al. **Double-spending fast payments in bitcoin**. In Proceedings of the 2012 ACM conference on Computer and communications security (CCS '12). Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, 906–917, 2012.

KATARZYNA, S. A influência da circulação atmosférica na ocorrência de granizo nas planícies do norte da Alemanha. **Theor Appl Climatol** 112, 363-373, 2013.

KHAN, M. A., SALAH, K. IoT security: Review, blockchain solutions, and open challenges. **Future Generation Computer Systems**, VOLUME 82, 395-411, 2018.

KOÇ, A. K. et al. Towards Secure E-Voting Using Ethereum Blockchain. In: Conference: International Symposium on Digital Forensic and Security (ISDFS), 6, 2018, Antalya, Turkey. Proceedings... Antalya: **Institute of Electrical and Electronics Engineers**, p. 143-149, 2018.

KUROSE, J. F.; ROSS, K. W. **Computer networking: A top-down approach featuring the Internet**. Pearson Education, 6th ed., New York, 2013.

LIXO. In: DICIO, **Dicionário Aurélio Básico da Língua Portuguesa**. Editora Nova Fronteira, 1988.

LÖBER, K. E HOUBEN, A. Monedas digitales emitidas por bancos centrales. **Comité de Pagos e Infraestructuras del Mercado**. ISBN 978-92-9259-162-5, 2018.

MARQUES, Thiago Valentim. **Criptografia: abordagem histórica, protocolo Diffie-Hellman e aplicações em sala de aula.** 76 f. Dissertação (Mestrado Profissional em Matemática) - Universidade Federal da Paraíba, 2013.

MATTOS, Karen M.C. et al. Os impactos ambientais causados pelo lixo eletrônico e o uso da logística reversa para minimizar os efeitos causados ao meio ambiente. **XXVIII Encontro Nacional de Engenharia de Produção.** Rio de Janeiro, 2008.

MORAES, A. Bitcoin e Blockchain: a revolução das moedas digitais. Editora Saraiva, 2021.

NAKAMOTO. Satoshi. **Bitcoin: A Peer-to-Peer Electronic Cash System,** 2008.

NASCIMENTO, A. N.; OLIVEIRA, G. A. G. Aspectos tecnológicos e ambientais: o desafio do lixo eletrônico. **Revista Cerrados**, [S. l.], v. 8, n. 01, p. 239–260, 2010.

PINELLI N. **Há exatos 137 anos uma lâmpada elétrica foi acesa por Thomas Edison.** **Revista Galileu.** 21 OUT, 2016.

PINTO, et al. **Computadores, Sustentabilidade e Meio Ambiente.** Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação. SCC0207 – Computadores e Sociedade I. Universidade de São Paulo, 2010.

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), Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), Cidade Universitária – RJ – Brasil, 2019.

PIZZANI, L.; DA SILVA, R. C.; BELLO, S. F.; HAYASHI, M. C. P. I. A arte da pesquisa bibliográfica na busca do conhecimento. RDBCI: **Revista Digital de Biblioteconomia e Ciência da Informação**, v. 10, n. 2, p. 53-66, 2012.

PRASAD, E. **Central Banking in a Digital Age: Stock-Taking and Preliminary Thoughts.** Hutchins center on fiscal & monetary policy at brookings, 2018.

RODRIGUES, C. K. da S. (2017). Sistema Bitcoin: uma análise da segurança das transações. ISys - **Brazilian Journal of Information Systems**, 10(3), 5–23, 2017.

SITE INSTITUCIONAL: **Empresa de Pesquisa Energética – EPE.** 2018. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/balanco-energetico-nacional-2018>. Acesso em 17 jun. 2022.

SITE INSTITUCIONAL: BCE - BANCO CENTRAL EUROPEU. **O Banco Central Europeu, o Eurosistema, o Sistema Europeu de Bancos Centrais.** [S. l.]: ECB, 2012, 2019. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/balanco-energetico-nacional-2018>. Acesso em 17 jun. 2022.

SITE INSTITUCIONAL: BBC News. **Mineração de Bitcoin produzindo toneladas de resíduos.** Disponível em: <https://www.bbc.com/news/technology-58572385>. Acesso em 17 jun. 2022.

SITE INSTITUCIONAL: CMC - COINMARKETCAP. **Today's Cryptocurrency Prices by Market Cap**. Disponível em: <https://coinmarketcap.com/pt-br/>. Acesso em 17 jun. 2022.

SITE INSTITUCIONAL: DIGICONOMIST COPYRIGHT. **Bitcoin Energy Consumption Index, 2022**. Disponível em: <https://digiconomist.net/bitcoin-energy-consumption/>. Acesso em 17 jun. 2022.

STOLL, L. KLAASSEN, U. GALLERSDÖRFER. **The Carbon Footprint of Bitcoin**. Joule. Volume 3, Issue 7, Pages 1647-1661, ISSN 2542-4351, 2019.

RUBMANN, M.; LORENZ, M.; GERBERT, P.; WALDNER, M.; JUSTUS, J.; ENGEL, P.; HARNISCH, M. **Industry 4.0: The Future of Productivity and Growth in Manufacturing Industries**. The Boston Consulting Group: BCG, 2015.

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.

SAIEDI, E., BROSTRÖM, A., RUIZ, F. Global drivers of cryptocurrency infrastructure adoption. **Small Business Economics**, v. 57, n. 1, p. 353-406, 2021.

SCHÜPFER, FLORIAM. **Design and Implementation of a Smart Contract**. Master Thesis Communication Systems Group (CSG). Department of Informatics (IFI). University of Zurich Binzmuehlestrasse 14, CH-8050 Zurich, Switzerland, 2017.

SUGIYAMA, M., Akashi, O., Wada, K. et al. Potenciais de eficiência energética para a mitigação das mudanças climáticas globais. **Mudança Climática** 123, 397–411, 2014.

TOFOLI, E. T. **Proposta de um modelo de alinhamento da metodologia seis sigma com o gerenciamento matricial de receitas**. Piracicaba: UNIMEP, 2011. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção). Universidade Metodista de Piracicaba - Campus Santa Bárbara d'Oeste, 2011.

TRUBY J. Decarbonizing Bitcoin: law and policy choices for reducing the energyconsumption of Blockchain technologies and digital currencies. **Energy Res Soc Sci**; v. 44, p. 399 e 410, 2018.

VANNI M. **O Bitcoin já consome mais que a Argentina e há preocupação com seu impacto climático**. CNN, 2021.

VANZO E. S. M. **Estudo sobre o bitcoin e blockchain e suas implicações**. Monografia apresentada como requisito obrigatório à obtenção do título de Bacharel, Curso de Ciências Econômicas, Setor de Ciências Sociais Aplicadas, Universidade Federal do Paraná. Paraná, 2017.

VRIES, A. de. **Bitcoin's growing energy problem**, Joule, v. 2, n. 5, 16 May 2018, p. 801-805.

WAŹTOREK, M., DROŹDŹ, S., KWAPIEŃ, J., MINATI, L., OŚWIĘCIMKA, P., STANUSZEK, M. Multiscale characteristics of the emerging global cryptocurrency market. **Physics Re-ports**, v. 901, p. 1-82, 2021.

WHITTAKER, E. **A history of the theories of aether and electricity**. New York: Humanities Press, 1973.

WOOD, G. Ethereum: A secure decentralised generalised transaction ledger. **Ethereum Project Yellow Paper**, 151:1–32, 2014.

WRIGHT, Aaron e De Filippi, Primavera, **Tecnologia Blockchain Descentralizada e a Ascensão da Lex Cryptographia**. Paris: Yeshiva University; Université Paris II, 2015. p. 5. 2015.

YIN, R. K. **Estudo de caso – planejamento e métodos**. (2. ed.). Porto Alegre: Bookman. 2001.

Recebido: 14/01/2024

Aprovado: 05/08/2025

DOI: 10.3895/rts.v21n65.18022

Como citar:

TARTAROTTI, Lucas; KOZAK, Mateus Mezzomo; LIMA, Vinicius Zanchet de. Criptoedas e os impactos ambientais. **Rev. Technol. Soc.**, Curitiba, v. 21, n. 65, p.354-374, jul./set., 2025. Disponível em:

<https://periodicos.utfpr.edu.br/rts/article/view/18022>

Acesso em: XXX.

Correspondência:

Direito autoral: Este artigo está licenciado sob os termos da Licença Creative Commons-Atribuição 4.0 Internacional.

