

**ÁREA TEMÁTICA 6 FIN: FINANÇAS**

**TÍTULO:**

**COMO AVALIAR CRIPTOATIVOS? UMA INVESTIGAÇÃO EMPÍRICA DOS PRINCIPAIS MODELOS.**

## RESUMO:

Os criptoativos surgem trazendo não só um novo mercado com produtos diferenciados, mas tecnologias disruptivas e uma nova maneira de se pensar em processos, segurança de rede, transações, automações e todas as facilidades que a *blockchain* pode implementar. Um dos principais *puzzles* financeiros da atualidade é entender como esses ativos podem ser precificados e modelar sua avaliação. Este estudo busca desenvolver uma investigação bibliográfica dos principais modelos de apreçamento de criptoativos existentes, desenvolvendo uma minuciosa avaliação de tais metodologias. Foram identificadas cinco principais tipologias: modelos econômicos e baseados em equilíbrio; modelos baseados em fluxo de caixa descontado (DCF); modelos baseados em custo de operação; modelos baseados na lei de redes de Metcalfe; e outros modelos (baseados em índices e de redes sociais). Foi observado que os modelos de avaliação variam muito em relação aos diferentes tipos de criptoativos, onde cada abordagem assume uma posição única sobre um tipo específico de ativo. A maior parte dos modelos possuem premissas subjetivas, com dificuldade de encontrar dados de *input* e fontes atuais para gerar os modelos de maneira fidedigna. A adoção de modelos mistos envolvendo custos operacionais com modelos de rede pode ser uma solução promissora e simplificada assim como modelos envolvendo custos operacionais e DCF. É importante apontar que os métodos complementares como os índices S2F, NVP e abordagens que envolvem mídias sociais tem caminhado para auxiliar de forma positiva na identificação de bolhas e oportunidades de negócios.

## Palavras-chave

Apreçamento de Criptoativos; Mercado de Criptoativos; Modelos de Avaliação; *Valuation* de Criptoativos.

## ABSTRACT:

Cryptoassets arise bringing not only a new market with differentiated products, but disruptive technologies and a new way of thinking about processes, network security, transactions, automation and all easiness that blockchain can implement. One of the main financial puzzles today is to understand how these assets can be priced and modeling their valuation. This study seeks to develop a bibliographic investigation of the main models for pricing existing cryptoassets, developing a deep evaluation of such methodologies. Five main typologies were identified: economic and equilibrium-based models; models based on discounted cash flow (DCF); models based on operational costs; models based on Metcalfe's network law; and other models (based on indexes and social networks). It was observed that the valuation models vary a lot in relation to the different types of crypto, where each approach takes a unique position on a specific type of asset. Most models have subjective assumptions, with difficulty in finding input data and current sources to generate models in a realistic way. The adoption of mixed models involving operational costs with network models can be a promising and simplified solution as well as models involving operational costs and DCF. It is important to point out that complementary methods such as the S2F, NVP and approaches that involve social media have been working to positively assist in the identification of bubbles and business opportunities.

## Keywords

Pricing of Cryptoassets; Cryptoassets Market; Evaluation Models; Valuation of Cryptoassets.

## 1. INTRODUÇÃO

Selecionar o melhor modelo para avaliação de um ativo é um grande desafio em função da enorme quantidade de informações que são recebidas à disposição de um clique. Agora, imagine um novo tipo de ativo, onde muitos ainda debatem em relação a sua natureza financeira, contábil, tecnológica, legal e especulativa. Desde 2009, Nakamoto (2008) apresentou ao mundo com um novo *puzzle* financeiro, o Bitcoin - com a introdução de um novo paradigma para a tecnologia: a *blockchain*.

Tendo em vista a importância da utilização da *blockchain*, inúmeras empresas começaram a utilizar tal tecnologia como parte integrante dos seus negócios. Além da clássica utilização da *blockchain* pelos criptoativos, as *Fintechs* aproveitaram essa inovação e posteriormente empresas em geral, em exemplos como: no campo da energia (Fan *et al.*, 2017); com o uso de modelos baseados na internet das coisas (Veuger, 2018); em cadeias de suprimentos alimentícios (Mao *et al.*, 2018); na indústria da saúde (Liu, 2016); na indústria da arte (Lotti, 2016); entre outras.

Acompanhando o crescente aumento de popularidade do Bitcoin e dos criptoativos, uma questão surge, sem uma resposta ainda clara: como determinar o valor destes criptoativos? Alguns estudos buscaram identificar quais fatores podem impactar no valor destes ativos (Sovbetov, 2018; Aggarwal *et al.*, 2019; Light, 2019; Garcia-Medina, A. e González Farías, 2020; Yen e Cheng, 2021), prever seu valor futuro no mercado (Balcilar *et al.*, 2017; Atsalakis *et al.*, 2019; Dutta, Kumar e Basu, 2020; Li e Dai, 2020; Awoke *et al.*, 2021), identificar sua tipologia contábil-financeira (Raiborn e Sivitanides, 2015; Tan e Low, 2017; Procházka, 2018; Pelucio-Grecco, Santos Neto e Constancio, 2020), mas e quanto ao *valuation* propriamente dito?

Como aponta Ruan (2019), os criptoativos consomem enormes quantidades de recursos na economia, mas não existe uma abordagem geralmente aceita para medir o valor de tais ativos. As tecnologias digitais mudam a uma taxa exponencial, o que significa que tais ativos se valorizam ou desvalorizam muito mais rápido e se torna mais difícil estimar os ganhos futuros devido a mudanças imprevisíveis. Os dados históricos também podem se tornar irrelevantes quando novas tecnologias substituem as antigas. Dessa forma, os modelos de avaliação tradicionais, muitas vezes não funcionam bem para compreender o valor de criptoativos, baseados em tecnologia, que são de rápido crescimento em um ambiente em constante mudança.

Alguns estudos começam a surgir para moldar um campo de pesquisa na área de *valuation* de criptoativos como os de Samani (2017), Hayes (2017), Drofenik (2018), Berengueres (2018), Ling, Liu e Yuan (2019), Goorha (2020), Pagnotta (2021) entre outros que serão abordados neste estudo. O objetivo deste trabalho é justamente de identificar as principais análises desenvolvidas para se avaliar os criptoativos, avaliando seus principais pontos fortes e fracos e elencando alguns dos principais modelos utilizados, por meio de uma profunda pesquisa bibliográfica.

É importante apontar que não é objetivo deste estudo identificar e validar o melhor método de *valuation* para criptoativos, pois para se realmente validar um método é necessário que ele produza um valor sem arbitragem (ou seja, que não seja “o melhor palpite”), que seja prático, claro e reproduzível, bem como aceito amplamente pelos padrões internacionais de contabilidade para notório reconhecimento prático e teórico.

Este estudo estará dividido da seguinte forma: no item 2 será abordado o referencial teórico contendo a divisão das 6 categorias dos principais modelos vistos em revistas científicas e no mercado de criptos; e no item 3 a metodologia utilizada

para desenvolver este estudo bibliográfico; no item 4 as considerações finais e sugestões para pesquisas futuras serão apontadas.

## 2. REFERENCIAL TEÓRICO

Estudos como os de Lahmiri e Bekiros (2018) mostraram que os preços do Bitcoin (principal ativo deste mercado) exibem dinâmicas caóticas e incorporam padrões de correlação não triviais em diferentes escalas temporais e o interessante é que mesmo assim, as criptos possuem a capacidade de se tornar um refúgio nos momentos de pânico do mercado financeiro, em especial na pandemia COVID-19, por meio do uso de dados obtidos através das mídias sociais como visto em Corbet *et al.* (2020). A popularidade do termo de pesquisa “Bitcoin” entre os usuários do Google nos Estados Unidos, por exemplo, tem demonstrado correlação com as altas do Bitcoin e com as transações totais semanais, cujo volume tem chamado atenção e mesmo a quantidade de ativos distintos neste mercado que já passam de 2.000.

Dada a dificuldade em se avaliar a subjetividade de criptoativos que não possuem associações diretas com ativos reais, com por exemplo o bitcoin, este estudo realizou um levantamento dos principais modelos de *valuation* que serão divididos em seções com as seguintes classificações: 2.1 Modelos econômicos e baseados em equilíbrio; 2.2 Modelos baseados em fluxo de caixa descontado (DCF); 2.3 Modelos baseados em custo de operação; 2.4 Modelos baseados na lei de redes de Metcalfe; 2.5 Outros modelos (baseados em índices e de redes sociais).

### 2.1 Modelos Econômicos e Baseados em Equilíbrio

Drofenik (2018) aponta em seu estudo que a maioria dos modelos de *valuation* de criptos derivam no conhecido **modelo econômico** baseado na teoria de velocidade do Token adaptada da teoria da quantidade de moeda de Fisher (1922), como pode ser visto na equação 1.

$$M \times V = P \times Q \quad \text{Eq. (1)}$$

Onde: M é a quantidade média de dinheiro em circulação durante um período ou baseado no estoque de dinheiro;  
V é a velocidade de circulação da moeda;  
P é o nível de preços, juntamente com o dinheiro por unidade (produtos e serviços) na economia;  
Q é a quantidade de *outputs* na economia, ou seja, o produto real da economia.

Assim, segundo a equação de Fisher (1992), ao multiplicar a quantidade de moeda M pela velocidade V com que ela cria renda, é obtida a própria renda nominal PQ. Ao modificar a equação dividindo a renda nominal pela quantidade de moeda, obtêm-se a equação 2 de velocidade de circulação da moeda.

$$V = \frac{PQ}{M} \quad \text{Eq. (2)}$$

A título de exemplo de seu funcionamento, imagine que  $M = \text{USD\$ } 50.000$  e  $PQ$  (ou seja, o fluxo de renda nacional nominal) =  $\text{USD\$ } 1.500.000$ . Isso significa que a moeda circulou 30 vezes no decorrer do ano para criar  $\text{USD\$ } 1.500.000$  de renda. Isso mostra que, para gerar  $\text{USD\$ } 1.500.000$  de renda num ano, não são necessários  $\text{USD\$ } 1.500.000$  em moeda (ou em meios de pagamento), dado que o estoque de dinheiro circula, passando de mão em mão, gerando renda nesse processo.

Com a adaptação da equação 1 para a realidade do mercado de criptoativos, de acordo com Drofenik (2018) as seguintes variáveis são adaptadas:  $M$  se torna o número de unidades de *tokens* existentes;  $V$  é a velocidade em que os *tokens* mudam de mãos, ou seja, o número de vezes em que mudam de proprietário;  $P$  é o preço de uma unidade de  $Q$  em termos de *token*;  $Q$  é a quantidade de recursos digitais provisionados. Desta forma, com o auxílio de Samani (2017) é possível modificar a equação 2 para se chegar ao valor médio de uma rede de criptoativo por meio da equação 3.

$$\text{Valor Médio da Rede} = \frac{\text{Total de Volume Transacionado}}{\text{Velocidade}} \quad \text{Eq. (3)}$$

Ainda segundo Samani (2017), a velocidade pode ser medida em qualquer período, mas o usual seria em caráter anual. Já o total de volume transacionado considera não apenas o volume das *exchanges*, mas incluiria o uso na plataforma e a negociação no mercado de balcão.

Diversos modelos foram adaptados da teoria de Fisher (1992) e existem outros exemplos menos conhecidos, mas a questão principal nesse tipo de modelo econômico é a dificuldade em se determinar a oferta da moeda ( $M$ ), pois as criptos podem ser acumuladas, “queimadas” e, embora o tempo médio do bloco do Bitcoin seja de 10 minutos, na realidade a variação no tempo de mineração de cada bloco é comprovadamente alta. Portanto, a taxa de oferta nunca é precisa, apenas uma medida de tendência central.

Já em relação aos **modelos de equilíbrio**, como visto em Vereda e Cavalanti (2010), tais modelos se difundiram entre instituições de pesquisa e bancos centrais ao redor do mundo enquanto importante instrumento na análise de questões macroeconômicas. Em linhas gerais, nesses modelos se considera o lado da oferta e demanda para buscar um entendimento do valor de equilíbrio que melhor modela o preço dentro do cenário estabelecido.

Ling, Liu e Yuan (2019) desenvolveram um modelo baseado no equilíbrio de mercado, porém, com foco nos mineradores de criptos e utilizando o modelo de Cox e Ross (1976). Segundo os autores, o custo da mineração de Bitcoin é o custo de oportunidade de obtenção de Bitcoin e, desta maneira, considerado como o valor intrínseco aproximado do Bitcoin. Em seu estudo os autores consideram a máquina de mineração como um derivado financeiro, cujo preço é a diferença após o desconto entre o valor esperado do Bitcoin extraído e o custo da eletricidade durante a vida útil da máquina (neste modelo de equilíbrio dois pontos são fundamentais, os custos com eletricidade e os custos com a máquina de mineração).

Goorha (2020) elaborou um modelo analítico baseado em equilíbrio, com foco na quantidade de oferta dos mineradores, na demanda baseada nas questões regulatórias e na demanda do criptoativo por parte dos consumidores. Em seu estudo aponta que o esforço dos mineradores claramente é afetado pela demanda de criptos. O modelo considera expressamente o efeito das elasticidades relativas em um

caminho dinâmico para ajustes de preço e quantidade em um mercado. O autor introduz a ideia de ciclos econômicos no modelo de equilíbrio e verifica que o preço de mercado justo do Bitcoin está posicionado aproximadamente no meio do caminho entre a duração de cada ciclo do Bitcoin.

Pagnotta (2021) elaborou um modelo de equilíbrio baseado no tipo de protocolo de segurança e na política monetária utilizado por cada criptoativo. O autor analisa uma economia na qual os consumidores mantêm Bitcoins intrinsecamente por seu valor transacional e / ou especulativo e avaliam o risco de um ataque ao sistema que pode comprometer a capacidade de transferir Bitcoins. O modelo reflete a probabilidade de um ataque a rede, impulsionado pelo equilíbrio do poder de computação entre o invasor e os mineradores honestos baseado no modelo de prova de trabalho (PoW). Como conclusão, se avaliou que um equilíbrio exigiria que os compradores fossem indiferentes quanto à compra de Bitcoins e isso poderia ser alcançado com estratégias mistas se aqueles que compram e pagam taxas de transação, redistribuíssem recursos dos usuários para os mineradores.

Os modelos baseados em equilíbrio são os mais complexos e demandam conhecimento específico tanto em macro como em microeconomia. Assim como apontam Vereda e Cavalcanti (2010), é importante entender que ainda que técnicas de estimação usadas em trabalhos permitam a construção de modelos de equilíbrio com bom ajuste aos dados e boa capacidade preditiva, é importante tomar cuidado com horizontes de previsão relativamente curtos (o que costuma ser a maioria do horizonte de previsão no mercado de criptos), caso o foco da análise seja a maximização da capacidade de analisar certas variáveis no curto prazo, tais modelos podem não ser os mais adequados.

## 2.2 Modelos Baseados em Fluxo de Caixa

O modelo INET foi desenvolvido por Burniske (2017), baseado em um criptoativo fictício de mesmo nome que o modelo, pioneiro ao desenvolver a ideia do modelo que se baseia no clássico fluxo de caixa descontado (DCF). Os dados desenvolvidos para projeção estão disponíveis em: < <https://docs.google.com/spreadsheets/d/1ng4vv3TUE0DoB12diyc8nRfZuAN13k3aRR30gmuKM2Y/edit?usp=sharing>>.

O modelo é baseado em quatro blocos distintos, sendo: o bloco A representado pela quantidade de oferta da cripto no mercado; o bloco B baseado na teoria econômica de Fisher (1922) para avaliar a velocidade da moeda; o bloco C se refere a quantificação do uso do criptoativo no mercado (que participa do cálculo do bloco B); finalmente o bloco D realiza o desconto dos valores de utilidade no futuro e seguindo a ideia do método de fluxo de caixa, traz esses valores de volta ao presente para que se possa estabelecer o valor do ativo.

Evans (2018) aponta que o modelo INET é controverso, já que os criptoativos não são destinados a serem armazenados como reserva de valor e, por isso, não se espera por um valor maior no futuro, provavelmente a grande maioria sofre uma diminuição no valor e na conveniência devido à alta velocidade, que é uma consequência da comunidade criptográfica não *holdando* criptos, porque não há motivos válidos.

O referido autor desenvolveu um modelo similar ao INET, conhecido como VOLT, que busca aprimorar alguns pontos deste primeiro modelo. Evans (2018) aponta que as economias das *blockchains* são (atualmente) altamente friccionais. Esses atritos podem ser na forma de custos, taxas de transação, custos cognitivos,

iliquidez, inconveniência e outros. O autor acredita ser importante modelar esses atritos, projetar seu comportamento ao longo do tempo e rastrear seus efeitos na demanda por diferentes ativos. O modelo VOLT encontra-se disponível em: < <https://docs.google.com/spreadsheets/d/1a1SzF2H1Y3twTvqAlGAwm8Q2jG-CPnP1Q-7qopN-4LE/edit#gid=428912142>>.

O modelo VOLT define o preço do criptoativo para cada ano de uma maneira que se torna dependente de  $Y$ , que é o “PIB” da economia calculado pela determinação do tamanho do mercado futuro. Antos e McCreanor (2018), são autores de um modelo de avaliação posterior com base no modelo Black e Scholes, dizem que todas as entradas de Evans (2018) e a estrutura central do modelo ignoram principalmente qualquer distribuição de probabilidade de outro valor monetário autêntico possível dentro a estimativa de um criptoativo.

De forma geral, como observa Bemelmans (2018), os modelos baseados no método DCF para criptoativos ainda possuem poucos modelos de referência com validação prática e teórica (acadêmica), onde a qualidade e disponibilidade dos dados que alimentam esses modelos não são garantidos e apesar do ajuste teórico e das possibilidades de calcular certos fatores, é extremamente difícil prever o retorno dos criptoativos baseados nos modelos de DCF devido à alta volatilidade. Othman, Abdullah e Haron (2019) complementam apontando a impossibilidade do criptoativo gerar fluxos de caixa.

### 2.3 Modelos Baseados em Custos Operacionais

Hayes (2017) desenvolveu em seu estudo uma forma de primeiro entender a formação de valor de uma cripto para posteriormente avaliar um modelo de custo de produção. Utilizando dados de uma amostra de 66 criptos encontrou três pontos que mais influenciavam seu valor: o nível de competição dos mineradores na rede; a taxa de produção e a dificuldade do algoritmo usado para mineração. O autor utilizou para o seu modelo o exemplo do Bitcoin.

Na época do estudo, a taxa de criação de Bitcoin era de aproximadamente 0,0003 BTC/Dia para cada 1 TeraHash/segundo (o *Hashing Power* na época era de 1000GH/s). Dessa forma, a equação que expressa a quantidade esperada de Bitcoins a serem produzidos em um dia é definido por meio da equação 4.

$$BTC/dia = \left( \frac{\beta \rho \cdot sec_{hr}}{\delta \cdot 2^{32}} \right) hr_{dia}$$

Eq. (4)

Onde:  $\beta$  é a recompensa por bloco (anteriormente de 25 BTC por bloco);  
 $\rho$  é o *Hashing Power* do minerador (na época foi estimado com 1TH/s);  
 $\delta$  é a dificuldade (expressa em GH/s que na época foi de quase 167 bilhões);  
 $sec_{hr}$  é a quantidade de segundos em uma hora (3600s);  
 $hr_{dia}$  é o número de horas em um dia (24h);  
 $2^{32}$  é a probabilidade normalizada de um único *hash* resolver um bloco – que é fixa por se tratar de um atributo do algoritmo de mineração.

Por uma questão de simplificação de base diária dos dados, o autor condensou as variáveis de tempo resumidos em  $\theta$  que é igual a  $24h \times 3600s / 2^{32} = 0,00002012$  e para formar a equação final que busca avaliar o preço do Bitcoin baseado no custo,

o autor acrescenta variáveis que envolvem gastos com eletricidade e o consumo de energia pelo *hardware* empregado pelo minerador, assim como pode ser notado na equação 5.

$$P_{custo} = \frac{(\rho/1000 \times \$/kw h \times W \text{ por } GH/s \times h_{dia})}{BTC/dia}$$

Eq. (5)

Onde:  $\$/kw h$  é o preço do *kilowatt* por hora (depende da localidade);  
 $W \text{ por } GH/s$  é o consumo eficiente do *hardware* do minerador, que na época em média era de 0,40W por GH/s.

Posteriormente Hayes (2019) desenvolveu um estudo para testar seu modelo em relação ao preço do Bitcoin entre 2013 e 2018 com análises utilizando regressão verificando que o modelo explica aproximadamente 80% do preço observado no mercado e testes econométricos de robustez na amostra.

Outro modelo conhecido baseado em custo de operação foi desenvolvido por Berengueres (2018), que elaborou um método de *valuation* de criptos baseado no valor presente líquido da soma dos fluxos das operações de mineração. O método é conhecido como NCV (*Net Coin Value*) e consiste em somar os fluxos produzidos pela operação de mineração menos as despesas operacionais valorada no preço da moeda no dia da compra do equipamento - equação.6.

$$NCV = \sum_{i=1}^n C_i$$

Eq. (6)

Onde:  $C_i$  é a quantidade de ativos minerados no final de um dia (24h) menos o custo elétrico e  $n$  é o último dia da mineração. A variável  $C_i$  é definida na equação 7.

$$C_i = (1 - k) \times \frac{M_0}{(1 + r)^i} - \frac{e}{P_0}$$

Eq. (7)

Onde:  $k$  representa o conjunto de taxas recebidas pelos mineradores (*fees* - que podem ser do *pool*, do *software* ou até por questões de administração ou *hosting*);  
 $M_0$  é a quantidade de criptos minerada na data 0;  
 $r$  é o crescimento da capacidade de *hashing power* de toda a rede;  
 $e$  é a conta diária de eletricidade diária dividida pelo preço de compra da moeda a ser minerada no dia da compra do equipamento.

Para avaliar ou não a viabilidade de investimento na atividade de mineração, de acordo com Berengueres (2018), o  $NCV > \text{Custo de Mineração}/P_0$  e para avaliar o período em que seria possível dobrar os investimentos no maquinário de mineração. Este seria o tempo em que o investimento inicial seria dobrado, ou seja,  $NCV > 2 \times (\text{Custo de Mineração}/P_0)$ .

Küfeoglu e Özkuran (2019) desenvolveram um modelo de custo operacional que se concentra apenas na demanda de potência computacional durante o processo

de prova de trabalho (PoW), em vez de estimar toda a intensidade de energia usada na mineração. O intervalo de tempo para a análise foi de 2009 - 2018. Como principais resultados os autores identificaram que: o pico histórico de consumo de energia da mineração de Bitcoin ocorreu durante dezembro de 2017; durante junho de 2018, o consumo de energia da mineração de Bitcoin de recálculo de dificuldade foi entre 15,47 e 50,24 TWh por ano; e os autores também concluíram que seria quase impossível fazer uma estimativa precisa do consumo futuro de energia da mineração de Bitcoin pois os preços afetam o consumo de energia e pela própria eficiência do *hardware* (sendo difícil prever a eficiência futura).

Lasi e Saul (2020) realizaram um estudo para elaborar um modelo baseado na técnica de modelagem conhecida como dinâmica de sistema (Forrester, 1961; Sterman, 2010), onde a evolução da taxa de *hash* da rede se mostra explicável, em grande medida, com uma hipótese de mercado eficiente simples, onde mineradores de Bitcoin mineram por conta do lucro esperado que eles fazem com a mineração - líquido do custo da eletricidade. A dinâmica do sistema pode modelar os aspectos técnicos e sociais dos sistemas complexos estabelecidos com a adoção do Bitcoin e outras criptomoedas. Segundo os autores, apenas Yamaguchi e Yamaguchi (2016; 2018) aplicaram este modelo para criptos, sendo um modelo pouco estudado até o momento. Foi criado por meio do sistema Vensim (disponível em: [github.com/david-elasi/Bitcoin](https://github.com/david-elasi/Bitcoin)). Os resultados apresentaram boa aderência ao preço do Bitcoin.

Como pode ser notado, os modelos baseados em custos de operações são mais direcionados para o usuário interessado na mineração do criptoativo propriamente dito, com o intuito de se avaliar questões técnicas que se atrelam a viabilidade ou não de se fazer um bom negócio considerando os fatores de atratividade em relação ao custo-benefício. Tais modelos podem, por exemplo, ter uma dinâmica conjunta com os modelos de equilíbrio no lado da oferta (se valer a pena para o minerador operar em determinada moeda, pode gerar mais ou menos fluxos de moedas na rede).

## 2.4 Modelos baseados na lei de Redes de Metcalfe

Como apontado em Peterson (2017), a economia das redes é um termo recente, utilizado no contexto da chamada “sociedade da informação”, com a ideia de que os produtos ou serviços são criados e um valor é adicionado em função das redes de operação – em larga escala ou escala global.

Como visto em Metcalfe (2013), a lei de redes de Metcalfe surgiu por volta da década de 80 (definida por Shapiro, Varian e Becker 1999), sendo baseada na tautologia matemática que descreve a conectividade entre “n” usuários e a medida em que mais pessoas entram em uma rede mais elas agregam valor à rede de forma não linear – sendo o valor da rede proporcional ao quadrado do número de usuários (por exemplo, se existem 6 pessoas com telefones = 5 + 4 + 3 + 2 + 1 = 15 conexões).

Assim, segundo a lei de Metcalfe o valor da rede de tamanho n é composta pela soma de todos os pares possíveis entre os usuários, devendo ser igualada ao total de custos da rede para descobrir o *breakeven* de “n” em que todos os custos “c” serão recuperados, considerando um fator A de proporcionalidade - assim como descrito na equação 8.

$$nxc = A x \frac{n(n-1)}{2}$$

Eq. (8)

Posteriormente, Reed (2001) em seu estudo aponta que as redes sociais podem ter um crescimento exponencial em relação ao tamanho da rede. A razão para isso é que o número de possíveis subgrupos de participantes da rede seria em sua concepção na ordem de  $2^n - n - 1$  (o que poderia gerar um crescimento bem maior do que apenas pelo número de pares de conexões).

Briscoe, Odlyzko e Tilly (2006) apontam que tanto a lei de Metcalfe quanto a hipótese de Reed (2001) possuem uma falha, ao serem muito otimistas com relação ao crescimento da rede. Tal crença é baseada na ideia dos rendimentos decrescentes, ou seja, é esperado que a taxa de crescimento da rede deva diminuir à medida que os membros subsequentes ingressam, porque os *links* mais valiosos serão formados primeiro. Sendo assim, a reformulação do crescimento seria em escala logarítmica  $n \times \log(n)$ .

Apesar de críticas, autores como Alabi (2017, 2020) sustentam a hipótese de que o mercado de cripto segue a lei de Metcalfe e estudos de *valuation* baseados nessa lógica, como o Peterson (2017), por exemplo, foi desenvolvido tomando como base a avaliação do Bitcoin. onde mostrou uma aderência de até 80% em relação ao período de 2011 – 2017. Neste estudo, a quantidade de Bitcoins criados seria representada na equação 9.

$$b_t = b_{t-1} \times \ln\left(\frac{B}{b_{t-1}}\right)$$

Eq. (9)

Onde: B é a quantidade total de Bitcoins limitado em 21.000.000;  
 $b_{t-1}$  é a quantidade já criada no dia anterior.

Ao adaptar a fórmula da criação de uma cripto com a equação de Metcalfe, Peterson (2017) obteve uma fórmula final para se avaliar o valor justo unitário de um Bitcoin que é definido por meio da equação 10.

$$V = A \times \left[ \frac{n(n-1)}{2} \times \frac{1}{b_t} \right]$$

Eq. (10)

Onde: V é o valor em dólares do Bitcoin;  
 A é a proporcionalidade em dólar por transações;  
 $b_t$  como visto anteriormente é a quantidade de Bitcoin criada no tempo t;  
 n é o número de usuários na rede.

Como visto nos exemplos dos modelos citados, os métodos de *valuation* baseados na lei de Metcalfe tem se mostrado eficaz na previsão do preço de criptoativos nos últimos anos, pois um dos principais fatores para impulsionar esses ativos é a adoção por novos usuários. No entanto, a estrutura de avaliação não pode depender apenas disso à medida que o mercado se desenvolve, e embora o modelo leve em consideração o volume de informação aportado por cada novo usuário ou nó que entra na rede, a contribuição individual não é contabilizada. Um investidor institucional ou uma personalidade de influência, por exemplo, pode causar um grande impacto no mercado e isso não é levado em consideração.

## 2.5 Outros Modelos Relacionados

O **índice valor de rede por transação** foi desenvolvido e popularizado por Woo (2017) e não é utilizado para se desenvolver um modelo *valuation* propriamente dito, mas como análise complementar para poder identificar momentos de valores especulativos, bolhas ou consolidação de preços. É baseado no indicador P/E do mercado de ações e definido segundo a equação 11.

$$NVT = \frac{\text{Valor de Mercado da Rede do Ativo}}{\text{Volume total de Transações Diárias}}$$

Eq. (11)

Segundo o autor, para o caso de os valores serem identificados como especulativos, os valores do índice NVT ficariam acima do valor de mercado da rede. O Gráfico completo e atualizado pode ser encontrado por meio do link: <<http://charts.woobull.com/Bitcoin-nvt-ratio/>>.

Uma outra utilidade para o índice NVT é a detecção entre a diferença da consolidação de preços em uma subida brusca ou de ser um indício de ser uma “bolha”. Se a taxa de NVT permanecer dentro de uma faixa normal (entre 40 – 90), a subida abrupta não indicaria uma bolha, e se o NVT subir acima da faixa normal, é um sinal de que a atividade transacional não está se sustentando e pode-se esperar uma correção de preço.

O **indicador *stock-to-flow* (S2F)** surgiu em 2019 por meio de um analista com o pseudônimo de PlanB. Esta ideia possui bases nos modelos de avaliação de mercadorias físicas escassas, tal como o ouro e a prata. De acordo com PlanB (2019), o Bitcoin possui “custos imprevisíveis”, porque custa muita eletricidade para produzir novos Bitcoins – e isso varia de minerador para minerador. A produção de Bitcoins não pode ser facilmente forjada, diferente da tradicional moeda fiduciária e das altcoins que não têm limite de oferta, não têm prova de trabalho (PoW), têm baixo *hashrate* ou têm um pequeno grupo de pessoas ou empresas que podem facilmente influenciar a oferta etc. Dessa forma, o índice *stock-to-flow* é descrito por meio da equação 12.

$$S2F = \frac{\text{Stock (Reservas atuais do Ativo)}}{\text{Flow (Quantidade produzida por ano)}}$$

Eq. (12)

Logo, de maneira equivalente o S2F seria igual a 1 / taxa de crescimento da oferta. Assim, o autor desenvolve a partir deste indicador uma modelagem de *valuation* para o BTC que chega a 95% de representatividade com dados de 2009 – 2020, representado por meio da equação 13.

$$\text{Preço do BTC Baseado no S2F} = 0,4xS2F^3$$

Eq. (13)

Autores como Hansen (2020) apontam que o S2F se trata de uma pista falsa e Goorha (2020) entende que à medida que o estoque de BTC se aproxima de seu valor fixo de longo prazo (nesse caso de 21 milhões) e seu fluxo por unidade de tempo se aproxima de 0, a relação *stock-to-flow* aumenta muito além de qualquer outra mercadoria que normalmente observa-se no mercado de *commodities* como sendo

escassa. É possível verificar o modelo no link:< <https://app.paradigma.education/login>>.

Os **modelos baseados em rede sociais, google trends e Wikipedia** em chamado a atenção do mercado, onde alguns estudos merecem atenção: Li e Wang (2017); Cretarola e Figà-Talamanca (2019); Figà-Talamanca e Patacca, (2019); Fang *et al.* (2021).

Li e Wang (2017) buscaram desenvolver um modelo em seu estudo com o intuito de entender o valor das criptos utilizando fatores tecnológicos e econômicos. Dentre os fatores tecnológicos foram considerados: tecnologia de mineração; dificuldade de mineração; reconhecimento e adoção pública (baseados em mídias sociais). Já os fatores econômicos contemplaram: indicadores internacionais (estoque de moeda, inflação, taxa de juros e consumo interno); a economia de uma criptoativo, que foi o Bitcoin como exemplo (estoque e volume de transações); atividade de mercado (volatilidade de preço).

Na pesquisa de Figà-Talamanca e Patacca (2019), os autores mediram a atenção do mercado aplicando filtros nos dados de séries temporais para o volume de negociação ou nos dados do Google Search Volume Index (SVI). Foram analisados os impactos relativos dessas medidas na média ou na variância dos retornos do Bitcoin, ajustando os modelos econométricos não lineares aos dados históricos de 2012 - 2017. Os resultados obtidos confirmam que a atenção do mercado tem impacto nos retornos do Bitcoin.

Cretarola e Figà-Talamanca (2019), apresentam um modelo estocástico de tempo contínuo para a dinâmica do Bitcoin, dependendo do fator de atenção do mercado baseado nas expectativas de bolhas especulativas. Os autores trabalharam com a definição de bolha segundo a teoria das bolhas matemáticas. O modelo é baseado em dados históricos dos preços do Bitcoin, considerando o volume total de negociação ou o Google Search Volume Index, como *proxy* para a medida de atenção. Os resultados obtidos evidenciam um efeito bolha nos primeiros anos do Bitcoin, ou seja, 2012-2013, bem como na recente corrida de 2017.

Fang *et al.* (2021), utilizou a linguagem de programação Python para extrair um conjunto de dados de Tweets produzidos em cerca de um mês, obteve um conjunto de 11.674 comentários. O conjunto de dados analisado por ferramentas de *big data* e *data mining*, produziram uma visualização das palavras em nuvem para o conjunto Tweets gerados. Em seguida, essas ferramentas foram utilizadas para analisar a similaridade de palavras e o significado subjacente dos comentários em diferentes agrupamentos. Os resultados do agrupamento mostram 85% de comentários positivos e 15% negativos para Tweets relacionados à segurança no investimento em Bitcoins. Do estudo pode-se inferir que os resultados representam o ambiente e a satisfação geral do usuário, geralmente otimistas.

### **3. METODOLOGIA**

As bases utilizadas para a pesquisa foram: Scientific Electronic Library Online (SciELO), Web of Science (WoS), Scopus e Google Scholar Metrics. O objetivo não foi de desenvolver um estudo bibliométrico e sim bibliográfico, porém, um ponto interessante que pode ser observado é uma carência de estudos em relação ao tema já que as referências encontradas são de 2015 em diante (em sua maioria).

As palavras utilizadas na busca foram: Crypto Valuation; Valuation Models of Cryptocurrencies; Crypto Valuation; Bitcoin Valuation; Bitcoin Value; Bitcoin Price Formation; Cryptocurrencies Price Formation; Model of Cryptocurrencies; Empirical

Study Cryptocurrency Value Formation; Production Model Cryptocurrency Value Formation; Bitcoin Price Prediction; Bitcoin Model for Evaluation; Bitcoin Price Fundamental Value; Bitcoin Price Forecasting; Cryptocurrency Valuation Methods; Cryptocurrency Value Formation; Cryptocurrency Pricing Model; Cryptocurrency Price Prediction.

Após a pesquisa foi necessário separar os trabalhos que falavam sobre volatilidade e modelos de previsão de preço de mercado (baseado no uso de dados passados), bem como estudos puramente teóricos e modelos para se avaliar apenas a vantagem ou não de se minerar criptos. O objetivo foi de entender quais os modelos são mais utilizados para se fazer avaliação baseado no viés fundamentalista e não técnico/gráfico. Dessa forma, os vários tipos de modelos começaram a tomar forma e foram divididos por meio das 6 classificações propostas neste artigo: (i) modelos de *valuation* por valor de mercado; (ii) modelos econômicos e baseados em equilíbrio; (iii) modelos baseados em fluxo de caixa descontado; (iv) modelos baseados em custo de operação; (v) modelos baseados na lei de redes de Metcalfe; (vi) Outros modelos (baseados em índices e de redes sociais).

Novamente, foram realizadas novas buscas nas mesmas bases de dados citadas anteriormente, para aprofundamento nestes modelos encontrados na primeira fase de pesquisa. As seguintes palavras foram utilizadas para o campo de buscas: Bitcoin Mining Equilibrium Model; Bitcoin Price Formation Economics; Velocity Money Supply of Bitcoin; DCF Bitcoin model; Bitcoin model based in discounted cash flow; Cash flow models and cryptocurrencies; Operational Costs and Bitcoin Price; Operating Cost Uncertainty Mining Project Valuation; Economic Cost Bitcoin Mining; Metcalfe's law Bitcoin prices; Metcalfe's law cryptocurrencies market; Metcalfe's law cryptocurrency value formation; Metcalfe's law blockchain networks; Bitcoin value and social media; Social Media and Bitcoin price.

#### 4. CONCLUSÃO

Quando surge o interesse pelo mercado de criptoativos, o primeiro passo é entender melhor a respeito deste novo ambiente. Optar por escolher um ao invés de outro ou mesmo diversificar suas opções não deve ser ao acaso ou baseado em modismos. É importante entender a respeito da tecnologia das plataformas, da utilidade, segurança, do *whitepaper* do projeto que o criptoativo de baseia, bem como o grupo por trás do projeto, as questões regulatórias do ambiente e verificar modelos de avaliação que façam sentido para desenvolver o apreçamento o ativo.

De maneira geral, como notado neste estudo, os modelos de avaliação variam muito em relação aos diferentes tipos de criptoativos e definir claramente estes ativos, é a chave para uma boa avaliação. Cada abordagem assume uma posição única sobre um tipo específico de ativo ou tem disposições sistemáticas para diferentes tipos. Fazendo um resumo dos principais achados:

- a) O modelo econômico baseado na teoria de velocidade da moeda de Fisher (1922) é construído para se avaliar moedas, porém, até que ponto os criptoativos podem ter estas características comparativas? Este modelo é promissor com sua abordagem de como os criptoativos são vistos, mas ainda há pouca pesquisa disponível que sugere maneiras confiáveis de medir os componentes da Equação de Troca no caso dos criptoativos;
- b) Os modelos de equilíbrio, como dito anteriormente, são os mais complexos e demandam conhecimento específico tanto em macro como em microeconomia,

- o que gera um grande custo para a simples replicação e gera um comprometimento na validação de método de avaliação propriamente dito – estes modelos têm foco no longo prazo;
- c) Modelos baseado na metodologia DCF são promissores, porém possuem uma problemática de *input* de dados, já que não existe até o momento fontes de dados confiáveis e disponíveis que possam alimentar os modelos de maneira menos subjetiva e com dados atualizados para gerar uma previsão confiável;
  - d) Os modelos baseados em custos operacionais são mais direcionados para o usuário interessado na mineração do criptoativo com o intuito de se avaliar questões técnicas de viabilidade considerando os fatores de custo-benefício, onde podem ter uma dinâmica conjunta com os modelos de equilíbrio no lado da oferta e possui potencial para compor métodos baseados no DCF;
  - e) Modelos baseados na lei de Metcalfe tem como principal foco a rede, e não o criptoativo em si, adotando uma abordagem que é mais útil para os melhores criptoativos de plataforma e utilitários, deixando de fora as *altcoins* que são importantes. Ele avalia uma rede com eficiência e afirma ser um importante indicador de bolhas no mercado de criptografia;
  - f) Finalmente, dentre os outros modelos, destacam-se os indicadores auxiliares S2F e NPV que tem auxiliado de maneira complementar muitos modelos de avaliação e nota-se que os modelos baseados em redes sociais ainda são muito subjetivos, porém, com potencial para auxiliar de maneira conjunta modelos baseados em custos operacionais, na lei de Metcalfe ou mesmo nos baseados em DCF ao se pensar em quantificar estas abordagens.

Como sugestão para futuras pesquisas, seria interessante colocar em teste os modelos citados neste estudo para que se possa primeiro avaliar a viabilidade de replicação e efetividade da análise, como apontado pelos autores e inclusive avaliar o desenvolvimento de uma nova modelagem mista, que seja aderente aos aspectos operacionais, de contágio de rede e baseado em mídias sociais.

## 5. REFERÊNCIAS

AGGARWAL, G., PATEL, V., VARSHNEY, G., e OOSTMAN, K. Understanding the social factors affecting the cryptocurrency market. **arXiv preprint arXiv:1901.06245**, 2019.

ALABI, K. Digital blockchain networks appear to be following Metcalfe's Law. **Electronic Commerce Research and Applications**, v. 24, p. 23-29, 2017.

\_\_\_\_\_. A 2020 perspective on "Digital blockchain networks appear to be following Metcalfe's Law". **Electronic Commerce Research and Applications**, v. 40, p. 100939, 2020.

ATSALAKIS, G. S., ATSALAKI, I. G., PASIOURAS, F., e ZOPOUNIDIS, C. Bitcoin price forecasting with neuro-fuzzy techniques. **European Journal of Operational Research**, v. 276, n. 2, p. 770-780, 2019.

AWOKE, T., ROUT, M., MOHANTY, L., e SATAPATHY, S. C. Bitcoin price prediction and analysis using deep learning models. In: **Communication Software and Networks**. Springer, Singapore, p. 631-640, 2021.

BALCILAR, M., BOURI, E., GUPTA, R., e ROUBAUD, D. Can volume predict Bitcoin returns and volatility? A quantiles-based approach. **Economic Modelling**, v. 64, p. 74-81, 2017.

BEMELMANS, T. G. **Analysis of cryptocurrencies price formation: what can the formation of cryptocurrency explain?** Master's thesis (Msc. In Business Administration). University of Twente, Netherlands, 2018.

BERENQUERES, J. Valuation of crypto-currency mining operations. **arXiv preprint arXiv:1802.01176**, 2018.

- BRISCOE, B., ODLYZKO, A., e TILLY, B. Metcalfe's law is wrong-communications networks increase in value as they add members-but by how much? **IEEE Spectrum**, v. 43, n. 7, p. 34-39, 2006.
- BURNISKE, C. **Cryptoasset Valuations**. URL: <<https://medium.com/cburniske/crypto-asset-valuations-ac83479ffca7/>>, 2017. (Acesso em 20/02/2011).
- CORBET, S., HOU, Y. G., HU, Y., LARKIN, C., e OXLEY, L. Any port in a storm: Cryptocurrency safe-havens during the COVID-19 pandemic. **Economics Letters**, v. 194, p. 109377, 2020.
- COX, J. C. e ROSS, S. A. The valuation of options for alternative stochastic processes. **Journal of financial economics**, v. 3, n. 1-2, p. 145-166, 1976.
- CRETAROLA, A., e FIGÀ-TALAMANCA, G. Detecting bubbles in Bitcoin price dynamics via market exuberance. **Annals of Operations Research**, p. 1-21, 2019.
- DROFENIK, J. **Approaches to Crypto Assets Valuation**. Master's thesis (Doctorate in Economics), University of Ljubljana, Slovenia, 2018.
- DUTTA, A., KUMAR, S., e BASU, M. A gated recurrent unit approach to bitcoin price prediction. **Journal of Risk and Financial Management**, v. 13, n. 2, p. 23, 2020.
- EVANS, A. **On Value, Velocity and Monetary Theory**. URL: <<https://medium.com/blockchannel/on-value-velocity-and-monetary-theory-a-new-approach-to-cryptoasset-valuations-32c9b22e3b6f>>, 2018. (Acesso em 22/02/2021).
- FAN, T., HE, Q., NIE, E., e CHEN, S. A study of pricing and trading model of Blockchain e Big data-based Energy-Internet electricity. In: **IOP Conference Series: Earth and Environmental Science**. IOP Publishing, p. 052083, 2018.
- FANG, J., CHIU, D. K., e HO, K. K. Exploring Cryptocurrency Sentiments With Clustering Text Mining on Social Media. In: **Intelligent Analytics With Advanced Multi-Industry Applications**. IGI Global, p. 157-171, 2021.
- FIGÀ-TALAMANCA, G., e PATACCA, M. Does market attention affect Bitcoin returns and volatility? **Decisions in Economics and Finance**, v. 42, n. 1, p. 135-155, 2019.
- FISHER, I. **The Purchasing Power of Money, its Determination and Relation to Credit, Interest and Crises**. New York: Macmillan, 1922.
- FORRESTER, J. W. **Industrial Dynamics**. Cambridge: MIT Press, 1961.
- GARCIA-MEDINA, A., e GONZÁLEZ FARIÁS, G. Transfer entropy as a variable selection methodology of cryptocurrencies in the framework of a high dimensional predictive model. **PloS one**, v. 15, n. 1, p. e0227269, 2020.
- GOORHA, P. Bitcoinomics 101: principles of the Bitcoin market. **Economics Bulletin**, v. 40, n. 1, p. 163-176, 2020.
- HANSEN, K. Book Review: "The Bitcoin Standard: The Decentralized Alternative to Central Banking". **Quarterly Journal of Austrian Economics**, v. 22, n. 4, p. 634-641, 2020.
- HAYES, A. S. Cryptocurrency value formation: An empirical study leading to a cost of production model for valuing bitcoin. **Telematics and Informatics**, v. 34, n. 7, p. 1308-1321, 2017.
- \_\_\_\_\_. Bitcoin price and its marginal cost of production: support for a fundamental value. **Applied Economics Letters**, v. 26, n. 7, p. 554-560, 2019.
- KÜFEOGLU, S., e ÖZKURAN, M. Energy Consumption of Bitcoin Mining. **Cambridge Working Papers in Economics**, n.1948, 2019
- LAHMIRI, S. e BEKIROU, S. Chaos, randomness and multi-fractality in Bitcoin market. **Chaos, solitons e fractals**, v. 106, p. 28-34, 2018.
- LASI, D. e SAUL, L. A System Dynamics Model of Bitcoin: Mining as an Efficient Market and the Possibility of " Peak Hash". **arXiv preprint arXiv:2004.09212**, 2020.
- LI, X. e WANG, C. A. The technology and economic determinants of cryptocurrency exchange rates: The case of Bitcoin. **Decision Support Systems**, v. 95, n. 1, p. 49-60, 2017.
- LI, Y., e DAI, W. Bitcoin price forecasting method based on CNN-LSTM hybrid neural network model. **The Journal of Engineering**, v. 2020, n. 13, p. 344-347, 2020.

- LIGHT, A. **Bitcoin price formation: an empirical investigation**. Master's Thesis (Doctorate in Economics), Colorado State University, EUA, 2019
- LING, Z., LIU, C., e YUAN, E. A Bitcoin Valuation Model Assuming Equilibrium of Miners' Market--Based On Derivative Pricing Theory. **Bitblock**, (1<sup>st</sup> January): 1-19, 2019
- LIU, P. T. S.. Medical record system using blockchain, big data and tokenization. In: **International conference on information and communications security**. Springer, Cham, p. 254-261, 2016.
- LOTTI, L. Contemporary art, capitalization and the blockchain: On the autonomy and automation of art's value. **Finance and Society**, v. 2, n. 2, p. 96-110, 2016.
- MAO, D., WANG, F., HAO, Z., e LI, H. Credit evaluation system based on blockchain for multiple stakeholders in the food supply chain. **International journal of environmental research and public health**, v. 15, n. 8, p. 1627, 2018.
- METCALFE, B. Metcalfe's Law after 40 Years of Ethernet. **IEEE Annals of the History of Computing**, v. 46, n. 12, p. 26-31, 2013.
- Othman, A. H. A., Abdullah, A., e Haron, R. Are the new crypto-currencies qualified to be included in the stock of high quality liquid assets? A case study of Bitcoin currency. **Al-Shajarah: Journal of the International Institute of Islamic Thought and Civilization**, Special Issue: Islamic Banking and Finance, 2019.
- Pelucio-Grecco, M. C., Santos Neto, J. P. D., e Constancio, D. Accounting for bitcoins in light of IFRS and tax aspects. **Revista Contabilidade e Finanças (USP)**, v. 31, n. 83, p. 275 – 282, 2020.
- PETERSON, T. Metcalfe's Law as a Model for Bitcoin's Value. **Alternative Investment Analyst Review**, n. 7, v. 2, p. 9 – 18, 2018.
- PlanB **Modeling Bitcoin Value with Scarcity**. URI: <<https://medium.com/@100trillionUSD/modeling-Bitcoins-value-with-scarcity-91fa0fc03e25>>, 2019. (Acesso em 21/02/2021)
- PROCHÁZKA, D. Accounting for bitcoin and other cryptocurrencies under IFRS: A comparison and assessment of competing models. **The International Journal of Digital Accounting Research**, v. 18, n. 24, p. 161-188, 2018.
- RAIBORN, C., e SIVITANIDES, M. Accounting issues related to Bitcoins. **Journal of Corporate Accounting e Finance**, v. 26, n. 2, p. 25-34, 2015.
- REED, D. P. The law of the pack. **Harvard business review**, v. 79, n. 2, p. 23-24, 2001.
- RUAN, K. **Digital Asset Valuation and Cyber Risk Measurement: Principles of Cybernomics**. Academic Press, 2019.
- SAMANI, K. **Understanding Token Velocity**. URI: <<https://multicoin.capital/2017/12/08/understanding-token-velocity>>, 2017. (Acesso em: 22/02/2021).
- SOVBETOV, Y. Factors influencing cryptocurrency prices: Evidence from bitcoin, ethereum, dash, litcoin, and monero. **Journal of Economics and Financial Analysis**, v. 2, n. 2, p. 1-27, 2018.
- SHAPIRO, C.; VARIAN, H. R.; BECKER, W. E. Information rules: a strategic guide to the network economy. **Journal of Economic Education**, v. 30, p. 189-190, 1999.
- STERMAN, J. **Business Dynamics**. Irwin/McGraw-Hill c2000, 2010.
- TAN, B. S., e LOW, K. Y. Bitcoin--its economics for financial reporting. **Australian Accounting Review**, v. 27, n. 2, p. 220-227, 2017.
- VEREDA, L. e CAVALCANTI, M. A. **Modelo dinâmico estocástico de equilíbrio geral (DSGE) para a economia brasileira: versão 1**, Texto para Discussão, 2010.
- VEUGER J. Trust in a viable real estate economy with disruption and blockchain. **Facilities**, v. 36, n. 1/2, p. 103-12, 2018.
- WOO, W. **Is Bitcoin In A Bubble? Check The NVT Ratio**. URI: <<https://www.forbes.com/sites/wwoo/2017/09/29/is-Bitcoin-in-a-bubble-check-the-nvt-ratio/?sh=52f9965d6a23>>, 2017. (Acesso em 23/02/2021)
- YAMAGUCHI, Y. e YAMAGUCHI, K. Peer-to-Peer Public Money System. **Japan Futures Research Center**, Working Paper n. 02-2016, 2016.

YAMAGUCHI, K. e YAMAGUCHI, Y. (2018). Peer-to-Peer Public Money System. In **36th International Conf. of the System Dynamics Society**, Univ. of Iceland, Reykjavik, Iceland, Aug. 6 -10.

YEN, K. C., e CHENG, H. P. Economic policy uncertainty and cryptocurrency volatility. **Finance Research Letters**, v. 38, p. 101428, 2021.