

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA – UFSC
CENTRO SÓCIO ECONÔMICO - CSE
DEPARTAMENTO DE ECONOMIA E RELAÇÕES INTERNACIONAIS

LUCAS OTTO RÖDER

**BITCOIN E COMPETIÇÃO MONETÁRIA SOB REGIME DE METAS DE
INFLAÇÃO: UMA ABORDAGEM DE JOGOS EVOLUCIONÁRIOS**

Florianópolis, 2018

LUCAS OTTO RÖDER

**BITCOIN E COMPETIÇÃO MONETÁRIA SOB REGIME DE METAS DE
INFLAÇÃO: UMA ABORDAGEM DE JOGOS EVOLUCIONÁRIOS**

Monografia submetida ao curso de Ciências Econômicas da Universidade Federal de Santa Catarina como requisito obrigatório para a obtenção do grau de Bacharelado.

Orientador: Prof. Dr. Jaylson Jair da Silveira

Florianópolis, 2018

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS ECONÔMICAS

A Banca Examinadora resolveu atribuir a nota 9,5 ao aluno Lucas Otto Röder na disciplina CNM 7107 – Monografia, pela apresentação deste trabalho.

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Jaylson Jair da Silveira
Orientador

Prof. Dr. Guilherme Valle Moura

Prof. Dr. André Alves Portela Santos

Florianópolis, 3 de julho de 2018

Ao meu pai (*in memoriam*).

AGRADECIMENTOS

Agradeço à minha família, em especial a minha mãe Valdete, ao meu pai adotivo Romaldo e ao meu irmão Adrian, por tudo que vocês fizeram por mim, principalmente me dando suporte e me encorajando no decorrer do meu crescimento pessoal e intelectual. Sem vocês tudo seria certamente mais difícil.

Ao professor Jaylson pela inspiração e orientação ao decorrer da elaboração deste trabalho. Sua destreza e seu conhecimento foram fundamentais para a minha formação como economista.

As pessoas com quem convivi, e aos amigos que fiz em todos esses anos de faculdade em Florianópolis. Em especial Alejandro, Elisa, Felipe, Helena, Thales e Vivian. Aos meus amigos de longa data pela recepção e carinho a cada vez que visitava Garuva, e as pessoas que me deram suporte ao decorrer desses anos, também a vocês o meu muito obrigado.

Guardarei eternamente vocês em minhas recordações, certamente esse trabalho é também um pouco de vocês.

RESUMO

O presente trabalho está inserido na área de estudo ligada a jogos evolucionários. O trabalho tratou com técnicas oriundas da análise de modelos econômicos dinâmicos e a bibliografia clássica de jogos evolucionários, assim como o uso de tais instrumentais na análise do fenômeno de competição entre moedas. Partindo da interpretação da competição monetária como um processo social com características evolucionárias, propôs-se um modelo de jogo evolucionário, o qual foi acoplado a uma dinâmica macroeconômica. Mostrou-se que em economias que alcançam continuamente sua meta de inflação, a interação entre a dinâmica macroeconômica e a dinâmica microeconômica evolucionária de competição entre moedas leva a economia em direção ao estado de equilíbrio no qual há coexistência entre a moeda nacional e a moeda *bitcoin*.

Palavras-chave: Jogos evolucionários; Modelos dinâmicos; Macroeconomia.

ABSTRACT

This paper is inserted in the area of study related to evolutionary games. The work dealt with techniques from the analysis of dynamic economic models and the classic bibliography of evolutionary games, as well as the use of such instruments in the analysis of the phenomenon of competition between currencies. Starting from the interpretation of monetary competition as a social process with evolutionary characteristics, a model of evolutionary game was proposed, coupled with a macroeconomic dynamics. It has been shown that in economies that continually reach their inflation target, the interaction between macroeconomic dynamics and the evolutionary microeconomic dynamics of competition between currencies drives the economy towards a steady state in which there is coexistence between the national currency and the bitcoin currency.

Keywords: Evolutionary games; Dynamic models; Macroeconomics.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Mecanismo de funcionamento das transações em bitcoins.	19
Figura 2 - Inclusão dos blocos na corrente principal.	20
Figura 3 - Criação dos blocos dada a resolução do puzzle estabelecido pelo nonce.	21
Figura 4 - Oferta total de bitcoins ao longo do tempo.	22
Figura 5 - Volume de negociações entre bitcoin e outras moedas nacionais no mês de abril de 2018.	33
Figura 6 - Taxa de câmbio da bitcoin em relação ao dólar de abr. 2017 a abr. 2018.	34
Figura 7 - Quantidade de transações diárias realizadas em bitcoin para o período de abr.2017 a abr.2018.	35
Figura 8 - Volume estimado de transações de bitcoins em dólares americanos no período de abr. 2016 a abr. 2018.	36
Figura 9 - Volatilidade da taxa de câmbio da bitcoin em dólares americanos utilizando o desvio padrão dos retornos diários dos 30 dias anteriores.	37
Figura 10 - Resultados da regressão encontrados por Peterson (2017).	38
Figura 11 - Relação entre preço de bitcoin e o valor Metcalfe para o período de dez.2011 a dez.2017.	39
Figura 12 - Linhas de tendência dos preços da bitcoin e do preço do ouro (GP) para o período de set. 2011 a jan. 2016.	40
Figura 13 - Linhas de tendência dos preços da bitcoin e do USDI para o período de set. 2011 a jan.2016.	41
Figura 14 - Diagrama de fases.	59

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
1.1	Objetivos.....	14
1.1.1	Objetivo geral	14
1.1.2	Objetivo específico	15
1.2	Justificativa.....	15
1.3	Metodologia.....	15
2	O PROTOCOLO BITCOIN	17
2.1	Origem e Fisionomia	17
2.2	Regulação	24
2.3	Evolução do valor da bitcoin	32
2.4	Críticas à bitcoin.....	42
3	COMPETIÇÃO MONETÁRIA E A DINÂMICA EVOLUCIONÁRIA	45
3.1	A Competição Monetária.....	45
3.2	Elementos de Jogos Evolucionários	49
3.3	Coexistência de Moedas como um Equilíbrio Evolucionário	52
3.3.1	Cenário macroeconômico	52
3.3.2	Uma dinâmica evolucionária de competição entre moedas.....	54
3.3.3	Coevolução das dinâmicas macroeconômica e evolucionária de competição entre moedas.....	56
4	CONSIDERAÇÕES FINAIS	62
	REFERENCIAS	64

1 INTRODUÇÃO

A era contemporânea trouxe mudanças econômicas e tecnológicas sem precedentes. O desenvolvimento industrial e econômico, juntamente com a expansão dos meios de comunicação, criou um dinamismo para a economia mundial jamais antes visto. O capital financeiro circula com grande velocidade graças a essas inovações, sobretudo na área da computação, possibilitando através da internet transformar a base monetária física em números em um banco de dados.

Como aponta Tirole (1996), os avanços tecnológicos e computacionais levaram ao desenvolvimento de novos instrumentos financeiros, possibilitando um crescimento considerável no nível de transações monetárias. Assim, como os produtos e serviços, o capital financeiro é transacionado em escala global, sendo que quanto maior for sua velocidade de circulação e quanto menores forem os custos nas suas transações, melhores serão as possibilidades de empreendimento em escala produtiva. Como destaca Sheppard (1996), um sistema de pagamento funcional é essencial para a estabilidade do sistema financeiro de um país. A possibilidade de falhas ou não cumprimento de normas nos sistemas de pagamento, poderá ser um impactante direto nas áreas produtivas da economia, ou até mesmo, no planejamento financeiro dos agentes.

Ao longo dos últimos anos, o modo como os agentes consomem produtos e transacionam moeda tem se modificado com o aumento no uso de equipamentos portáteis como notebooks e celulares. Devido a mudanças de hábito e de consumo gerada pela introdução desses novos equipamentos, foram surgindo novos meios de pagamento mais seguros, ágeis e com um custo reduzido. Sistemas como *Paypal* e *Google Wallet* foram apresentados como sistemas de pagamentos alternativos aos até então existentes, trazendo maior agilidade e dinamismo em comparação ao modo *off-line* de um banco físico, por exemplo.

Todas as recentes inovações nos sistemas de pagamentos contribuíram para o surgimento de uma tecnologia com características próprias, e que se insere no ambiente eletrônico da internet, sendo essa nova tecnologia batizada com o nome de protocolo Bitcoin®. Como aponta Almeida (2016), o protocolo foi introduzido em 2009 como um programa *open source*, isto é, qualquer pessoa pode analisar o seu código e propor

melhorias, funcionando como um sistema de pagamento descentralizado que passa a transacionar unidades monetárias pela internet.

Segundo Almeida (2016), a *bitcoin* deu origem ao termo conhecido como criptomoedas, recebendo esse nome por ser um tipo de moeda que utiliza métodos de criptografia na sua criação e na transação das suas unidades. A moeda virtual *bitcoin* por ser a criptomoeda com maior volume e circulação, é considerada a moeda com maior potencial de expansão. A introdução da *bitcoin* na economia, que possui unidade de conta sem relação com as moedas nacionais, gera um ambiente de competição monetária. Dado que até o presente momento a moeda virtual não possui uma legislação consolidada, a dificuldade dos governos centrais reside em sua regulação, que em determinados cenários, pode influenciar na condução da política monetária por parte dos bancos centrais.

Como coloca Almeida (2016), moedas virtuais competindo com moedas nacionais é uma realidade que a cada dia se torna mais relevante, sendo que este não é um fenômeno inesperado. Porém, algumas características da moeda *bitcoin* vêm sendo criticadas por diversas abordagens econômicas, tais características referem-se ao modo de criação das unidades monetárias, das quais são emitidas a uma taxa positiva, decrescente e predefinida, causando uma espécie de política monetária preestabelecida, ou, como define Selgin (2013, p. 19), uma *inelastic synthetic commodity*.

Com o estabelecimento gradativo das moedas virtuais, a ampliação do debate sobre questões monetárias associadas a este tipo de moeda torna-se inevitável. A dificuldade atual dos bancos centrais em lidar com essa nova tecnologia cria ricas oportunidades de análise sobre o futuro da competição monetária, oferecendo novas perspectivas em relação ao controle sobre a oferta de moeda.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo geral

O presente trabalho tem por objetivo, analisar alguns impactos da competição monetária que a tecnologia da moeda *bitcoin* possa causar sobre as políticas monetárias de bancos centrais, sob a perspectiva da teoria dos jogos evolucionários.

1.1.2 Objetivo específico

- Desenvolver um modelo de jogo evolucionário (uma dinâmica evolucionária do tipo *satisficing*) para representar, ainda que muito simplificada, o processo de competição entre uma moeda nacional e a *bitcoin*.
- Analisar a dinâmica que emerge da interação desta dinâmica evolucionária e a macrodinâmica de uma economia sob regime monetário de metas de inflação, representada por um modelo de três equações utilizado por Silveira e Lima (2013).
- Discutir em que situações, e sobre quais condições, mudanças na política monetária ou sobre quais preferências dos agentes, alterarão substancialmente os equilíbrios encontrados no modelo.

1.2 Justificativa

A competição monetária gerada pelo surgimento de novos meios de pagamentos, e a utilização, sobretudo, da moeda virtual *bitcoin*, cria uma expectativa sobre o futuro dessas moedas. A interação desse novo tipo de meio de pagamento com os indivíduos, bem como com os governos centrais, tornou-se objeto de pesquisa para as mais variadas abordagens econômicas. Pelo fato da análise da competição monetária a partir da teoria dos jogos evolucionários ser relativamente nova, e pouco explorada no Brasil, o presente trabalho apresenta-se como uma modesta exploração sobre este tema.

1.3 Metodologia

A pesquisa aqui proposta, tem como base o trabalho de Almeida (2016) e Silveira e Lima (2013), sendo fundamentada em uma interpretação da competição monetária gerada pela moeda *bitcoin* e as moedas tradicionais como um processo de aprendizagem individual em um ambiente adaptativo. Essa dinâmica de competição monetária será modelada como um processo que se desenrola pela interação dinâmica entre uma macrodinâmica de uma economia sob regime monetário de metas de inflação e um jogo evolucionário de escolha entre a moeda nacional e a *bitcoin*. Formalmente, estes dois blocos serão representados por duas equações em diferenças. A primeira equação será retirada de Silveira e Lima (2013), e será adaptada para o presente contexto da pesquisa. Tal equação busca representar o impacto que a competição monetária gera sobre a inflação e a dinâmica macroeconômica. A segunda equação representa o processo de escolha dos agentes em utilizar a moeda *bitcoin* ou a moeda tradicional para realizar as

suas transações, através da comparação de *payoffs* dessas duas moedas, levando em conta a inflação vigente no período, e os custos associados a cada moeda.

2 O PROTOCOLO BITCOIN

2.1 Origem e Fisionomia

Com a propagação da internet a nível global na década de 1990, discussões sobre o futuro tecnológico começaram a se tornar mais recorrentes, sobretudo na influência direta que a tecnologia poderia exercer no cotidiano das pessoas, em seus mais variados aspectos. O conceito de uma sociedade evoluída com a existência de uma moeda virtual antes particular a cenários abstratos de ficção científica, começou a se tornar amplamente discutido e idealizado em fóruns e comunidades virtuais. Em 1992, a troca de e-mails entre profissionais da área da matemática, programação e criptografia fez surgir os denominados *Cypherpunks*, considerado o grupo responsável pelas primeiras ideias por detrás das moedas virtuais.

A primeira proposta de criação de um sistema de moeda virtual cooperativo foi dada por Wei Dai (1998), com o artigo intitulado “*b-money*”. O autor expõe que uma comunidade é definida pela cooperação entre os seus participantes, e uma cooperação eficiente requer um meio de troca (moeda) e uma maneira de efetuar contratos. Assim esse novo sistema proposto por Dai traria esses dois serviços, comumente fornecidos por governos e meios tradicionais, porém de uma forma descentralizada e não rastreável.

O autor aponta o algoritmo chamado *proof-of-work* (prova de trabalho) criado por Back (1997) como um mecanismo útil para a criação de moedas virtuais. Esse algoritmo requer que uma grande quantidade de trabalho computacional seja demandada para realizar cálculos e chegar a uma prova. O trabalho realizado para chegar a prova é verificado publicamente, como uma espécie de livro contábil público. O sistema *proof-of-work* é inovador por retirar o monopólio da criação de moedas, e ao mesmo tempo fornece um meio cooperativo de controle sobre as operações. Apesar do sistema possuir funcionalidade, era pouco implementável na época em que foi proposto. No entanto, as ideias propostas por Dai serviram de base para criação de outros sistemas que viriam surgir nos anos seguintes.

Szabo (2005) desenvolveu um sistema, denominado de *Bit Gold*, claramente inspirado pelo *b-money*. O sistema proposto por Szabo também utiliza do algoritmo *proof-of-work* como base, trazendo algumas discussões interessantes sobre a construção de um sistema de segurança robusto, e a arquitetura computacional necessária para que o

sistema funcionasse. Apesar dos avanços em relação ao *b-money*, a *Bit Gold* igualmente se limitou ao campo teórico. Porém, as referências à *Bit Gold* são claras sobre o sistema que viria a seguir, o denominado Protocolo Bitcoin®.

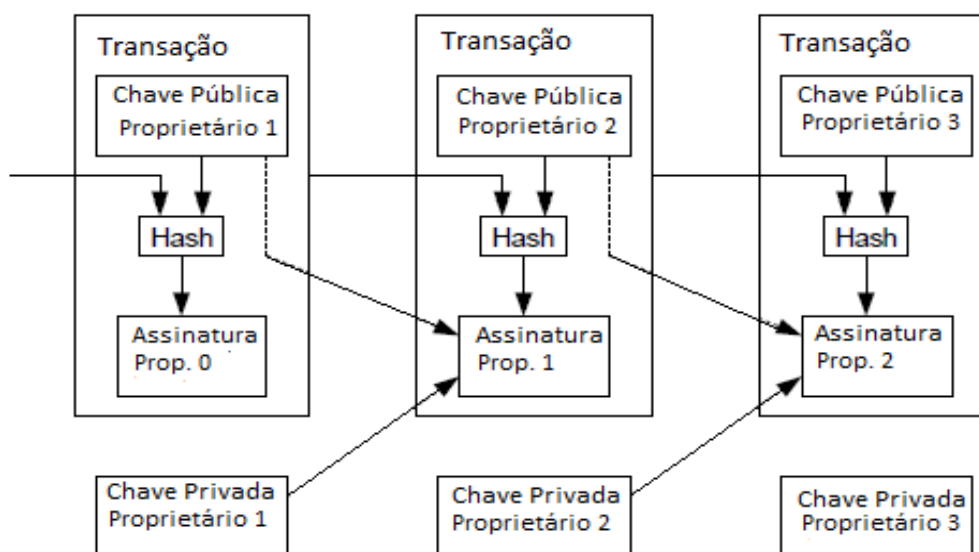
Em dezembro de 2008, sobre o pseudônimo de Satoshi Nakamoto, foi publicado o artigo oficial “Bitcoin: A Peer-to-Peer Electronic Cash System” NAKAMOTO (2018), dando início ao sistema protocolo Bitcoin®, introduzido como um programa *open source* (código aberto) em janeiro de 2009. A verdadeira identidade do criador do sistema até hoje não é conhecida, gerando especulações por parte da comunidade. Algumas pessoas apontam o nome de Szabo, autor da *Bit Gold*, como possível criador da *bitcoin*. Outros reivindicam para si o título de criador do sistema, como é o caso de Craig Wright, cientista da computação e empresário australiano. Existem também especulações de que uma organização governamental secreta estaria por detrás da criação, e também de que não seria somente uma pessoa responsável pela criação do protocolo, mas sim um grupo de pessoas com ideais revolucionários. Apesar das especulações, a partir de 2009 o sistema da *bitcoin* teve seu desenvolvimento de maneira *open source*, ou seja, várias pessoas, sobretudo programadores e desenvolvedores, trabalhando de forma conjunta para aprimorar o código, para propor melhorias ao sistema, e encontrar possíveis falhas.

O mecanismo de funcionamento por trás do protocolo Bitcoin® é de proporcionar o envio de unidades monetárias (*bitcoin*) exclusivamente pela internet, sem a necessidade de um mediador, através de uma rede *peer-to-peer* (P2P) sendo as transações registradas em uma *public ledger* (banco de dados onde constam as transações em bitcoins, também denominada de *block chain*). A rede P2P possibilita que conexões sejam formadas sem a necessidade de um mediador (do tipo servidor-usuário), de modo que todas as conexões estão interligadas em forma de nó, e cada nó serve tanto como usuário como servidor. Assim a arquitetura desse tipo de rede faz com que qualquer informação possa ser acessada de qualquer parte do sistema.

As transações de *bitcoins* são realizadas como uma corrente de assinaturas digitais. Cada proprietário ao transferir sua moeda para outra pessoa assina digitalmente um *hash* de dados da transação anterior e a chave pública do próximo proprietário, adicionando-os ao final da base de dados da moeda transacionada (Nakamoto, 2008 p. 2). Após a transferência, o beneficiário pode verificar as assinaturas para confirmar a cadeia de propriedade, se certificando que a *bitcoin* não foi gasta em um momento anterior.

A Figura 1 ilustra o mecanismo desse sistema:

Figura 1 - Mecanismo de funcionamento das transações em bitcoins.

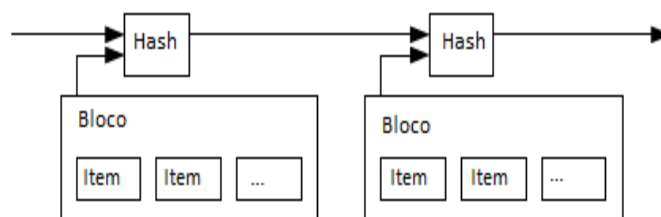


Fonte: Adaptado pelo autor a partir de Nakamoto (2008, p. 2).

Assim, o sistema de pagamento do protocolo Bitcoin® funciona de forma diferente aos sistemas tradicionais. No modo tradicional, uma terceira entidade é necessária para verificar se uma transação é válida ou não, por exemplo, um banco verifica se um indivíduo possui fundos suficientes em sua conta para realizar uma transação. Já no protocolo Bitcoin®, o modo para realizar e verificar as transações são públicos, ou seja, todo o usuário do sistema pode ter acesso a corrente principal, que mostra o fluxo de transações, e assim, verificar sua autenticidade.

Para que as ordens das transações fossem determinadas, definindo a posse das bitcoins, Nakamoto (2008) propôs a utilização de um servidor *timestamp* (marca temporal). Esse tipo de servidor faz com que todos os eventos registrados na rede sejam distribuídos para os usuários. Assim, todas as transações de um determinado período são condensadas dentro de um bloco que são incluídos na corrente de *hash* principal, como ilustra a Figura 2. O *timestamp* prova que os dados existem naquele momento para entrarem no *hash*, cada *timestamp* atual inclui o *timestamp* anterior em seu *hash*, formando uma cadeia (NAKAMOTO, 2008, p. 2). As conexões desses blocos formam uma corrente (*block chain*), funcionando de maneira descentralizada, onde todas as transações realizadas com *bitcoin* são registradas e ordenadas, desde a criação do sistema.

Figura 2 - Inclusão dos blocos na corrente principal.

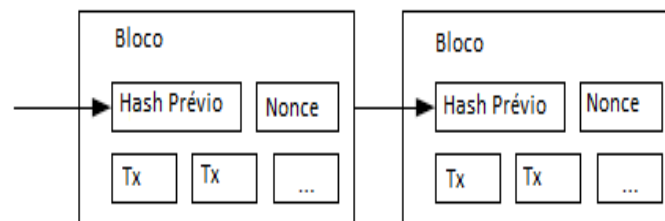


Fonte: Adaptado pelo autor a partir de Nakamoto (2008, p. 2).

Para que um banco de dados do tipo *block chain* funcione em uma rede P2P, é preciso um sistema de segurança robusto, assegurando que esse sistema de corrente de blocos seja único e sobretudo que os usuários concordem com essa ordem estabelecida. A segurança do sistema pode ser obtida através do algoritmo *proof-of-work*. O algoritmo impõe que uma grande energia computacional seja necessária para que um bloco de informações seja incluído na *block chain*. Assim, o *proof-of-work* garante o histórico de transações e posse de moedas por meio da demanda por capacidade de processamento computacional.

Nakamoto (2008) explica que o algoritmo *proof-of-work* é a realização de um *puzzle* (quebra-cabeça) matemático, a tarefa é encontrar um determinado valor em um *hash* SHA-256, por exemplo, que contém um exato número de zeros. O trabalho computacional médio necessário para encontrar a resolução do *puzzle* é exponencial no número de *bits* zero. Um *nonce* é introduzido no último bloco da *block chain*, para que o próximo bloco contenha um *hash* que corresponda a determinada condição, ou seja, o *nonce* serve como um condensador de bloco e controla a dificuldade de solução da corrente. A Figura 3 ilustra esse mecanismo, vale lembrar que logo que a solução do bloco é encontrada, o bloco é fechado e não será modificado até que energia computacional seja refeita.

Figura 3 - Criação dos blocos dada a resolução do puzzle estabelecido pelo nonce.



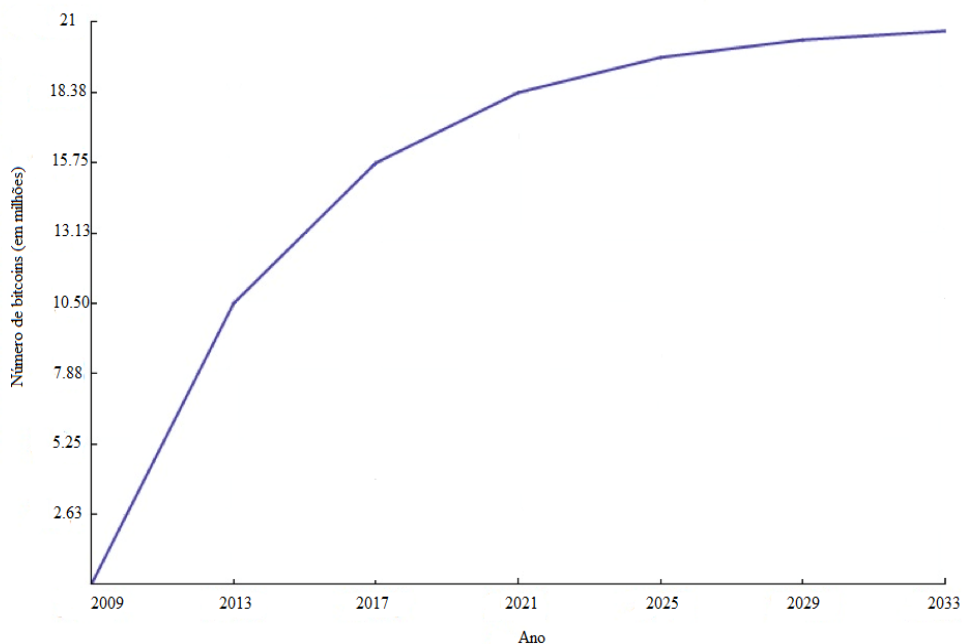
Fonte: Adaptado pelo autor a partir de Nakamoto (2008, p. 3).

Computadores espalhados pelo mundo todo competem para conseguir solucionar o *puzzle*, nessa competição são gerados inúmeros *hashes*, até que a solução do *nonce* seja encontrada, fechando o bloco. Esse processo se dá de forma aleatória, porém, quanto maior a capacidade de processamento do computador, maior a geração de *hashes*, e maior a probabilidade de encontrar a solução do bloco. Os computadores alocados para calcular o algoritmo do *proof-of-work* são conhecidos como *bitcoin miners* (mineradores de bitcoin) conectados via conexão P2P. Atualmente existem vários galpões espalhados pelo mundo, com inúmeros computadores com alto poder de processamento direcionados a minerar *bitcoins*, as chamadas “*bitcoin farms*”, no entanto a mineração pode ser realizada em um computador pessoal, desde que possua uma configuração de hardware potente.

Com a criação de blocos e crescimento da *block chain* pode haver casos de bifurcação na corrente, ou *forks*, dado a natureza descentralizada desse processo. Nesse cenário duas ou mais correntes de transações irão existir simultaneamente. Porém, os usuários habitualmente reconhecem a corrente que possui o maior *proof-of-work* como sendo o mais seguro e verdadeiro.

A alocação de computadores no processo de resolução dos *puzzles* matemáticos possui um grande incentivo econômico. O primeiro computador que conseguir achar a resolução do *puzzle* e, conseqüentemente, a solução do bloco é recompensado com *bitcoins*, sendo esse o único modo de criação e emissão da moeda. Dado que a criação de *bitcoins* depende da resolução dos *puzzles* a emissão de moeda respeita um padrão definido no decorrer do tempo, sendo programado para diminuir automaticamente a cada quatro anos. Assim, a emissão de *bitcoins* por bloco cresce a taxas decrescente ao longo do tempo, chegando a oferta final de 21 milhões de bitcoins no ano de 2140, como ilustrado pela Figura 4:

Figura 4 - Oferta total de bitcoins ao longo do tempo.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Além do incentivo econômico de receber *bitcoins* através da mineração, há a possibilidade de os mineradores receberem uma pequena taxa paga pelos usuários por cada transação realizada. Apesar da taxa ser facultativa, ela se torna essencial para aumentar a velocidade da transação, pois quanto maior a taxa, mais mineradores estarão dispostos a encontrar a resolução do bloco. A existência dessa taxa cria uma dinâmica interessante de incentivos e ganhos mútuos. O usuário que necessita agilidade na transação de *bitcoins* pode oferecer uma taxa acima da taxa média do mercado, e dessa forma, os mineradores serão estimulados a dar prioridade a essas transações.

Como mencionado anteriormente, as transações realizadas em *bitcoins* acontecem de forma pública, sendo possível visualizar a corrente principal de transações. No entanto, a privacidade do sistema é garantida pelo fato de nenhuma informação de identidade do usuário ser vinculada à posse e à transação de *bitcoins*. Como explica Nakamoto (2008, p. 6): “The public can see that someone is sending an amount to someone else, but without information linking the transaction to anyone.”. O anonimato é garantido pela criptografia assimétrica, definindo a posse da moeda através da chave pública e da chave privada. A chave pública funciona como uma espécie de número de conta de banco, que pode ser divulgada, como um endereço para receber os pagamentos em *bitcoins*. Já a chave privada

funciona como uma senha de banco, que não deve ser divulgada, operando como uma certificação digital da posse de *bitcoins*, sendo que sem ela não é possível transferir moedas para outra pessoa.

Almeida (2016) explica que as chaves privadas contendo as *bitcoins* estão armazenadas em arquivos de dados utilizados por programas, chamadas de *wallets*, que funcionam como carteiras digitais, instaladas em dispositivos móveis, no computador, ou até mesmo na nuvem (*cloud computing*). Contudo, as informações contidas nas chaves privadas por si só não possuem valor, pois a moeda virtual depende da existência da *block chain* para confirmar a posse das moedas no decorrer do tempo. Assim, a *bitcoin* torna-se inseparável da corrente principal de transações, principal mecanismo que rege o seu sistema.

Uma das principais vantagens promovidas pela *bitcoin* é a sua capacidade descentralizadora, não só no seu sistema de pagamento, mas também no desenvolvimento como tecnologia. A descentralização oferece vários benefícios. Primeiro, ela impossibilita que uma pessoa ou organização tome o controle total sobre a *bitcoin*. Segundo, ela promove um ambiente mais seguro digitalmente, diminuindo o risco de ocorrer uma grande falha. Terceiro, ela dificulta ataques criminosos diretos ao sistema, possibilitando grande privacidade aos detentores da moeda (BÖHME, CHRISTIN, EDELMAN, MOORE, 2014, p. 6).

O sistema desenhado para o funcionamento do protocolo Bitcoin® dificulta que ataques de criminosos obtenham sucesso. Nakamoto (2018, p. 6) argumenta que, dado um cenário de ataque ao sistema, a opção mais lógica seria a de criação de uma corrente alternativa (criminosa) à principal (honestas), que fosse mais rápida, se sobressaindo a corrente válida. Assim o criminoso poderia emitir *bitcoins*, ou alterar transações para recuperar *bitcoins* que ele tenha gastado anteriormente. Porém Nakamoto explica que mesmo que esse cenário se concretizasse, os usuários honestos no sistema nunca aceitariam uma corrente de blocos contendo transações inválidas. O autor reproduz detalhadamente como um ataque desse tipo funcionaria¹, concluindo que a probabilidade de uma corrente alternativa criminosa ultrapassar a corrente principal decresce exponencialmente no decorrer do tempo, principalmente pelo custo crescente envolvido na operação, dada a força computacional necessária para fazer com que a corrente

¹ Para maiores detalhes ver Nakamoto (2008, p. 6-8).

criminosa se sobressaia a corrente principal. Desse modo, mesmo em cenários extremos, o incentivo em cooperar com o sistema, obtendo lucros de mineração e de valorização da moeda, é muito maior do que o incentivo em tentar atacar e modificar a estrutura interna do protocolo Bitcoin®.

Portanto, a *bitcoin* traz um sistema de pagamento novo para a economia, abrindo novas possibilidades de uso, além da moeda tradicional. A utilização desse novo tipo de moeda impacta na soberania monetária dos países ao redor do mundo, e abre caminhos para discussões de cunho regulatório, tecnológico (tecnologia da *block chain*) e da competição monetária gerada por essa nova espécie de moeda.

2.2 Regulação

O protocolo Bitcoin® foi se tornando relevante à medida que mais agentes foram utilizando esta nova tecnologia para realizar negociações. Por ser algo inédito, existem dificuldades em definir o que é de fato *bitcoin*, gerando discussões principalmente sobre o âmbito regulatório. Grinberg (2011) enfatiza o terreno cinzento a qual a *bitcoin* transita analisando as suas diferentes interpretações, se este formato monetário pode ser considerado uma moeda, ação, título financeiro ou até mesmo uma *commodity*:

Bitcoin supporters may similarly argue, as elaborated below, that bitcoins do not look like securities or investments, especially because there is no moneymaking enterprise that is attempting to raise money, and that bitcoins are instead like commodities or currencies, which are generally not regulated under the federal securities laws [...] (GRINBERG, 2011, p. 195).

A *bitcoin*, por possuir um formato monetário e um funcionamento diferente das moedas tradicionais, não se enquadra perfeitamente em nenhuma legislação atual. Escolher em qual definição a *bitcoin* se encaixa acarreta em consequências diretas aos agentes que usam o formato monetário, e também ao desenvolvimento dessa tecnologia, pois cada definição implica em regulação, tributação e restrições diferentes. Apesar de que a intenção do criador e de desenvolvedores da *bitcoin* era de utilizar a tecnologia

como moeda, para os órgãos regulatórios e até mesmo para o mercado o conceito não tem se mostrado o mesmo.

No caso brasileiro, o Banco Central do Brasil (BCB) emitiu uma nota oficial em relação as moedas virtuais, visto o crescente interesse por parte dos agentes econômicos. O comunicado alerta sobre os perigos envolvidos na utilização desse tipo de unidade monetária. O BCB enfatiza que as moedas virtuais não possuem emissão e nem garantia por nenhuma autoridade monetária, não possuindo garantia de conversão para moedas soberanas, bem como a ausência de lastro em ativo real.

Não há, no arcabouço legal e regulatório relacionado com o Sistema Financeiro Nacional, dispositivo específico sobre moedas virtuais. O Banco Central do Brasil, particularmente, não regula nem supervisiona operações com moedas virtuais. (BCB,2017).

O BCB também se atenta em diferenciar os termos moeda virtual e moeda eletrônica:

A denominada moeda virtual não se confunde com a definição de moeda eletrônica de que trata a Lei nº 12.865, de 9 de outubro de 2013, e sua regulamentação por meio de atos normativos editados pelo Banco Central do Brasil, conforme diretrizes do Conselho Monetário Nacional. (BCB, 2017).

O órgão governamental esclarece que considera moeda eletrônica os recursos em reais que são transacionados por sistemas eletrônicos ou armazenados em dispositivo. Por sua vez, as moedas virtuais possuem sua própria unidade de conta, em um sistema separado dos tradicionais.

No caso de uso das moedas virtuais para fins ilícitos, o BCB argumenta que os detentores da moeda podem ser expostos a investigações conduzidas pelas autoridades públicas a fim de apurar respectivas responsabilidades penais e administrativas. O BCB também expõe que as moedas virtuais até agora não apresentaram riscos grandes para o sistema financeiro brasileiro, e aguarda passivamente por medidas de cunho regulatório por parte de órgãos internacionais:

Embora as moedas virtuais tenham sido tema de debate internacional e de manifestações de autoridades monetárias e

de outras autoridades públicas, não foi identificada, até a presente data, pelos organismos internacionais, a necessidade de regulamentação desses ativos. No Brasil, por enquanto, não se observam riscos relevantes para o Sistema Financeiro Nacional. Contudo, o Banco Central do Brasil permanece atento à evolução do uso das moedas virtuais, bem como acompanha as discussões nos foros internacionais sobre a matéria para fins de adoção de eventuais medidas, se for o caso, observadas as atribuições dos órgãos e das entidades competentes. (BCB, 2017).

Apesar do BCB apontar que as moedas virtuais ainda não possuem um volume grande de utilização, o governo já está adotando medidas de controle. A Receita Federal, por exemplo, aponta que as moedas virtuais precisam ser declaradas no imposto de renda em “Bens e Direitos” com o código 99 (outros bens e direitos) pelo valor de aquisição; e quando houver a venda de *bitcoins* para reais para valores maiores que 35 mil reais, o ganho de capital deverá ser tributado por alíquotas que variam de 15% a 22,5%². Outra medida é o projeto de lei nº 2.303/15³ que está sendo discutido na Câmara dos Deputados, e que tem por objetivo incluir as moedas virtuais sob supervisão do Banco Central do Brasil.

Outros bancos centrais pelo mundo vêm expondo suas opiniões sobre o uso das moedas virtuais, discutindo seus possíveis efeitos na economia e na política. Em 2014 o *Bank of England* publicou um artigo mostrando os possíveis riscos e benefícios do uso da moeda, e também os prováveis riscos para a estabilidade econômica do Reino Unido. O banco se atenta principalmente sobre os possíveis efeitos das criptomoedas sobre a estabilidade monetária, ilustrando um cenário hipotético onde todos os agentes da economia utilizassem a moeda *bitcoin* para realizar suas transações diárias, e usassem somente a libra esterlina quando estritamente necessário, tornando a economia “*bitcoinised*”. O *Bank of England* aponta que dado esse cenário, a sua capacidade de

² Infomoney. Disponível em: <http://www.infomoney.com.br/mercados/bitcoin/noticia/7283840/como-declarar-bitcoin-outras-criptomoedas-imposto-renda> . Acesso em: 04 abr. 2018.

³ Câmara dos Deputados. Disponível em: <http://www.camara.gov.br/proposicoesWeb/fichadetramitacao?idProposicao=1555470> . Acesso em: 04 abr. 2018.

influenciar na fixação de preços e nas atividades reais na economia seria fortemente prejudicada:

The greatest hypothetical risk to monetary stability that might be posed by digital currencies is if the economy were to become, for example, 'Bitcoinised' — where everybody sought to conduct the totality of their day-to-day transaction entirely within the alternative currency and switch into sterling only when strictly necessary for interaction with the state (such as to pay taxes). This would represent a significant change. Since in this extreme scenario all payments would be conducted away from sterling as base money for essentially all of the economy, the Bank's ability to influence price-setting and real activity would be severely impaired. (ALI et al., 2014, p. 9).

A *bitcoin* por ser uma moeda virtual, e possuir uma unidade de conta diferente em relação a moeda nacional gera um ambiente de competição monetária, que em cenários extremos poderia fazer com que os bancos centrais ao redor do mundo perdessem capacidade de influenciar a economia através de políticas monetárias. Porém o banco inglês ressalta que esse cenário só aconteceria se houvesse uma diminuição abrupta da confiança por parte dos agentes pelas moedas tradicionais:

But such an outcome is extremely unlikely given the current impediments to the widespread adoption of current digital currency schemes imposed by their designs and is, in any event, implausible absent a severe collapse in confidence in the fiat currency. It is much more likely that, if further adopted, digital currencies will be used in a limited fashion alongside traditional currencies. (ALI et al., 2014, p. 9).

O exemplo dado pelo *Bank of England*, no qual a economia se tornaria *bitcoinised* pode parecer pouco provável em economias consolidadas com a do Reino Unido, sendo o cenário mais provável o de coexistência das moedas tradicionais e virtuais. Por sua vez, em países em desenvolvimento que enfrentam crises inflacionárias, cambiais e políticas a moeda virtual pode ser uma boa alternativa para preservação de riqueza e consumo,

como é o caso de África do Sul, Sudão, Nigéria, Bolívia e Venezuela⁴⁵. A Venezuela em particular está bem perto de ser o primeiro a sofrer esse fenômeno, o país enfrenta uma crise generalizada ocasionada sobretudo pela hiperinflação, e a população do país vê na bitcoin uma forma de sobrevivência frente a perda de valor gigantesca de sua moeda nacional⁶.

Outra vantagem de utilizar moedas virtuais é a possibilidade de enviá-las para o exterior, muitas vezes com taxas mais baixas do que as operações com moedas tradicionais. Plassaras (2013) analisou as possíveis consequências e efeitos desequilibrantes que a *bitcoin* poderia causar no mercado de câmbio internacional, com foco direcionado ao Fundo Monetário Internacional (FMI). Através do *Articles of Agreement*, a instituição tem como um dos objetivos principais o monitoramento das taxas de câmbio, facilitando o comércio internacional. O FMI pode emprestar dinheiro a um país membro em caso de crise econômica, com o intuito de manter as taxas de câmbio estáveis entre os países e evitar ataques especulativos e possíveis evasões de divisas. O fundo se mantém com uma quota paga pelos países membro dependendo da sua importância na economia mundial, e essa quota é utilizada em caso de necessidades de empréstimo, devendo ser pagas ao fundo posteriormente. Até 25% da quota de um país membro deve ser paga em moedas amplamente aceitas, como o dólar, euro, iene e libra esterlina. E o restante deve ser pago com a moeda nacional do país. Assim o FMI mantém uma base monetária diversificada em casos de necessidade. (PLASSARAS, 2013, p. 16).

Se a *bitcoin* continuar a crescer em popularidade e valor, colocará em risco a estabilidade das taxas de câmbio internacionais e conseqüentemente o comércio internacional, pois a moeda virtual agirá como uma moeda estrangeira atacando uma moeda local. O autor relembra que o FMI foi criado principalmente para combater dois problemas econômicos globais: (1) a desvalorização artificial de uma moeda para ganhos econômicos e (2) taxas de câmbios instáveis. A *bitcoin* não pode desencadear o problema (1), mas tem grande potencial para influenciar severamente o problema (2).

⁴ The Wall Street Journal. Disponível em: <https://www.wsj.com/articles/bitcoin-is-a-hit-in-countries-where-locals-face-currency-troubles-1515067201#>. Acesso em: 05 abr. 2018.

⁵ Forbes. Disponível em: <https://www.forbes.com/sites/realspin/2017/02/03/why-venezuelas-currency-crisis-is-a-case-study-for-bitcoin/#5d40559c19b2>. Acesso em: 05 abr. 2018.

⁶ World Economic Forum. Disponível em: <https://www.weforum.org/agenda/2017/10/this-latin-american-country-could-adopt-bitcoin-as-an-official-currency>. Acesso em: 05 abr. 2018.

Plassaras (2013) aponta que existem duas maneiras comumente usados pelo banco central para lidar com um ataque especulativo: a primeira seria aumentar a taxa de juros para conter a especulação, porém aumentar os juros pode não ser uma solução ideal dado os possíveis efeitos contracionistas da medida. A segunda seria utilizar das reservas do banco para estabilizar o câmbio, porém se o banco não possuir reservas em *bitcoin* a única alternativa será recorrer ao aumento de juros. O autor adverte que se o FMI, que seria a instituição internacional a quem os bancos centrais poderiam recorrer em casos de instabilidade do câmbio, não reconhecer o potencial da *bitcoin* e não a integrar como parte das suas reservas, nada poderá fazer para auxiliar os seus países membros.

But as Bitcoin usage continues to grow, so does the potential threat it poses to the stability of the foreign exchange market. Although particular attention has been given to Bitcoin in this regard, the same can be true for any digital currency that grows enough in terms of usage and value to be traded for substantial amounts of foreign currency. Without the ability offer digital currency as part of its currency reserves, the IMF would be ill-equipped to ensure global economic stability in a future where digital currency becomes a major player. (PLASSARAS, 2013, p. 19).

Há duas formas de incorporar a *bitcoin* no regime do FMI. A primeira seria dar controle indireto ao fundo, porém algumas mudanças seriam necessárias nos seus artigos de acordo e regimento interno. A segunda possibilidade seria conceder aos detentores da moeda um acordo de *quasi-membership* (quase-membro), os detentores de *bitcoins* venderiam *bitcoins* ao fundo por uma valor equivalente em outra moeda, e em troca o FMI daria legitimidade e reconhecimento oficial a moeda virtual: “By doing business with an established international institution such as the IMF, Bitcoin users demonstrate that Bitcoin is committed to being a real player in global finance, not just a fringe currency.”(PLASSARAS, 2013, p. 24). Apesar de nenhuma das duas opções serem facilmente implementáveis, tanto pela natureza da moeda virtual como pelo regimento atual, os órgãos competentes devem discutir amplamente a questão e elaborar estratégias antes que os problemas teóricos se tornem problemas práticos.

A primeira tentativa de regulação das moedas virtuais por parte de uma entidade governamental aconteceu em 2015, no estado de Nova York nos Estados Unidos. O

Departamento de Serviços Financeiros (NYSDFS) criou a chamada *Bitlicense*⁷, a qual funciona como uma espécie de licença que deveria ser adotada pelas empresas que fornecem serviços financeiros relacionados à *bitcoin*. A *Bitlicense* impõe regras para a mitigação de riscos envolvidos na utilização da moeda virtual, adotando um sistema que recolhesse informações dos clientes à la *know your customer*, similar ao utilizado por bancos tradicionais. A medida tinha como foco o combate à possíveis crimes, como lavagem de dinheiro, corrupção ou até mesmo financiamento de organizações terroristas. Entretanto, a novidade foi muito mal recebida na época pela comunidade desenvolvedora da *bitcoin*, devido as regras serem demasiadamente rígidas a ponto de dificultarem o acelerado processo de desenvolvimento da nova tecnologia. Várias empresas contrárias ao regulamento deixaram de operar no Estado, o episódio foi chamado pela *New York Business Journal* de “O Grande Êxodo do *bitcoin*”⁸. Atualmente, a *Bitlicense* apesar de incorporada no mercado, ainda é alvo de críticas por parte das empresas desse segmento⁹. A necessidade da separação entre empresa financeira e empresa de tecnologia para a obtenção da licença é o principal ponto dos críticos à legislação, além dos custos envolvidos no processo, que acabam por onerar a parcela das empresas de menor porte.

No Canadá, o senado canadense elaborou um documento proveniente de um longo debate sobre as moedas virtuais, o trabalho teve como objetivo discutir a metodologia que poderia ser utilizada para a elaboração de leis para uso desse tipo de moeda, seja no âmbito comercial ou empresarial. Os senadores apontam que as criptomoedas podem trazer benefícios para o sistema de pagamento, principalmente na redução de custos. Também a tecnologia da *block chain* usada nas criptomoedas pode trazer serviços financeiros a uma parcela do mundo que ainda não possui acesso a bancos.

Outro aspecto interessante da *block chain* exposto pelos senadores é a capacidade de melhorar a segurança virtual.

⁷ New York State Department of Financial Services. Disponível em: <https://www.dfs.ny.gov/legal/regulations/adoptions/dfsp200t.pdf>. Acesso em: 03 abr. 2018.

⁸ New York Business Journal. Disponível em: <https://www.bizjournals.com/newyork/news/2015/08/12/the-great-bitcoin-exodus-has-totally-changed-new.html>. Acesso em: 03 abr. 2018.

⁹ Coindesk. Disponível em: <https://www.coindesk.com/bitcoin-crypto-ny-lawmaker-pledges-make-bitlicense-something-works/>. Acesso em: 03 abr. 2018.

Another opportunity offered by blockchain technology is its ability to put a person's security and online identity into their own hands. Cyber attacks for the purpose of identity theft are becoming one of the defining security threats of the 21st Century. (GERSTEIN; HERVIEUX-PAYETTE, 2015 p. 7).

Apesar de reconhecer todos os benefícios das moedas virtuais, os senadores concluem que a melhor estratégia é monitorar a situação à medida que a tecnologia evolui, com uma regulamentação branda conforme for necessário.

We believe that the best strategy for dealing with cryptocurrencies is to monitor the situation as the technology evolves; that Canada Revenue Agency and Financial Transactions and Reports Analysis Centre of Canada (FINTRAC) must prepare to navigate and use blockchain technology; that this technology offers new ways to protect the personal information of Canadians; and, finally, that this technology requires a light regulatory touch – almost a hands off approach. In other words, not necessarily regulation, but regulation as necessary. (GERSTEIN; HERVIEUX-PAYETTE, 2015).

Portanto, aos poucos os bancos centrais e os órgãos competentes das economias mundiais vão se pronunciando sobre a *bitcoin* e as demais criptomoedas, alguns países de forma mais aberta e outras de forma fechada ou até mesmo proibitiva. A definição de regras e regulamentos acontecerá de forma gradativa, ao passo que esse formato monetário se tornar cada vez mais importante e passível de afetar os mais variados aspectos econômicos, sejam eles positivos como o aumento da eficiência no sistema de pagamentos, quanto pelo seu aspecto negativo, como ataques especulativos e uso para fins ilícitos.

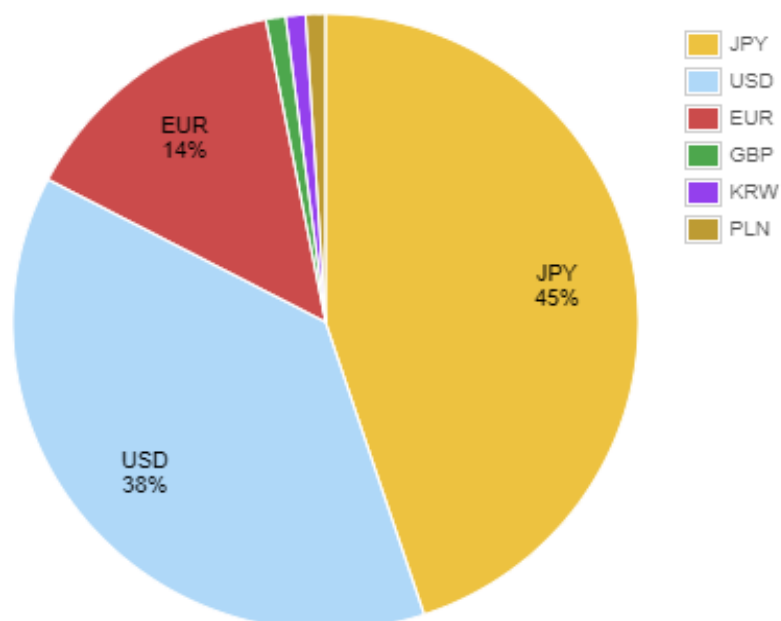
2.3 Evolução do valor da bitcoin

Em 2009 o protocolo Bitcoin® deu início a um novo conceito monetário denominado de criptomoeda. Pelo fato do protocolo ser *open source*, qualquer indivíduo pode ter acesso ao seu código e reproduzi-lo criando sua própria moeda. Além da *bitcoin*, muitas outras moedas foram criadas, por exemplo: *Etherium*, *Litecoin*, *Ripple* e *Bitcoin Cash*, entre milhares de outras. Porém, a *bitcoin* desde o seu início é a principal criptomoeda existente, possuindo uma capitalização de mercado aproximadamente 3 vezes maior¹⁰ que a *Etherium*, a segunda maior criptomoeda.

Do mesmo modo que uma moeda nacional possui uma taxa de câmbio em relação a outras moedas, a *bitcoin* também possui uma cotação, podendo ser negociada por outras moedas no mercado de câmbio. Existem várias empresas em diversos países que operam com serviços de negociação, agindo com uma espécie de bolsa de valores. A Figura 5 ilustra o volume de negociações entre a *bitcoin* e outras moedas nacionais ao redor do mundo, onde é possível visualizar que 45% das negociações são realizadas entre *bitcoin* e iene, acompanhado por dólar com 38% e o euro com 14%.

¹⁰ Cryptocurrency Chart. Disponível em: <https://www.cryptocurrencychart.com/>. Acesso em: 10 abr. 2018.

Figura 5 - Volume de negociações entre bitcoin e outras moedas nacionais no mês de abril de 2018.¹¹

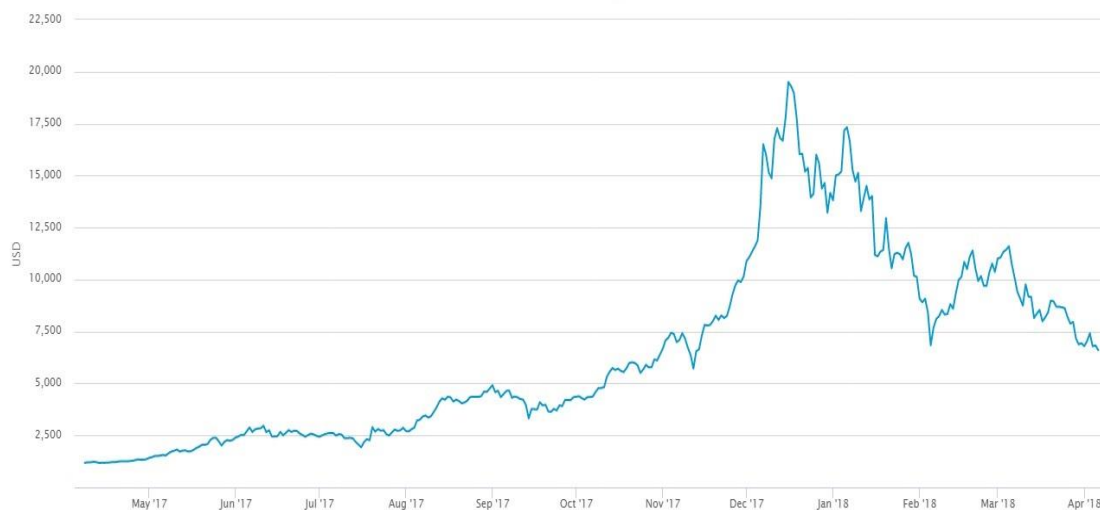


Fonte: Adaptado a partir de: <<https://bitcoincharts.com/charts/volumepie/>>. Acesso em: 07 abr. 2018.

Grande atenção tem sido dada por parte do mercado e da mídia pelo fato da *bitcoin* apresentar movimentos bruscos em seu valor ao longo do tempo, principalmente por ser um mercado novo e ainda não completamente estabelecido. Nos seus anos iniciais a moeda valia poucos centavos de dólar, em junho de 2017 a moeda chegou pela primeira vez em 2.500 dólares por *bitcoin*. Já em dezembro de 2017 a *bitcoin* alcançou seu valor máximo de 19.499 dólares, como ilustrada pelo Figura 6.

¹¹ Significado das siglas das legendas em ordem decrescente: yen japonês, dólar norte-americano, euro, libra esterlina, won sul-coreano e zloty polonês.

Figura 6 - Taxa de câmbio da bitcoin em relação ao dólar de abr. 2017 a abr. 2018.



Fonte: Disponível em: <<https://blockchain.info/pt/charts/market-price>>. Acesso em: 07 abr. 2018.

O número de transações executadas em *bitcoin* cresce a cada ano, apesar de estar longe de alcançar os números de serviços tradicionais que transacionam moedas nacionais como a rede *Mastercard*, *Visa* ou *Western Union*. Porém existe uma tendência em o número de transações acompanhar o preço da *bitcoin*, ao passo que a sua relevância no cenário econômico mundial aumenta, como ilustrada pela Figura 7. Destaque para o mês de dezembro de 2017 onde a moeda alcançou uma quantidade de transações diárias de aproximadamente 491 mil.

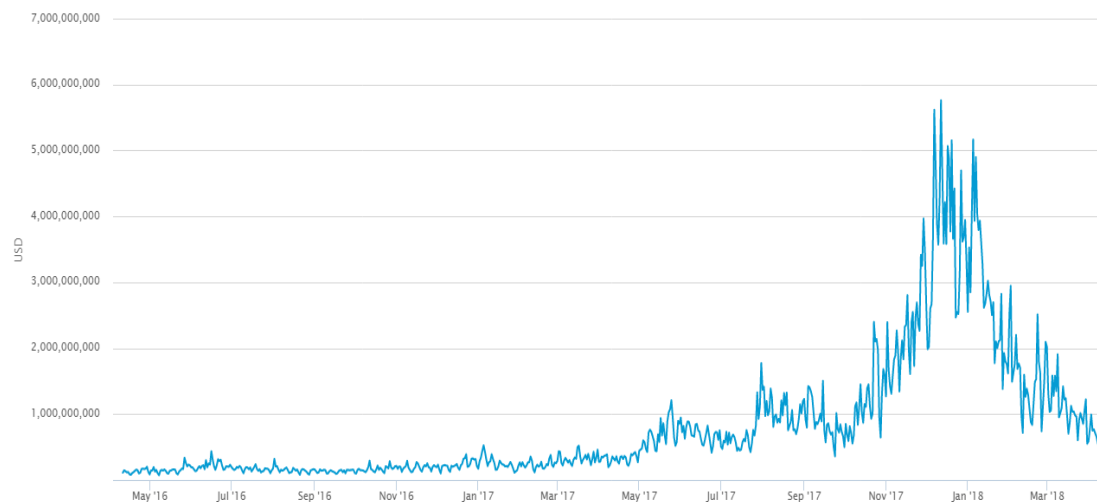
Figura 7 - Quantidade de transações diárias realizadas em bitcoin para o período de abr.2017 a abr.2018.



Fonte: Disponível em: <<https://blockchain.info/pt/charts/n-transactions>>. Acesso em: 07 abr. 2018.

O volume estimado de transações ilustrado pela Figura 8 evidencia que valores bilionários estão sendo transacionados no mercado de *bitcoins*. É possível visualizar que em maio de 2017 o volume transacionado em um único dia chegou a valores superiores a um bilhão de dólares. Já entre os meses de novembro de 2017 e janeiro de 2018 o volume transacionado chegou a quase seis bilhões de dólares.

Figura 8 - Volume estimado de transações de bitcoins em dólares americanos no período de abr. 2016 a abr. 2018.



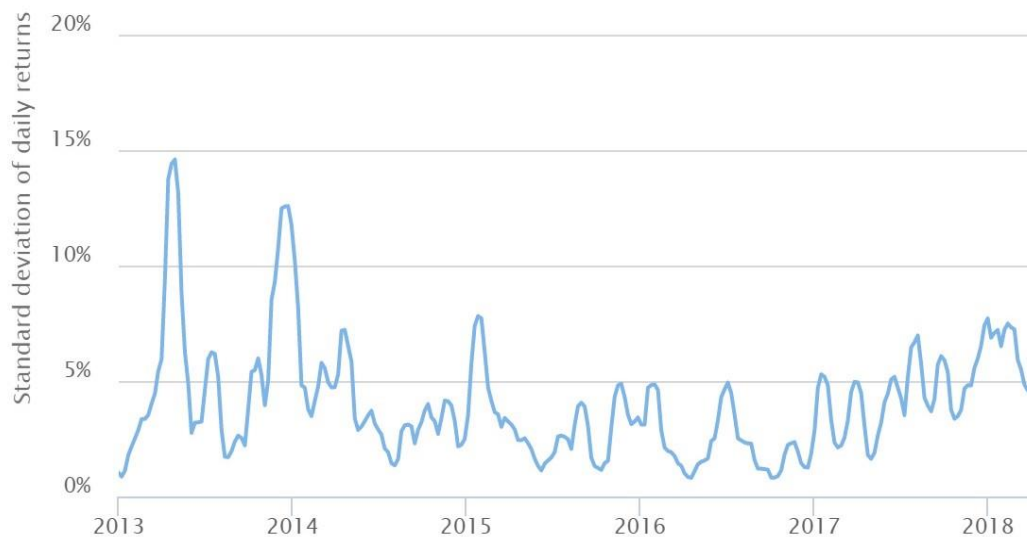
Fonte: Disponível em: <<https://blockchain.info/pt/charts/estimated-transaction-volume>>. Acesso em: 07 abr. 2018.

O sistema de pagamentos proporcionado pelo protocolo Bitcoin® movimentou seis trilhões de dólares desde sua criação. Novas empresas e bolsa de valores estão se organizando para criar novos produtos e serviços financeiros, proporcionando ainda mais crescimento a esse mercado. A bolsa de valores de Chicago *CME Group*, por exemplo, lançou no fim de 2017 o serviço de contratos futuros de *bitcoin*. A bolsa de valores eletrônica *Nasdaq* também pretende lançar o serviço, porém a operadora de câmbio está examinando como poderia criar algo diferente das atuais propostas de seus rivais, e demonstra interesse nesse mercado em crescimento, destacando o importante papel das moedas digitais para o futuro da economia global¹².

A Figura 9 ilustra a volatilidade da bitcoin no período de cinco anos, utilizando o desvio padrão dos retornos diários dos 30 dias anteriores. Os picos de alta e de baixa destacam as rápidas variações sofridas pela taxa de câmbio entre a *bitcoin* e o dólar no período de cinco anos.

¹² Bloomberg. Disponível em: <https://www.bloomberg.com/news/articles/2018-01-24/nasdaq-ceo-says-exchange-is-still-evaluating-bitcoin-futures>. Acesso em: 12 abr. 2018.

Figura 9 - Volatilidade da taxa de câmbio da bitcoin em dólares americanos utilizando o desvio padrão dos retornos diários dos 30 dias anteriores.



Fonte: Disponível em: <btcvol.info>. Acesso em: 19 abr. 2018.

A alta volatilidade da taxa de câmbio da *bitcoin* é vista por muitos autores como prejudicial para a sua consolidação da moeda, dados os custos que as rápidas mudanças de preços trazem para os consumidores e comerciantes. Segundo Yermack (2013) para que a moeda se torne mais do que uma curiosidade e se estabeleça como moeda genuína, seu valor diário precisará se tornar mais estável, dado que uma volatilidade excessiva é comumente atribuída a investimentos especulativos.

Uma parte considerável do comportamento do preço da *bitcoin* pode estar atrelado a entrada de novos indivíduos, atraídos pela moeda virtual como um novo sistema de pagamentos ou como um investimento, a Lei de Metcalfe traz uma abordagem interessante nesse contexto. A Lei de Metcalfe descreve a conectividade entre n usuários, ao passo que quanto mais usuários ingressam em uma determinada rede, maior é o seu valor. O valor da rede é proporcional ao quadrado do número de usuários, ou seja, cresce de forma não-linear,

$$\frac{n(n-1)}{2}$$

A lei é baseada em conexão em pares, assim quanto mais a rede cresce, maior é o benefício gerado para os demais membros. Um exemplo usual seria a rede telefônica, onde um único usuário não oferece e nem obtém valor nenhum. Porém quando novos usuários começam a usar a rede telefônica o sistema vai se tornando vantajoso, permitindo a comunicação entre os usuários. Esse efeito é conhecido em economia como externalidade de rede, também presente na internet e é claro na moeda *bitcoin*.

Peterson (2017) elabora um modelo econométrico baseado na Lei de Metcalfe. O autor modela o preço da *bitcoin* como uma rede, onde Y_t é o preço da *bitcoin*, e X_t é dado pelo relação entre carteiras (*wallets*) e número de *bitcoins* criadas¹³:

$$\ln(Y_t) - \rho \ln(y_{t-1}) = \alpha_0(1 - \rho) + \beta_0[\ln X_t - \rho \ln X_{t-1}] + u_t$$

Figura 10 - Resultados da regressão encontrados por Peterson (2017).

Bitcoin Price as a Function of Metcalfe Value				
Multiple R	0.92			
R Square	0.85			
Adjusted R Square	0.84			
Standard Error	0.22			
Observations	23.00			
	<i>Coefficients</i>	<i>Standard Error</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-value</i>
Intercept (unadjusted)	(0.34)	0.15	(2.27)	0.03
LFD Metcalfe Value	1.31	0.12	10.90	0.00

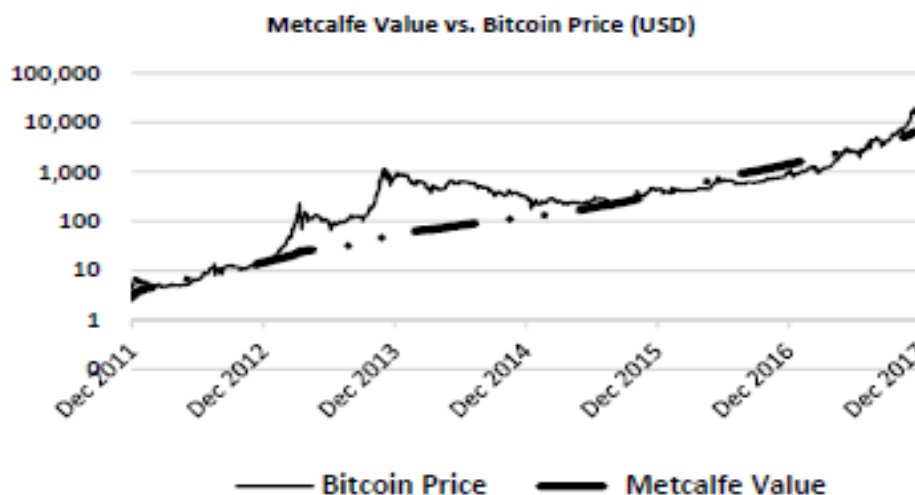
Fonte: Peterson (2017, p. 15).

Procurando modelar o valor de equilíbrio da *bitcoin* baseado em fatores associados à oferta (número de *bitcoins*) e demanda (número de carteiras), o autor chega a resultados interessantes. No médio a longo prazo, o preço da *bitcoin* parece seguir a Lei de Metcalfe com R^2 acima de 80% na maioria do período utilizado no modelo. Ou seja,

¹³ A relação é dada pela equação $X_t = \frac{\ln(M_t)}{b_t}$, onde M_t é a equação de Metcalfe $\frac{n(n-1)}{2}$ multiplicada por um fator de proporcionalidade A. E b_t é o número de *bitcoins* criadas ao longo do tempo. O autor determina $p \approx 0.81$.

os resultados indicam que, o *preço* da bitcoin ao longo do tempo cresce conforme mais indivíduos utilizam esse sistema de pagamento (rede), e quanto mais indivíduos utilizam a moeda virtual, mais valiosa a rede se torna, como ilustra a Figura 11:

Figura 11 - Relação entre preço de bitcoin e o valor Metcalfe para o período de dez.2011 a dez.2017.



Fonte: Peterson (2017, p. 15).

Peterson (2017) atribui o alto grau de ajuste obtido pelo modelo pelo fato de que uma das leis básicas de rede foi atendida, a de homogeneidade das transações. Porém, as conclusões do autor englobam somente o médio e longo prazo, analisando o preço da *bitcoin* somente pela entrada de novos usuários na rede, dessa maneira, omite os efeitos econômicos de curto prazo sobre a moeda virtual, e outros possíveis fatores exógenos.

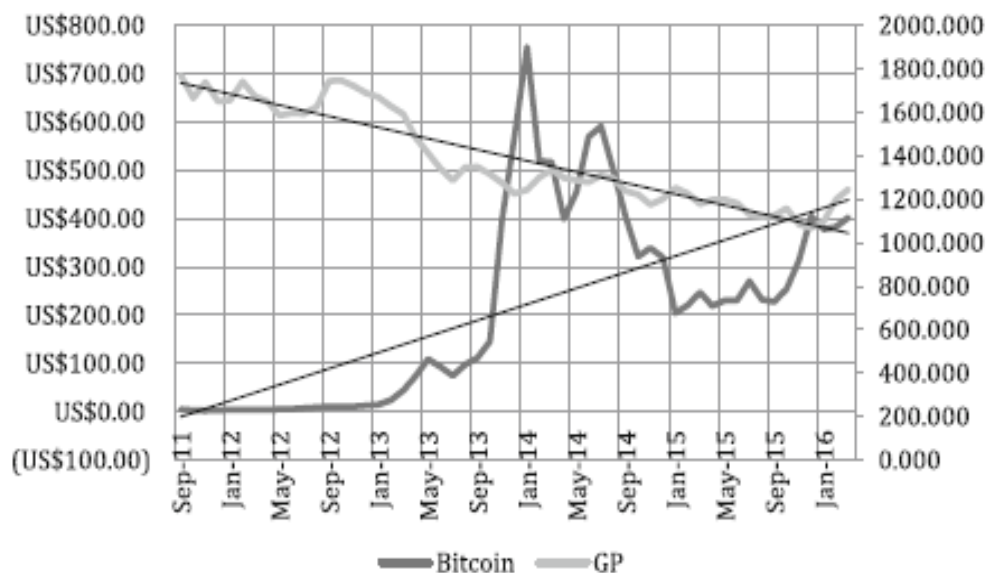
Outras abordagens têm sido trazidas por diversos autores para tentar explicar os fatores que afetam o preço da *bitcoin*, além do mecanismo de oferta e demanda. Zhu e Li (2017) utilizam de um modelo econométrico VAR/VEC para analisar os possíveis efeitos de determinadas variáveis econômicas sobre o preço da moeda virtual, como o Índice de Preços ao Consumidor (CPI), Dow Jones Industrial Average (DJIA), Índice do dólar americano (USDI), Federal Funds Rate (FFR) e o preço do ouro (GP)¹⁴. Os autores

¹⁴ As variáveis são as mesmas utilizadas por pesquisas relacionadas ao preço do ouro pela literatura especializada. A escolha destas variáveis provém principalmente do interesse em descobrir se há relação entre o preço do ouro e o preço da *bitcoin*.

realizaram também um teste de cointegração de Johansen, com objetivo de verificar a velocidade de integração das variáveis do curto para o longo prazo. Os resultados encontrados pelos autores foram de que no curto prazo as variáveis CPI, GP e USID influenciam o preço da *bitcoin*.

Já no longo prazo as variáveis CPI, DJIA, FFR e USDI possuem um efeito negativo sobre o preço, indicando que no mercado a *bitcoin* se comporta como o ouro como ativo financeiro. Porém no longo prazo, o preço do ouro não tem influência sobre o preço da *bitcoin*, como ilustra a Figura 12:

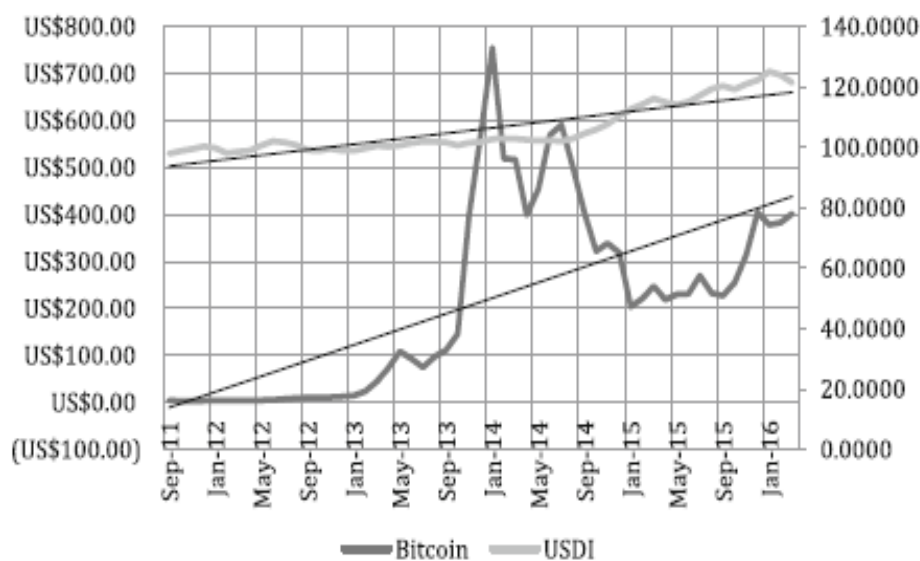
Figura 12 - Linhas de tendência dos preços da bitcoin e do preço do ouro (GP) para o período de set. 2011 a jan. 2016.



Fonte: Zhu e Li (2017).

Já o USDI apresenta a maior influência sobre o preço da *bitcoin* dentre as variáveis escolhidas, tanto no curto quanto no longo prazo, seguido pelo DJIA. Assim a moeda virtual pode funcionar como hedge contra o dólar americano ou algum outro investimento, em casos de desvalorização da moeda tradicional ou em movimentos bruscos de preços nas bolsas de valores. Como ilustrada pela Figura 13:

Figura 13 - Linhas de tendência dos preços da bitcoin e do USDI para o período de set. 2011 a jan.2016.



Fonte: Zhu e Li (2017).

Os autores por considerarem a *bitcoin* mais como um ativo do que uma moeda real, concluem que, o preço da *bitcoin* pode ser influenciado por índices macroeconômicos e por índice de preços de ativos, ou seja, que a moeda virtual não é só cotada pelo simples mecanismo de oferta e demanda do mercado.

Outros fatores parecem influenciar o preço da *bitcoin*, sobretudo políticas de curto prazo pelos países ao redor do mundo. Em novembro de 2016, o Governo da Índia anunciou a desmonetização das notas de quinhentas e mil rúpias, o governo indiano alegou ter como objetivo o combate a economia paralela e o mercado negro. Porém tal medida repentina levou a economia a uma forte contração, principalmente pela grande maioria dos indianos utilizarem o dinheiro físico para realizar suas transações. A política monetária do governo fez com que o interesse dos indianos pela *bitcoin* aumentasse, disparando o preço da moeda virtual em relação à rupia nos dias seguintes a desmonetização. Efeito similar aconteceu no mesmo período com a economia venezuelana, fruto também de política de desmonetização por parte do governo. Bouoiyour e Selmi (2017) relacionam também a incerteza do cenário econômico pós Brexit, das eleições de 2016 dos EUA e também as desvalorizações do yuan na China como prováveis causadores de mudanças abruptas no preço da *bitcoin*, causadas não

somente pelos residentes desses países citados, mas também pela avaliação dos mercados financeiros globais.

2.4 Críticas à bitcoin

Embora o protocolo Bitcoin® tenha proporcionado um novo sistema de pagamento robusto e diferente dos tradicionais, a moeda é alvo de constantes críticas em relação ao seu uso, principalmente pela possibilidade de anonimato que ela proporciona. O comércio ilegal de drogas via internet foi um dos primeiros mercados a utilizar a moeda virtual para realizar transações. Em 2011, o *Silk Road* foi o primeiro site a comercializar produtos ilícitos totalmente pela internet. O site servia como mediador entre vendedores e compradores de drogas, cobrando um percentual de comissão proporcional ao valor transacionado. Estima-se que nos seus dois anos e meio de atividade o site tenha movimentado cerca de 1.2 bilhões de dólares, e tenha arrecadado aproximadamente 80 milhões de dólares em comissões¹⁵, todas pagas ao criador e moderador do site Ross Ulrich, também conhecido pelo pseudônimo de “*Dread Pirate Roberts*”.

O anonimato das transações realizadas no *Silk Road* era obtido através da *deep web*, de modo que o site não era possível ser encontrado em uma conexão comum à internet. Para ter acesso, o usuário precisava utilizar o navegador *TOR (The Onion Router)*, que mascara o endereço do IP do computador, e impossibilita o seu rastreamento. Apesar de Ross Ulrich conseguir manter o anonimato por um longo período, o criador do site foi preso em uma ação conjunta do FBI com departamentos antidrogas dos EUA em 2013. Apesar do fechamento do site com a prisão de Ulrich, muitos outros sites de venda de produtos ilícitos inspirados no *Silk Road* surgiram após 2013, como por exemplo: *Sheep Marketplace*, *Black Market Reloaded* e *Silk Road 2.0*. Porém esses novos sites passam por constantes reformulações, tendo como foco a melhoria do seu sistema de segurança, para que não sejam pegos e punidos pelas suas irregularidades. Assim, o principal argumento dos críticos à *bitcoin* é o aspecto de anonimato que a moeda traz para o indivíduo que a possui, podendo ser usado não só para compra de produtos ilícitos, mas também para lavagem de dinheiro e outros crimes.

¹⁵ GDPO Situation Analysis: Silk Road and Bitcoin. Disponível em: <https://www.swansea.ac.uk/media/GDPO%20SA%20silk%20rd%20rise%20again.pdf>. Acesso em: 25 abr. 2018.

Com o crescimento e popularização da *bitcoin* inúmeras empresas surgiram oferecendo serviços na área financeira – denominadas de *exchanges* – tendo como foco operar no mercado de dólares, iene e outras moedas. Vários foram os casos de empresas que tiveram seu banco de dados invadidos por *hackers*, levando conseqüentemente ao roubo de *bitcoins* de clientes. Um dos casos mais famosos aconteceu no Japão em 2014, com a *exchange Mt. Gox*, na época a maior empresa do ramo. Foram cerca de 750.000 *bitcoins* roubados, gerando milhões em prejuízos e conseqüentemente a falência da empresa. Até hoje a *Mt. Gox* luta judicialmente na restituição dos danos.

Já Robert Shiller, ganhador do prêmio Nobel de economia denominou a *bitcoin* como “apenas um experimento interessante”. Para o economista a tecnologia da *block chain* por trás da moeda virtual é valiosa, porém não se encaixa perfeitamente para o uso como moeda: “We’re over-emphasising Bitcoin, we should broaden it out to blockchain, which will have other applications.” (SHILLER, 2018)¹⁶. Após a abrupta alta no preço da *bitcoin* no final de 2017, Shiller reforçou as críticas direcionadas a moeda virtual, alegando que a *bitcoin* seria um exemplo clássico de bolha financeira, similar a criada pela “*irrational exuberance*” da crise das tulipas na Holanda em 1636, e a crise imobiliária de 2008.

Outro ponto interessante a ser discutido são os custos ambientais na transação e criação de novas *bitcoins* e das demais criptomoedas. Para realizar uma única transação de *bitcoin* é necessária energia equivalente a consumida por uma residência comum no período de uma semana. Como milhares de transações são realizadas diariamente, cada vez mais energia é demandada, sendo necessário utilizar cada vez mais recursos naturais. Isso faz com que as grandes mineradoras de criptomoedas procurem locais onde a energia é mais barata, ou seja, países que utilizam fontes de energia geralmente mais poluentes, como é o caso da China que utiliza a queima de carvão e hidroelétricas. Desse modo, com os crescentes problemas ambientais e climáticos ao redor do mundo, a crítica é focada principalmente no argumento de que a *bitcoin* estaria consumindo uma grande quantidade de energia, sem gerar nenhum retorno benéfico à sociedade. Também se questiona qual seria o real propósito da existência desse tipo de moeda, e a possibilidade da utilização da tecnologia da *block chain* na solução dos principais problemas ambientais. (ATKIN, 2017).

¹⁶ The World Economic Forum. Disponível em: <https://www.weforum.org/agenda/2018/01/robert-shiller-bitcoin-is-just-an-interesting-experiment/> Acesso em: 20 abr. 2018.

Apesar de muitas críticas e questionamentos provenientes principalmente da mídia, a tecnologia da *block chain* conjuntamente com o *proof-of-work* têm oferecido mecanismos de segurança robustos, proporcionando características descentralizadoras para a *bitcoin*. Até o presente momento ataques de *hackers* não obtiveram êxito em derrubar o sistema, roubar moedas ou alterar qualquer configuração no núcleo do sistema. Porém, o sistema da *bitcoin* funciona com chaves assimétricas, de modo que a segurança do sistema depende também do usuário final, que possui a chave privada da carteira contendo as *bitcoins*. Desse modo, por mais que o protocolo Bitcoin® seja seguro, os equipamentos eletrônicos ou os dispositivos móveis podem não ser, fazendo com que por algum descuido, por falta de conhecimento, ou por furos na segurança digital das *exchanges*, o detentor de *bitcoins* esteja correndo o risco de ter suas moedas virtuais furtadas.

3 COMPETIÇÃO MONETÁRIA E A DINÂMICA EVOLUCIONÁRIA

3.1 A Competição Monetária

Os efeitos que a *bitcoin* pode causar na economia e nas moedas tradicionais (fiduciárias) vem sendo cada vez mais discutidas pela literatura especializada. Dada as características singulares da *bitcoin*, a competição monetária gerada pela entrada da moeda virtual pode gerar diferentes impactos na economia, demandando óticas diferentes na condução de políticas monetárias por parte dos bancos centrais.

Krawisz (2014) analisa um cenário onde a presença da *bitcoin* induziria a uma desmonetização das moedas tradicionais, levando a um cenário de domínio total da *bitcoin*, fenômeno chamado de *hyperbitcoinization*, com alusão ao fenômeno de *hyperinflation* (hiperinflação). Para o autor há duas diferenças essenciais nesses dois fenômenos. Primeiro, a *hyperinflation* acontece restritamente pela competição entre moedas fiduciárias, já a *hyperbitcoinization* acontece pela competição das moedas fiduciárias contra a *bitcoin*. A diferença entre esses dois fenômenos ocorre pelo fato de que o controle de capital é muito mais efetivo com moedas tradicionais, facilitando a administração por parte dos bancos centrais; já a *bitcoin* consegue atravessar fronteiras mais facilmente, com a vantagem, nesse caso, de não possuir estatização. Segundo, a *hyperbitcoinization* seria um fenômeno com transição voluntária da moeda tradicional para a *bitcoin*. Essa transição seria muito menos danosa que a hiperinflação, e segundo o autor, poderia até mesmo gerar aumento de produtividade e geração de riqueza.

O fenômeno da *hyperbitcoinization* poderia ser desencadeado por uma procura massiva de *bitcoins* por parte de indivíduos que estejam passando por crises em suas moedas nacionais, ou até mesmo utilizando a moeda virtual como instrumento de especulação. Rochard (2014) ilustra um cenário de um país onde há um aumento repentino de procura por *bitcoins*, impulsionado por crises constantes na moeda nacional, levando há um aumento do preço da *bitcoin* em relação a moeda nacional. Esse aumento do preço interno abriria a possibilidade de operações de arbitragem, comprando *bitcoins* no estrangeiro, em tese mais barato, e vendendo domesticamente por um preço mais elevado. Esse fenômeno, segundo o autor, faria com que a *bitcoin* ganhasse valor e importância, não como veículo de especulação, mas como moeda de referência, substituindo as moedas tradicionais. Assim, Rochard (2014) conclui que, aos poucos a

moeda boa (*bitcoin*) expulsaria totalmente a moeda ruim (tradicional), fazendo uma alusão a *Thier's Law*¹⁷.

Apesar do cenário pouco provável de completa dominância da *bitcoin* exposta por Krawisz (2014), a moeda virtual tem ganho forte adesão por parte dos agentes da economia. O constante crescimento na utilização da *bitcoin* pode ser explicada por dois fatores básicos. Primeiro, a redução de assimetria de informação, devido ao aumento do conhecimento do público sobre o funcionamento da *bitcoin*. Segundo, pelo o aumento de liquidez proporcionado pela moeda virtual, aumentando a atratividade do mercado pelo seu uso. Apesar disso, até o presente momento o FMI não possui uma estratégia clara para lidar com o crescimento da *bitcoin*. Como exposto anteriormente, Plassaras (2013) argumenta que o FMI possui um sistema de quotas, no qual cada país membro deposita no fundo uma quantia em dinheiro, dependendo da sua importância. Porém esse sistema só compete a países membros, sendo assim, o fundo só possui moedas fiduciárias como reserva. Como a *bitcoin* é uma moeda sem estatização, ela não é componente da reserva monetária do FMI. Assim, o fundo deixa os bancos centrais mais vulneráveis a possíveis ataques especulativos, crises financeiras, ou diferentes cenários econômicos tendo a *bitcoin* como instrumento.

Dada a incapacidade atual do FMI de prover uma quantidade segura de reservas em *bitcoin*, algumas alternativas vêm sendo propostas pelos bancos centrais e pela literatura especializada. Uma alternativa interessante, que vem ganhando destaque é a criação de uma criptomoeda própria dos bancos centrais, as chamadas CBCCs (Central Bank Cryptocurrencies), sendo a criação da Fedcoin, a CBCC da Federal Reserve, a proposta mais discutida atualmente. A Fedcoin funcionaria com o mesmo sistema da *bitcoin*, porém a criação da moeda seria de exclusividade da Federal Reserve. A conversão funcionaria de um para um com o dinheiro tradicional.

Fedcoins would only be created (destroyed) if an equivalent amount of cash or reserves were destroyed (created) at the same time. Like cash, Fedcoin would be decentralised in transaction and centralised in supply. ” (BECH, GARRATT, 2017, p. 63).

¹⁷ Conhecida também como Lei de Gresham em reverso, a lei refere-se à contextos onde a “moeda boa” é expulsada de circulação a “moeda ruim”.

A principal vantagem das CBCCs seria a diminuição da alta volatilidade, comum na *bitcoin* e nas outras criptomoedas, já que a conversão de um para um e a credibilidade do Federal Reserve fariam com que a moeda fosse mais estável. A outra vantagem para os bancos centrais seria o controle maior sobre esse mercado, já que a Fedcoin seria uma alternativa direta à *bitcoin*. Também há a discussão sobre um possível pagamento de juros sobre as CBCCs, que impulsionaria a atratividade pela Fedcoin, mas que em partes, descaracterizaria o conceito por trás da moeda virtual.

Apesar das vantagens, a implementação das CBCCs criaria riscos potenciais a economia. A velocidade das corridas bancárias seriam maiores, dado que os indivíduos seriam capazes de converter facilmente seu dinheiro dos bancos comerciais para os CBCCs dos bancos centrais. Similar à *bitcoin*, as CBCCs possuiriam conexão P2P (*peer-to-peer*), característica essencial das moedas virtuais, diminuindo a importância dos bancos comerciais, pois a conexão P2P faz com que a importância do intermediador das transações financeiras seja reduzida.

There could also be risks to the business models of commercial banks. Banks might be disintermediated, and hence less able to perform essential economic functions, such as monitoring borrowers, if consumers decided to forgo commercial bank deposits in favour of retail CBCCs. (BECH, GARRATT, 2017, p. 63).

Outro fator importante a ser analisado é o mecanismo de oferta de *bitcoins* especificada pelo protocolo. O mecanismo de oferta monetária foi criado simulando um processo de escassez, similar a metais preciosos e outras *commodities*. Dado que a taxa de crescimento da oferta monetária de *bitcoins* é fixa e predeterminada, ela funciona de forma independente, ou seja, não atrelada diretamente ao comportamento das variáveis reais da economia. Esse mecanismo de oferta de *bitcoins* funciona de modo similar à “*k-percent rule*”, proposta por Milton Friedman (Friedman, 1960, p. 90). Dada a oferta limitada no longo prazo, no curto prazo o preço da *bitcoin* em relação à moeda tradicional aumentará até um certo ponto de inflexão, mais precisamente, até que a ampla utilização da moeda virtual faça com que os preços de bens e serviços em termos de *bitcoin* comecem a cair continuamente, causando deflação gradativamente. Consequentemente, diante de um cenário de deflação, haveria um grande incentivo para acumular *bitcoins*, com esperança de valorização futura, dado a sua escassez gradual. (ELWELL et. al., 2013,

p. 7). O fato da *bitcoin* ser uma moeda inelástica, ou como denominou Selgin (2013), uma “*synthetic commodity money*”, cria a possibilidade de maior estabilidade macroeconômica, dado o modo automático com que o sistema da *bitcoin* fornece sua base monetária. A possível característica estabilizadora e imparcial da *bitcoin* cria um atrativo para novos usuários da moeda, e assim, dificulta ainda mais o papel dos bancos centrais como instituição provedora de políticas monetárias.

Levando em consideração a Teoria Quantitativa da Moeda (TQM), dado um cenário de convivência entre *bitcoins* e moeda tradicional, a moeda virtual poderia causar impacto direto na condução de políticas monetárias, afetando diretamente a quantidade de moeda tradicional, e influenciando a velocidade (taxa de circulação) do dinheiro na economia (ELWELL et. al., 2013, p. 4). Um aumento gradual da procura por *bitcoins* levaria um aumento na velocidade de circulação das moedas tradicionais, dado a diminuição da necessidade de mantê-las em posse. Esse aumento na velocidade da moeda poderia levar a uma inflação de curto prazo, forçando os bancos centrais a adotar políticas monetárias para conter a inflação. Porém, um aumento substancial no uso de *bitcoins*, e ao mesmo tempo, uma diminuição substancial do uso da moeda tradicional, tenderia a reduzir o tamanho e a capacidade do banco central de realizar política monetárias, dificultando ainda mais o equilíbrio financeiro via operações no mercado aberto, e a determinação da taxa de juros de curto prazo, instrumentos comuns de políticas monetárias voltadas para o controle da inflação (ELWELL et. al., 2013, p. 4).

Como colocado pelo Bank for International Settlements (2015), o efeito das moedas virtuais na implementação de políticas monetárias dependerá da mudança na demanda por reservas bancárias, ou seja, pela possibilidade de substituição do atual sistema existente em direção às moedas virtuais. Outro fator importante é o grau de interconexão econômica e financeira entre os agentes que utilizam a moeda tradicional com os agentes que utilizam a moeda *bitcoin*. Além disso, a inclusão gradativa da moeda virtual na economia levanta questões técnicas de mensuração de agregados monetários.

A significant expansion of digital currencies could also raise a number of technical issues regarding the appropriate definition of monetary aggregates, especially if the digital currencies were not denominated in the sovereign currency. In a monetary policy regime heavily focused on the growth of monetary aggregates, such measurement difficulties could create some

complications for monetary policy implementation. (BANK OF INTERNATIONAL SETTLEMENTS, 2015, p. 16).

Portanto, como exposto nessa seção, os impactos da utilização da *bitcoin* abrangem vários aspectos. Ao mesmo tempo que a moeda virtual proporciona um modo alternativo aos sistemas tradicionais, funcionando fora do sistema bancário tradicional, a *bitcoin* pode, na medida que se tornar mais estável, desencadear corridas aos bancos, e principalmente, dificultar a efetividade das políticas monetárias dos bancos centrais, sobretudo no controle da inflação. A possibilidade de diminuir a representatividade dos bancos centrais, e assim criar um ambiente ainda mais incerto economicamente, faz com que a *bitcoin* seja um objeto de estudo ainda mais interessante.

3.2 Elementos de Jogos Evolucionários

Silveira (2001, cap. 2) traz alguns elementos básicos da teoria dos jogos evolucionários, mostrando a evolução da teoria, que se inicia pelos trabalhos dos autores J. Maynard Smith e G. Price no campo da Biologia. Esses dois autores, utilizando das concepções da teoria dos jogos, e o seu poder de análise de tomada de decisões interdependentes, por jogadores racionais, e em ambientes sociais, puderam fazer uso dessa teoria para o estudo da evolução biológica.

A utilização da teoria dos jogos no estudo dos fenômenos biológicos requereu uma redefinição de conceitos. O conceito de *payoff* (resultados) passou a ser medido como o grau de sucesso reprodutivo, enquanto as estratégias em características comportamentais, transmitido entre gerações, por um mecanismo de *hereditariedade*. Por sua vez, o processo de seleção natural passou a assumir destaque em relação à figura do tomador de decisão plenamente racional, referente à teoria dos jogos. Tomou-se como dada a ideia de que os seres humanos são os únicos seres que se aproximam de uma figura subjetiva de um jogador racional, descartando o axioma da racionalidade, passando a interpretar os animais como simples unidades mecânicas, que herdaram um padrão de comportamento.

Como coloca Silveira (2001, cap. 2), o caminho de volta começou a ser trilhado recentemente, isto é, a aplicação da estrutura de jogos evolucionários nos ambientes sociais, trouxe novamente a questão do papel do axioma da racionalidade. Assim, para

que um ambiente social seja considerado *evolucionário* há certas características que precisam ser mantidas. Como bem salienta Vega-Redondo (1996, p. 1), a modelagem evolucionária deve conter pelo menos, uma das três forças típicas do chamado processo evolucionário: seleção, hereditariedade e mutação. Assim, unidades mínimas de comportamento assumem o papel de um jogador, capaz de escolher autonomamente uma entre uma coleção de estratégias possíveis, todavia, não são mais agentes perfeitamente racionais, dessa maneira, não são capazes de entender todos os efeitos resultantes das suas escolhas de estratégias.

Como aponta Silveira (2001, cap. 2) uma *dinâmica de seleção* são, do ponto de vista matemático, sistemas de equações diferenciais ou de diferenças finitas que possuem duas características:

(i) apresentam condições mínimas de continuidade, de modo que problemas de valor inicial possuem solução única; e (ii) o simplex unitário de dimensão apropriada é positivamente invariante, o que permite interpretar o estado do sistema como a distribuição de estratégias na(s) população(ões) em análise (Silveira, 2001, p. 45).

Além dessas características, pressupõe-se que uma dinâmica de seleção deva representar um processo de seleção, ou seja, uma estratégia que apresentar um resultado superior da média dado um conjunto de estratégias disponíveis aos agentes, deverá exibir uma taxa de crescimento positiva. Weibull (1996, p. 149) denomina essa propriedade da dinâmica de seleção de *positividade dos resultados*. Já quando uma estratégia proporciona um melhor resultado do que outra estratégia, a taxa de crescimento da primeira será maior do que a respectiva taxa dessa última estratégia. Weibull (1996, p. 144) denomina tal propriedade de *monotonicidade dos resultados*.

Como indica Weibull (1996, p. 152), em ambientes sociais onde agentes interagem com racionalidade limitada a *adaptação por imitação míope* tem se estabelecido como um dos fundamentos para a derivação de dinâmicas de seleção. Como o autor aborda, os modelos de jogos evolucionários em processos de imitação possuem dois elementos essenciais: a *taxa de revisão* e as *probabilidades de escolha* de um agente revisor. A taxa de revisão refere-se ao número médio de vezes que um determinado agente revisa sua estratégia por intervalo de tempo. Já a probabilidade de escolha refere-se a chance que

um agente que escolheu uma determinada estratégia mudar para outra estratégia dado o conjunto disponível. Como argumenta Weibull (1996, p. 152), dada uma população finita, a taxa média de revisão de um agente pode ser considerada como uma taxa de chegada de um processo de Poisson, isso significa que, a taxa com que o agente revisa sua estratégia em um determinado período de tempo pode ser tratada como uma variável aleatória.

Obtém-se então, a dinâmica de seleção fundamentada em um processo de imitação em um ambiente social, dada pela equação:

$$\dot{x}_t = x_1(1 - x_1)[F(\pi_1(x) - \pi_2(x)) - F(\pi_2(x) - \pi_1(x))], \quad (3)$$

sendo $x_1(1 - x_1)$ a probabilidade da mudança de estratégia, e a o termo multiplicador, referentes as funções de diferença de *payoffs*. Como salienta Weibull (1996), cada agente estabelece um retorno mínimo desejável, ao qual está disposto a adotar à estratégia escolhida dentro de um conjunto de estratégias possíveis. A cada período o indivíduo observa o *payoff* da estratégia escolhida, com o obtido pela sua estratégia atual, e compara com o *payoff* escolhida por outro indivíduo, e decide se muda ou não de estratégia. Essa dinâmica de escolha gera um fluxo de agentes trocando de estratégias, em uma espécie de microfluxos que se balanceiam macroeconomicamente.

A dinâmica de seleção dessas estratégias apresenta dois tipos básicos de equilíbrio: equilíbrio de estratégia pura (ou monomórfico), e equilíbrio de estratégia mista (ou polimórfico). No equilíbrio de estratégia pura, o equilíbrio é dado pela adoção de uma estratégia em detrimento da completa extinção da outra estratégia, no conjunto estabelecido. Já no equilíbrio de estratégias mistas, não há extinção de estratégias. Nesse tipo de equilíbrio, há agentes de tipos diferentes que passam a adotar estratégias diferentes a todo tempo, em uma espécie de fluxo.

Weibull (1996) aborda ainda as diferenças idiossincráticas entre as preferências dos agentes, isto é, as preferências individuais de cada agente que escolhe uma estratégia dentre um conjunto de estratégias. Para o autor, as preferências dos agentes juntamente com o *payoff* de cada estratégia passam a ser os verdadeiros resultados de adotar uma determinada estratégia. Assim, a probabilidade de cada agente de escolher uma determinada estratégia torna-se a diferença entre as preferências dos agentes, e não o erro individual da observação dos agentes com preferências similares.

3.3 Coexistência de Moedas como um Equilíbrio Evolucionário

Partindo da interpretação da competição monetária como um processo social com características evolucionárias, propõe-se na presente seção um modelo de jogo evolucionário que, ao ser acoplado com uma dinâmica macroeconômica, torna possível analisar os impactos macroeconômicos das decisões microeconômicas dos agentes.

3.3.1 Cenário macroeconômico

O cenário macroeconômico no qual a análise será realizada é o mesmo utilizado por Silveira e Lima (2013), a saber, um modelo macroeconômico composto por três equações:

$$y_t - y_p = -\alpha(i_{t-1} - \pi_t^e - r_p), \quad (2)$$

$$\pi_t = \pi_t^e + \beta(y_t - y_p), \quad (3)$$

$$i_{t-1} = \pi_t^e + r_p + \gamma(\pi_{t-1} - \pi^T). \quad (4)$$

A equação (2) representa a curva IS em termos de desvio do produto y_t no período t com relação ao produto natural y_p . Seja $\alpha > 0$ uma constante paramétrica, i_{t-1} a taxa nominal de juros no período $t - 1$, $\pi_t^e = E_{t-1}(\pi_t)$ a inflação esperada em $t - 1$ que vigorará em t e r_p a taxa de juros real natural. A equação (3) refere-se a curva de Phillips expandida pelas expectativas, sendo π_t a taxa de inflação observada no período t e $\beta > 0$ uma constante paramétrica. Por fim, a equação (4) descreve uma regra de juros, sendo $\gamma > 0$ uma constante paramétrica e π^T a meta da taxa de inflação anunciada pela autoridade monetária.

Seguindo Silveira e Lima (2013), optou-se pelo uso de um modelo macroeconômico de três equações que difere, em alguns aspectos, da literatura sobre meta de inflação e política monetária. Neste, por exemplo, não há incorporação do hiato do produto passado e o hiato do produto esperado na equação correspondente à curva IS. Por sua vez, a curva de Phillips também não considera a inflação passada. Além disso, a equação da regra de juros não inclui o hiato do produto (corrente ou esperado) e da taxa de juros passada (não há suavização de juros). Finalmente, cabe destacar que nenhuma das três equações agrega um componente de choque aleatório, ou seja, as equações utilizadas não captam eventos inesperados que afetem a economia, seja positiva ou negativamente.

Diferentemente de Silveira e Lima (2013), tomaremos o valor da elasticidade α como endogenamente determinado, tal como utilizado por Almeida (2016). Como explica o autor, esta elasticidade representa a conexão entre a interação microeconômica dos agentes com o modelo macroeconômico, através do impacto do juro real no produto. De modo que, quanto menor a demanda por moeda nacional, menor a potência da política monetária, exigindo uma maior oscilação dos juros para estabilizar o produto. Ou seja, quanto menor a fração de agentes utilizando a moeda nacional, maior deverá ser as mudanças nos juros para impactar o produto. Esse mecanismo de transmissão de política monetária, sobretudo por intermédio da taxa de juros, é explicado de forma mais detalhada por Mishkin (1996) e Ireland (2005).

Assim, α pode ser tomada como uma função estritamente crescente da fração de indivíduos que optam pela moeda nacional para realizar suas transações no período anterior, x_{t-1} ou seja:

$$\alpha_t = f(x_{t-1}) > 0, \text{ com } f'(x_{t-1}) > 0 \text{ para qualquer } x_{t-1} \in (0,1) \subset \mathbb{R}. \quad (5)$$

Inserindo (4) em (2), e a função daí resultante em (3), o sistema (2)-(4) pode ser sintetizado por:

$$\pi_t = \pi_t^e - \alpha(x_{t-1})\beta\gamma(\pi_{t-1} - \pi^T). \quad (6)$$

Logo, além da taxa de inflação esperada e da meta de inflação fixada pela autoridade monetária, a taxa de inflação presente é diretamente impactada pela taxa de inflação esperada, bem como pela fração de indivíduos que estão usando a moeda nacional para realizar pagamentos.

Seguindo Silveira e Lima (2013) assumir-se-á que, em um determinado período t , as expectativas dos agentes sobre a inflação possam ser heterogêneas, sendo π_t^e uma variável agregada dessas expectativas. Em outras palavras, supõe-se que há uma fração $\lambda_t \in [0,1] \subset \mathbb{R}$, que representa a fração dos agentes que confiam plenamente que a inflação observada será a mesma que a meta anunciada pela autoridade monetária para um período t qualquer, esse agente é denominado *crédulo* quanto à efetividade da política monetária. A fração restante, $1 - \lambda_t$, representa os agentes que não acreditam na efetividade da política monetária, ou seja, os agentes *céticos* em suas expectativas.

Assim, levando em conta que os agentes criam suas expectativas sobre a inflação do período t no período $t - 1$, a expectativa da inflação pode ser dada como uma média ponderada pela distribuição de expectativas no período anterior $(\lambda_{t-1}, 1 - \lambda_{t-1})$, ou seja:

$$\pi_t^e = \lambda_{t-1}\pi^T + (1 - \lambda_{t-1})\pi_t, \quad (7)$$

Logo, inserindo (6) em (5), obtém-se o desvio da inflação observada com relação à meta do período t como uma função do desvio no período anterior, do grau de credibilidade da política monetária e da parcela dos indivíduos que usam a moeda nacional:

$$\pi_t - \pi^T = \frac{-\alpha(x_{t-1})\beta\gamma}{\lambda_{t-1}}(\pi_{t-1} - \pi^T), \text{ para qualquer } \lambda_{t-1} > 0. \quad (8)$$

Diferentemente de Silveira e Lima (2013), e por simplicidade analítica, assumir-se-á que λ_{t-1} não varia ao longo do tempo, sendo dada por uma constante $\lambda \in (0,1) \subset \mathbb{R}$ exogenamente determinada, que corresponde à fração de crédulos na efetividade da política monetária (conforme explicitado anteriormente). Sendo assim, a equação em diferenças (7) pode ser reescrita como segue:

$$\pi_{t+1} - \pi^T = \frac{-\alpha(x_t)\beta\gamma}{\lambda}(\pi_t - \pi^T). \quad (8-a)$$

3.3.2 Uma dinâmica evolucionária de competição entre moedas

Sendo a competição entre moedas (usar moeda nacional ou usar moeda virtual *bitcoin*) em um sistema econômico visto como uma característica emergente de um processo de aprendizagem individual num ambiente adaptativo, os agentes deste sistema econômico buscam recorrentemente a melhor moeda, via comparação de desempenhos destas moedas, em um ambiente macroeconômico que coevolui com esta dinâmica de escolhas de estratégias. O estudo da competição entre moedas, sob esta perspectiva, é visto como uma dinâmica de seleção de estratégias resultante de inúmeras escolhas individuais sem coordenação supraindividual. Tendo isto em consideração, o presente trabalho, ao tentar desenvolver um modelo de jogos evolucionários, permite estudar as

regras de comportamento dos agentes e as propriedades emergentes deste ambiente de interação estratégica.

Considere-se uma economia com um *continuum* de agentes. Em determinado período, cada agente desta população pode escolher entre utilizar moeda nacional para suas transações ou utilizar a moeda virtual *bitcoin*. Nessa economia os agentes estão livres para alterar sua estratégia ao longo do tempo, buscando se adaptar ao ambiente macroeconômico que coevolui com suas escolhas. Assim, com respeito à escolha da moeda a ser utilizada para transações econômicas, pode haver na economia dois tipos de agentes. O primeiro deles são os agentes do tipo *n*, aqueles que escolhem utilizar a moeda nacional; o outro tipo são os agentes do tipo *b*, aqueles agentes que escolhem utilizar a moeda *bitcoin*.

Assumir-se-á que cada tipo de agente tem um *payoff* no período *t* associado à sua escolha dado por:

$$u_j^n = u(-\pi_t - C_n), \quad (9)$$

$$u_j^b = u(\pi_t - C_b), \quad (10)$$

sendo u_j^n o *payoff* no período *t* de uma agente do tipo *n* e u_j^b o *payoff* no período *t* de um agente do tipo *b*. Nota-se que o *payoff* para cada uma dessas moedas depende da inflação da moeda nacional vigente no período, bem como dos custos associados a cada moeda, denotados por C_n (custo da moeda nacional) e C_b (custo da moeda *bitcoin*), que podem ser entendidos como taxas e encargos de transação. Daqui em diante, supõe-se que $C_b > C_n$. Ademais, assume-se que a função utilidade $u_{j,t}^s$ é diferenciável com $u'_{j,t}^s > 0$ em todo o seu domínio.

Como em Lima, Setterfield e Silveira (2014), utilizar-se-á uma dinâmica de *satisficing* para representar o processo de competição entre moedas. Em um determinado período *t*, um agente *j* do tipo $s = b, n$ compara seu *payoff* $u_{j,t}^s$ com o nível mínimo de retorno aceitável pelo uso da moeda que ele escolheu para transacionar, denotado por u_j . Se $u_{j,t}^s \geq u_j$, o agente *j* no próximo período continuará utilizando a moeda $s = b, n$ para suas transações. Caso contrário, se $u_{j,t}^s < u_j$, então o agente *j* passará a utilizar a moeda alternativa no próximo período.

Os retornos aceitáveis pelo uso da moeda dependem, entre outras coisas, de característica idiossincráticas dos agentes. Seguindo Lima, Setterfield e Silveira (2014),

assume-se que tais retornos são aleatoriamente e independentemente distribuídos entre os agentes da economia e ao longo do tempo. Formalmente, supõe-se que u_j é uma variável aleatória com função distribuição acumulada $F: \mathbb{R}_+ \rightarrow [0,1] \subset \mathbb{R}$ continuamente diferenciável. Logo, a probabilidade de um agente j escolhido aleatoriamente na população considerar seu *payoff* $u_{j,t}^s$ aceitável no período t é dado por:

$$\Pr(u_j \leq u_{j,t}^s) = F(u_{j,t}^s). \quad (11)$$

Portanto, a probabilidade de um agente j escolhido aleatoriamente na população considerar seu *payoff* $u_{j,t}^s$ inaceitável no período t é simplesmente:

$$\Pr(u_{j,t}^s < \mu_j) = 1 - F(u_{j,t}^s). \quad (12)$$

Assim, o total de agentes do tipo b que se tornam do tipo n no próximo período é dado por:

$$(1 - x_t)[1 - F(u_j^b)]. \quad (13)$$

Por sua vez, os agentes do tipo n que se tornam do tipo b no próximo período é dado por:

$$x_t[1 - F(u_j^n)]. \quad (14)$$

Dessa forma, subtraindo (13) de (14), e usando (9) e (10), obtém-se a seguinte dinâmica evolucionária do tipo *satisficing*:

$$x_{t+1} - x_t = (1 - x_t)[1 - F(u(-\pi_t - C_n))] - x_t[1 - F(u(\pi_t - C_b))]. \quad (15)$$

3.3.3 Coevolução das dinâmicas macroeconômica e evolucionária de competição entre moedas

A transição de estado do modelo de competição entre moedas é governada pelas equações (8-a) e (15), cujo espaço de estados é dado por $\Theta = \{(x_t, \pi_t) \in \mathbb{R}_+^2 : x_t \leq 1\}$

Este sistema dinâmico em tempo discreto possui um único equilíbrio. Desde que $\alpha(x_{t-1}) > 0$ para qualquer $(x_t, \pi_t) \in \Theta$, segue que $\pi_t = \pi_{t-1}$ para todo t se, e somente se, $\pi_t = \pi_{t-1} = \pi^T$. Por sua vez, se $\pi_t = \pi_{t-1} = \pi^T$, então (15) transforma-se em:

$$x_{t+1} - x_t = (1 - x_t)[1 - F(u(\pi^T - C_b))] - x_t[1 - F(u(-\pi^T - C_n))]. \quad (16)$$

Então, como $0 < F(\cdot) < 1$ em qualquer ponto do domínio, ter-se-á $x_{t+1} = x_t = x^*$ se, e somente se:

$$x^* = \frac{1 - F(u(\pi^T - C_b))}{2 - [F(u(\pi^T - C_b)) + F(u(-\pi^T - C_n))]} \quad (17)$$

A fim de avaliarmos se este equilíbrio ocorre com estratégias mistas, ou seja, sem extinção de alguma moeda (*bitcoin* ou nacional) devemos investigar em que intervalo se encontra x^* definido por (17).

Tomamos primeiro o numerador, dado que a probabilidade de que um agente escolha a moeda *bitcoin* respeita o intervalo: $0 < F(\cdot) < 1$, a seguinte condição é válida: $1 - F(u(\pi^T - C_b)) > 0$.

Analisando o denominador de (17), temos por analogia que $0 < F(u(-\pi^T - C_n)) < 1$, e portanto, $0 < F(u(\pi^T - C_b)) + F(u(-\pi^T - C_n)) < 2$, logo:

$$2 - [F(u(\pi^T - C_b)) + F(u(-\pi^T - C_n))] > 0. \quad (17.1)$$

Portanto, podemos afirmar que $0 < x^* < 1$. Em suma, a competição entre moedas governada pelas equações (8-a) e (15) apresenta um único estado de equilíbrio possível, dado por $(x^*, \pi^T) \in \Theta$.

Vejamos agora se o equilíbrio (x^*, π^T) é um atrator da dinâmica definida pelas equações de estado (8-a) e (15). Dada a forma da matriz jacobiana:

$$J(\pi_t, x_t) = \begin{bmatrix} \frac{\partial \pi_{t+1}}{\partial \pi_t} & \frac{\partial \pi_{t+1}}{\partial x_t} \\ \frac{\partial x_{t+1}}{\partial \pi_t} & \frac{\partial x_{t+1}}{\partial x_t} \end{bmatrix}, \quad (18)$$

Tomando as derivadas, e manipulando algebricamente, obtemos:

$$J(\pi_t, x_t) = \begin{bmatrix} -\frac{\alpha(x_t)\beta\gamma}{\lambda} & -\frac{(\pi_t - \pi^T)\alpha'(x_t)\beta\gamma}{\lambda} \\ -x_t F'(u(-\pi_t - C_n)) + (-1 + x_t)F'(u(\pi_t - C_b)) & -1 + F(u(-\pi_t - C_n)) + F(u(\pi_t - C_b)) \end{bmatrix}, \quad (18.1)$$

Avaliando a matriz jacobiana da linearização em torno do equilíbrio (x^*, π^T) , temos:

$$J(\pi^T, x^*) = \begin{bmatrix} -\frac{\alpha(x^*)\beta\gamma}{\lambda} & 0 \\ -x^* F'(u(-\pi^T - C_n)) + (-1 + x^*)F'(u(\pi^T - C_b)) & -1 + F(u(-\pi^T - C_n)) + F(u(\pi^T - C_b)) \end{bmatrix}. \quad (18.2)$$

cujos autovalores são $\lambda_1 = -\frac{\alpha(x^*)\beta\gamma}{\lambda}$ e $\lambda_2 = -1 + F(u(-\pi^T - C_n)) + F(u(\pi^T - C_b))$. Note que, para o autovalor λ_2 , temos $-1 + F(u(-\pi^T - C_n)) + F(u(\pi^T - C_b))$ se, e somente se, $0 < F(u(-\pi^T - C_n)) + F(u(\pi^T - C_b))$, a qual é satisfeita, pois $0 < F(x) < 1$ para qualquer $x \in \mathbb{R}$ e finito. Ademais, $-1 + F(u(-\pi^T - C_n)) + F(u(\pi^T - C_b)) < 1$ se, e somente se, $F(u(-\pi^T - C_n)) + F(u(\pi^T - C_b)) < 2$, a qual é válida, pois $0 < F(x) < 1$ para qualquer $x \in \mathbb{R}$ e finito. Em suma, o autovalor λ_2 é estritamente menor do que 1 em módulo.

Para o autovalor λ_1 , note primeiramente que, $-\frac{\alpha(x^*)\beta\gamma}{\lambda} < 0$, pois $\alpha > 0$, $\beta > 0$, $\lambda > 0$ e $\alpha(x^*) > 0$ para qualquer $x^* \in (0,1] \subset R$. Se for suposto que $-1 < -\frac{\alpha(x^*)\beta\gamma}{\lambda}$, ou seja, que $\frac{\alpha(x^*)\beta\gamma}{\lambda} < 1$, então este autovalor será estritamente menor que 1 em módulo. Em suma, a suposição de que $\frac{\alpha(x^*)\beta\gamma}{\lambda} < 1$ garante que o equilíbrio evolucionário de estratégia mista (polimórfico) será assintoticamente estável. Portanto, podemos inferir que a dinâmica inflacionária é assintoticamente estável na vizinhança do equilíbrio $(x^*, \pi^T) \in \Theta$.

Para podermos desenhar o diagrama de fases faz-se necessário primeiramente definir duas isoclinas, a saber, onde a variação de π e x são iguais a 0. A partir da equação (8-a), temos $\Delta\pi \equiv \pi_{t+1} - \pi_t = 0$, para qualquer $(x_t, \pi_t) \in \Theta$, tal que $\pi_t = \pi^T$. Portanto, a isoclina é definida por $\Delta\pi = \pi_{t+1} - \pi_t = 0$. Agora, considerando a equação (15), temos que a segunda isoclina pode ser descrita como $\Delta x_t \equiv x_{t+1} - x_t = 0$ se, e somente se, $(1 - x_t)[1 - F(u(\cdot))] - x_t[1 - F(u(\cdot))] = 0$. Isolando x_t temos:

$$x_t = \frac{1 - F(u(\pi_t - C_b))}{2 - [F(u(\pi_t - C_b)) + F(u(-\pi_t - C_n))]}, \quad (19)$$

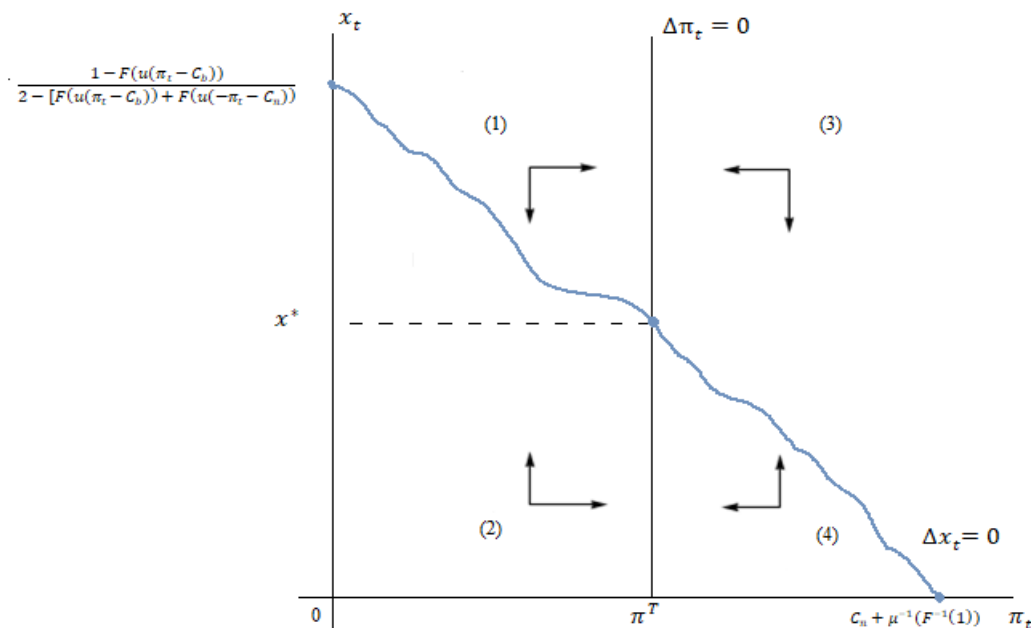
Para demonstrar que esta isoclina é contínua e possui inclinação negativa, tomamos a derivada da expressão (19) em relação a π_t , tomando $\Delta x_t = 0$, obtemos:

$$\frac{\partial x_t}{\partial \pi_t} = \frac{-F'(u(\pi_t - C_b))u'(\pi_t - C_b)\{[2 - \cdot]\} - [1 - F(u(\pi_t - C_b))] - [F'(\cdot)u'(\cdot) - F'(\cdot)u'(\cdot)]}{\{2 - [F(u(\pi_t - C_b)) + F(u(-\pi_t - C_n))]\}^2}. \quad (19.1)$$

dado que o numerador de (19.1) é estritamente negativo, podemos afirmar que $\frac{\partial x_t}{\partial \pi_t} < 0$, ou seja, que x_t é uma função contínua e estritamente decrescente com relação a π_t , em

todo o seu domínio. Assim, é possível concluir que a curva que representa a equação (19) cruzará a reta $\pi_t = \pi^T$ em um único ponto (x^*, π^T) . Dito isso, podemos traçar as curvas de demarcação conforme mostrado pela Figura 14.

Figura 14 - Diagrama de fases.



Fonte: Elaboração própria.

Supondo que a economia inicie num ponto x_0 , podendo estar situada em qualquer ponto sobre a isoclinha $\Delta x_t = 0$. Dado um choque positivo em x , fazendo com que haja um aumento do número x de agentes usando moeda nacional, de modo que x agora está acima da isoclinha, a dinâmica evolucionária fará com que a economia volte para a isoclinha $\Delta x_t = 0$, dado que $\Delta x_t < 0$ para qualquer valor de x . Esse movimento é representado pelas setas direcionais apontadas para baixo nas regiões (1) e (3) na Figura 14. Analogamente, se houver um choque negativo em x , a dinâmica evolucionária fará com que a economia novamente voltará para a isoclinha $\Delta x_t = 0$, dado que $\Delta x_t > 0$ para qualquer valor de x . Este movimento é representado pelas setas direcionais apontadas para cima nas regiões (2) e (4) na Figura 14.

Observe que, como $-\frac{\alpha(x^*)\beta\gamma}{\lambda} < 0$ para qualquer $(\pi_t, x_t) \in \Theta$ se a inflação observada estiver abaixo da meta, $0 \leq \pi_t < \pi^T$, então $\Delta\pi_t > 0$, de modo que a dinâmica

macroeconômica faz com que a inflação na economia se encaminhe para a isoclina $\Delta\pi_t = 0$. Esse movimento é representado pelas setas direcionais apontadas para direita nas regiões (1) e (2) na Figura 14. De forma análoga, dado um caso onde a inflação observada é maior que a inflação fixada como meta, a saber, $\pi_t > \pi^T$, então $\Delta\pi_t < 0$, de modo que a dinâmica macroeconômica faça com que a inflação caminhe para o ponto da isoclina $\Delta\pi_t = 0$. Esse movimento é representado pelas setas direcionais apontadas para a esquerda nas regiões (3) e (4) na Figura 14. Portanto, para a região (3), dado que $\pi_t > \pi^T$, a inflação alta impacta negativamente no *payoff* de utilizar a moeda nacional, fazendo com que a parcela de agentes utilizando a moeda nacional x diminua, e conseqüentemente o número de agentes utilizando a moeda *bitcoin* aumente. Esse movimento é ilustrado pelas setas direcionais apontadas para esquerda e para baixo na Figura 14. O raciocínio é análogo para a dinâmica das regiões (1), (2) e (4).

Com base em (17), infere-se os seguintes resultados de estática comparativa:

$$\frac{\partial x^*}{\partial c_b} = \frac{F'(u(\pi^T - c_b))[1 - F(u(-\pi^T - c_n))]}{\{2 - [F(u(\pi^T - c_b)) + F(u(-\pi^T - c_n))]\}^2} > 0, \quad (20)$$

$$\frac{\partial x^*}{\partial c_n} = \frac{-[1 - F(u(\pi^T - c_b))]F'(u(-\pi^T - c_n))}{\{2 - [F(u(\pi^T - c_b)) + F(u(-\pi^T - c_n))]\}^2} < 0, \quad (21)$$

$$\frac{\partial x^*}{\partial \pi^T} = \frac{-F'(u(\pi^T - c_b)) - F'(u(-\pi^T - c_n))}{\{2 - [F(u(\pi^T - c_b)) + F(u(-\pi^T - c_n))]\}^2} < 0. \quad (22)$$

Como esperado, as derivadas (20) e (21) permitem concluir que o aumento do custo da moeda *bitcoin* aumenta a proporção de agentes usando a moeda nacional, enquanto o aumento do custo da moeda nacional reduz sua utilização. A derivada (22) mostra que, dada as condições explicitadas no modelo, quando a meta de inflação é aumentada e, portanto, a inflação se eleva, a moeda nacional passa a ser menos utilizada pelos agentes da economia, ou seja, a proporção de agentes utilizando a moeda *bitcoin* aumenta.

Por fim, através das análises aqui expostas podemos inferir que em economias que buscam alcançar continuamente sua meta de inflação, a interação entre a dinâmica macroeconômica e a dinâmica microeconômica evolucionária de competição entre

moedas leva a economia em direção ao estado de equilíbrio no qual há coexistência entre a moeda nacional e a moeda *bitcoin*.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho teve por objetivo, analisar alguns impactos da competição monetária que a tecnologia da moeda *bitcoin* possa causar sobre as políticas monetárias de bancos centrais. A pesquisa aqui exposta, buscou retratar uma economia com a existência de duas moedas intrinsecamente diferentes (*bitcoin* e nacional) e dedicou-se a desenvolver um modelo de jogo evolucionário (uma dinâmica evolucionária do tipo *satisficing*) para representar, ainda que muito simplificada, o processo de competição entre essas duas moedas.

Deste modo, o segundo capítulo abordou o surgimento da moeda *bitcoin*, e seus aspectos técnicos, com destaque para a tecnologia *blockchain*, que permite a *bitcoin* funcionar de maneira diferente das moedas tradicionais, tendo como principal vantagem um mecanismo que possibilita transações monetárias sem a necessidade de um mediador, portanto, funcionando paralelamente ao sistema de pagamentos atual. Dado o seu mecanismo diferente, a *bitcoin* ganhou cada vez mais atenção por parte das autoridades monetárias. Buscou-se, então, retratar as principais opiniões por parte da literatura especializada, e as principais condutas por parte dos bancos centrais e outras autoridades monetárias, mostrando que a principal dificuldade na regulação da *bitcoin* reside no fato de que as autoridades monetárias não possuem total controle sobre a moeda virtual, bem como dos seus mecanismos de estabilização.

Dado o fato de que a *bitcoin* funciona de maneira diferente da moeda tradicional, o capítulo três inicia com uma explanação de alguns cenários (extremo e equilibrado) de convivência entre a moeda *bitcoin* e tradicional, bem como a competição monetária gerada a partir dessa interação. Buscou-se então expor a proposta de criação das CBCCs, ou seja, uma criptomoeda própria dos bancos centrais, mostrando que, em parte, as CBCCs poderiam gerar maior estabilidade no mercado de criptomoedas, diminuindo a alta volatilidade, aspecto comum nesse tipo de mercado. Por outro lado, as CBCCs poderiam criar corridas bancárias em momentos de crise e instabilidade econômica, bem como a gradual perda da importância dos bancos centrais. Mostrou-se também que o mecanismo de oferta monetária da *bitcoin*, que simula um processo de escassez, faz com que ao longo do tempo a moeda virtual tenda a deflacionar, gerando um incentivo de acumulação com esperança de valorização futura, desse modo, dificultando a interferência dos bancos centrais nesse mercado. Finalizando a explanação dos cenários

possíveis de competição monetária, foi exposto que a *bitcoin* pode gerar maior velocidade de circulação das moedas tradicionais, e assim gerar cenários inflacionários para a moeda tradicional.

Adiante, mais precisamente a partir da seção 3.3, e tendo como base o trabalho de Almeida (2016), o capítulo dedicou-se na elaboração de um jogo evolucionário no qual existe uma economia com a presença de duas moedas (*bitcoin* e nacional), e a partir daí, analisar a dinâmica que emerge da interação desta microdinâmica evolucionária e a macrodinâmica de uma economia sob regime monetário de metas de inflação, tendo por base um modelo de três equações utilizado por Silveira e Lima (2013). Por fim, foram analisadas as propriedades emergentes deste sistema dinâmico, e constatou-se a existência de um único equilíbrio.

Através da análise de estabilidade deste equilíbrio encontrado pode-se concluir que o equilíbrio evolucionário é assintoticamente estável. Mostrou-se que em economias que alcançam continuamente sua meta de inflação, a interação entre a dinâmica macroeconômica e a dinâmica microeconômica evolucionária de competição entre moedas leva a economia em direção ao estado de equilíbrio no qual há coexistência entre a moeda nacional e a moeda *bitcoin*.

Vale notar que os resultados aqui alcançados são semelhantes aos obtidos por Almeida (2016). Porém, o presente trabalho procurou explorar o fenômeno de competição monetária de forma analítica, como um jogo evolucionário. Já Almeida (2016), utiliza-se de um modelo computacional baseado em agentes (*agent-based model*) para obter suas conclusões.

Finalmente, podemos considerar como sugestões para trabalhos posteriores a endogeneização do grau de credulidade λ_t , tratada no presente trabalho como constante e exogenamente determinado. Dada a possibilidade de incorporar a análise do ajustamento do grau de credibilidade do regime monetário de meta de inflação, adotando que tais agentes podem incorrer em perdas monetárias se a inflação observada se desviar da meta oficial de inflação utilizada como previsor da inflação. Este caminho tornaria a análise mais próxima da realidade, embora traga complexidade analítica ao modelo apresentado. Assim, a partir do acoplamento da dinâmica evolucionária do grau de credulidade dos agentes, na forma estabelecida por Silveira e Lima (2013), com a dinâmica evolucionária proposta nesse trabalho, poder-se-ia chegar a uma dinâmica evolucionária mais apropriada.

REFERENCIAS

ALI, Robleh et al. **The economics of digital currencies**. Londres: Bank of England, 2014. (Quartely Bulletin Q3). Disponível em: <<https://www.bankofengland.co.uk/-/media/boe/files/digital-currencies/the-economics-of-digital-currencies>>. Acesso em: 14 abr. 2018.

ALMEIDA, Pedro Bueno de. **O futuro da competição monetária: O comportamento da moeda bitcoin e o seu impacto sobre políticas de bancos centrais**. 2016. 159 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ciências Econômicas, Centro Socioeconômico, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2016.

ATKIN, Emily. **The Environmental Case Against Bitcoin**. Disponível em: <<https://newrepublic.com/article/146099/environmental-case-bitcoin>>. Acesso em: 5 dez. 2017.

BACK, Adam. **Hash cash postage implementation**. 1997. Disponível em: <<http://www.hashcash.org/papers/announce.txt>>. Acesso em: 11 jun. 2018.

BANCO CENTRAL DO BRASIL. **Alerta sobre os riscos decorrentes de operações de guarda e negociação das denominadas moedas virtuais**. 2017. Disponível em: <<http://www.bcb.gov.br/pre/normativos/busca/normativo.asp?numero=31379&tipo=Comunicado&data=16/11/2017>>. Acesso em: 12 abr. 2018.

BANK OF INTERNATIONAL SETTLEMENTS. **Digital Currencies**. Basel, 2015. Disponível em: <<https://www.bis.org/cpmi/publ/d137.pdf>>. Acesso em: 15 jun. 2018.

BECH, Morten; GARRATT, Rodney. Central bank cryptocurrencies. **Bis Quarterly Review**. [s.i], p. 63. Set. 2017. Disponível em: <https://www.bis.org/publ/qtrpdf/r_qt1709f.pdf>. Acesso em: 15 maio 2018.

BOUOYOUR, Jamal; SELMI, Refk. **The Bitcoin price formation: Beyond the fundamental sources**. 2017. Disponível em: <<https://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/1707/1707.01284.pdf>>. Acesso em: 16 abr. 2018.

BÖHME, Rainer; CHRISTIN, Nicolas; EDELMAN, Benjamin; MOORE, Tyler. Bitcoin. **Harvard Business School: Journal of Economic Perspectives**. [s.i], p. 1-31. 15 jul. 2014.

DAI, Wei. **B-money**. 1998. Disponível em: <<http://www.weidai.com/bmoney.txt>>. Acesso em: 11 jun. 2018.

ELWELL, C.; MURPHY, M.; SEITZINGER, Michael. Bitcoin: Questions, Answers, and Analysis of Legal Issues. **Congressional Research Service**. 2013. Disponível em: www.fas.org/sgp/crs/misc/R43339.pdf. Acesso em: 06 jun. 2018.

FRIEDMAN, Milton. **A Program for Monetary Stability**. New York: Fordham University Press, p. 90, 1960.

GERSTEIN, Irving R.; HERVIEUX-PAYETTE, Céline. **Digital Currency: You can't flip this coin!**. Report of the Standing Senate Committee on Banking, Trade and Commerce, 2015. Disponível em: <<https://sencanada.ca/content/sen/Committee/412/banc/rep/rep12jun15-e.pdf>>. Acesso em: 15 abr. 2018.

GRINBERG, Reuben. Bitcoin: An Innovative Alternative Digital Currency. **Hastings Science & Technology Law Journal**, [s.i], p.160-181, 11 nov. 2011.

KRAWISZ, Daniel. **Hyperbitcoinization**. 2014. Disponível em: <<https://nakamotoinstitute.org/mempool/hyperbitcoinization/>>. Acesso em: 16 abr. 2018.

IRELAND, Peter N. The Monetary Transmission Mechanism. **Federal Reserve Bank of Boston: Working Papers**. Boston, nov. 2005. Disponível em: <<https://www.bostonfed.org/-/media/Documents/.../wp0601.pdf>>. Acesso em: 19 jun. 2018.

LIMA, Gilberto Tadeu; SETTERFIELD, Mark; SILVEIRA, Jaylson Jair. Inflation targeting and macroeconomic stability with heterogeneous inflation expectations. **Journal of Post Keynesian Economics**, v. 37, n. 2, p. 255-279, 2014.

MISHKIN, Frederic S. The Channels of Monetary Transmission: Lessons for Monetary Policy. **Banque de France**. p. 29. Mar. 1996. Disponível em: <<http://www.nber.org/papers/w5464.pdf>>. Acesso em: 07 mai. 2018.

NAKAMOTO, Satoshi. **Bitcoin: A Peer-to-peer Electronic Cash System**. 2008. Disponível em: <<https://bitcoin.org/bitcoin.pdf>>. Acesso em: 15 abr. 2018.

PARKER, Ceri. **Robert Shiller: Bitcoin is just an 'interesting experiment'**. Disponível em: <<https://www.weforum.org/agenda/2018/01/robert-shiller-bitcoin-is-just-an-interesting-experiment/>>. Acesso em: 25 jan. 2018.

PETERSON, Timothy. Metcalfe's Law as a Model for Bitcoin's Value. **Cane Island Alternative Advisors**. 2017. Disponível em: <<https://ssrn.com/abstract=3078248> or <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.3078248>>. Acesso em: 16 abr. 2018.

PLASSARAS, Nicholas A. Regulating Digital Currencies: Bringing Bitcoin within the Reach of the IMF. **Chicago Journal of International Law**: Vol. 14: No. 1, Article 12. Disponível em: <<http://chicagounbound.uchicago.edu/cjil/vol14/iss1/12>>. Acesso em: 14 abr. 2018.

ROCHARD, Pierre. **Speculative Attack**. 2014. Disponível em:

<<https://nakamotoinstitute.org/mempool/speculative-attack/>>. Acesso em: 15 mai. 2018.

SELGIN, George. **Synthetic Commodity Money**. 2013, p. 29. Disponível em: <<http://ssrn.com/abstract=2000118>>. Acesso em: 10 out. 2016.

SILVEIRA, Jaylson Jair da. **Ciclos goodwinianos e o processo de concorrência num ambiente de racionalidade limitada: uma análise a partir da teoria dos jogos evolucionários**. 2001. Tese (Doutorado) - Instituto de Pesquisas Econômicas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2001.

SILVEIRA, Jaylson Jair da; LIMA, Gilberto Tadeu. Regime Monetário de Meta de Inflação em um Ambiente de Heterogeneidade de Estratégias de Formação de Expectativas de Inflação. **Estudos Econômicos**, São Paulo, v. 43, n. 2, p.213-239, abr. 2013.

SHEPPARD, David. **Payment System No.8**. Londres: Bank of England, 1996. 56 p.

SZABO, Nick. **Bit Gold**. Disponível em: <<https://nakamotoinstitute.org/bit-gold/>>. Acesso em: 09 abr. 2018.

TIROLE, Jean; ROCHET, Jean-charles. Controlling Risk in Payment Systems. **Ohio State University Press**, Ohio, v. 4, n. 28, p.832-862, nov. 1996.

VEGA-REDONDO, Fernando. **Evolution, Games, and Economic Behaviour**. [s.i]: Oxford University Press, 1996.

WEIBULL, Jörgen W. **Evolutionary Game Theory**. [s.i]: Mit Press, 1996.

YERMACK, David. Is Bitcoin a real currency? An economic appraisal. **National Bureau Of Economic Research**. New York, p. 1-22. Dez. 2013.

ZHU, Yechen; DICKINSON, David; LI, Jianjun. Analysis on the influence factors of Bitcoin's price based on VEC model. **Financial Innovation**. Mar. 2017. Disponível em: <<https://jfin-swufe.springeropen.com/articles/10.1186/s40854-017-0054-0#Sec1>>. Acesso em: 17 abr. 2018.