

Pedro Bueno de Almeida

**O FUTURO DA COMPETIÇÃO MONETÁRIA:
O COMPORTAMENTO DA MOEDA BITCOIN E O SEU
IMPACTO SOBRE POLÍTICAS DE BANCOS CENTRAIS**

Dissertação submetida ao
Programa de Pós-graduação em
Economia da Universidade Federal
de Santa Catarina para a obtenção
do Grau de Mestre em Economia.
Orientador: Prof. Dr. Roberto
Meurer.

Florianópolis
2016

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária
da UFSC.

Almeida, Pedro Bueno de

O futuro da competição monetária : o comportamento da moeda bitcoin e o seu impacto sobre políticas de bancos centrais / Pedro Bueno de Almeida ; orientador, Roberto Meurer - Florianópolis, SC, 2016.

157 p.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Sócio-Econômico. Programa de Pós-Graduação em Economia.

Inclui referências

1. Economia. 2. Economia monetária. 3. Moedas concorrentes. 4. Bitcoin. 5. Modelo computacional baseado em agentes. I. Meurer, Roberto. II. Universidade Federal de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Economia. III. Título.

Pedro Bueno de Almeida

**O FUTURO DA COMPETIÇÃO MONETÁRIA:
O COMPORTAMENTO DA MOEDA BITCOIN E O SEU
IMPACTO SOBRE POLÍTICAS DE BANCOS CENTRAIS**

Esta Dissertação foi julgada adequada para obtenção do Título de Mestre e aprovada em sua forma final pelo Programa de Pós-graduação em Economia da Universidade Federal de Santa Catarina.

Florianópolis, 1 de Março de 2016.

Prof. Dr. Jaylson Jair da Silveira
Coordenador do Curso

Banca Examinadora:

Orientador - Prof. Dr. Roberto Meurer
Universidade Federal de Santa Catarina

Prof. Dr. Fernando Motta Correia
Universidade Federal do Paraná

Prof. Dr. João Rogério Sanson
Universidade Federal de Santa Catarina

Prof. Dr. Jaylson Jair da Silveira
Universidade Federal de Santa Catarina

AGRADECIMENTOS

Agradeço,

À todos os professores do curso de pós-graduação em Economia da UFSC pelas aulas ministradas e incentivo ao desenvolvimento científico. Agradeço especialmente ao orientador, que sem sua ajuda, sabedoria e confiança, esta dissertação não poderia ter sido realizada.

Aos membros do *Bitcoin Center NYC* pela calorosa recepção e discussão sobre temas importantes da dissertação.

Aos amigos e colegas de classe que compartilharam das várias etapas desta fase na minha vida.

À CAPES e FAPESC pela bolsa de incentivo à pesquisa, sem a qual os alunos teriam dificuldades em se dedicar inteiramente aos seus estudos.

Aos cientistas e pesquisadores de todo o mundo, que ampliam os estudos em diversas áreas e vão além das fronteiras do conhecimento, uma vez que essa dissertação jamais teria sido desenvolvida sem a inspiração dessas pessoas.

We live in a society exquisitely dependent on science and technology, in which hardly anyone knows anything about science and technology.

(Carl Sagan, 1990)

RESUMO

A presente dissertação tem por objetivo analisar de forma teórica, analítica e quantitativa o impacto que as moedas virtuais e cryptocurrencies, corporificadas pelo protocolo Bitcoin, poderão exercer sobre a economia, com ênfase nos efeitos sobre outras moedas e políticas monetárias. A utilização de amplo referencial teórico sobre a competição monetária se faz presente para mostrar as diferenças e também semelhanças que esta nova classe de moedas traz em relação a exemplos históricos. Um modelo computacional baseado em agentes foi utilizado para recriar um cenário futuro onde as moedas virtuais podem participar das transações econômicas em uma maior magnitude que atualmente, a fim de possibilitar a antecipação do seu impacto e fornecer assim uma visão ampla e quantitativa de como esta nova tecnologia afetará variáveis econômicas. Os resultados do modelo indicam que a presença da moeda bitcoin na economia pode levar à situações de substituição monetária à níveis inferiores de meta de inflação quando comparado com economias onde a moeda virtual não esteja presente.

Palavras-chave: Economia Monetária; Substituição de Moedas; Política Monetária; Banco Central; Moedas Virtuais; Bitcoin.

ABSTRACT

The present study aims to analyze the theoretical, analytical and quantitatively impact that virtual currencies and cryptocurrencies, embodied by the Bitcoin protocol may have on the economy, with emphasis on the effects on other currencies and monetary policies. The use of broad theoretical framework on monetary competition is present to show the differences and similarities that this new class of currency brings in comparison to historical examples. A computational agent-based model was used to recreate a future scenario where virtual currencies participate in economic transactions on a larger scale than today, in order to allow the anticipation of their impact and thus provide a broad and quantitative view of how this new technology will affect economic variables. The model results indicate that the presence of the bitcoin currency in the economy can lead to situations of monetary substitution with lower levels of inflation target when compared to economies where the cryptocurrency is not present.

Keywords: Monetary Economics; Currency Substitution; Monetary Policy, Central Bank, Virtual Currencies; Bitcoin.

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Variação do Dólar Blue e do Dólar Oficial em relação ao Peso Argentino dentro de território argentino. Dez. 2009 a ago. 2014.	35
Gráfico 2: Volume de negociações entre a bitcoin e outras moedas ao redor do mundo para o mês de junho 2015.	78
Gráfico 3: Taxa de câmbio da bitcoin em relação ao dólar entre ago. 2010 - dez. 2015.	79
Gráfico 4: Quantidade de transações diárias realizadas em bitcoin no período de ago. 2010 a dez. 2015.	80
Gráfico 5: Volume de transações diárias em dólares americanos realizadas em bitcoin no período de jan. 2009 a dez. 2015.	81
Gráfico 6: Volume de transações diárias dividido pela quantidade de transações diárias, com o eixo vertical em logaritmo.	82
Gráfico 7: Desvio padrão da taxa de câmbio da bitcoin em dólares americanos em comparação com outros ativos e moedas para o período de jan. 2012 – jun. 2015.	95
Gráfico 8: Volatilidade da taxa de câmbio da bitcoin em dólares americanos utilizando o desvio padrão dos retornos diários ajustados para os 30 dias anteriores.	96
Gráfico 9: Representação da Lei de Metcalfe utilizando a capitalização de mercado e a quantidade de transações ao quadrado da bitcoin em valores diários com o eixo vertical em escala logarítmica.	99
Gráfico 10: Procura no Google pelos termos “crisis” e “bitcoin” dentro da Grécia em relação ao comportamento do preço da moeda no mesmo período. Abril 2015 - Julho 2015.	101
Gráfico 11: Pesquisa no Google em todo o mundo pelos termos “cyprus” e “bitcoin” em relação ao comportamento do preço da moeda no mesmo período. Janeiro 2013 - Julho 2013.	103

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Nível de senhoriagem máximo representado pelo retângulo abaixo da curva de demanda h	50
Figura 2: Comportamento do nível de senhoriagem do governo.	51
Figura 3: Mecanismo de funcionamento das transações em bitcoin.	68
Figura 4: Inclusão de blocos na corrente principal.	69
Figura 5: Ordem de criação dos blocos contendo transações dada a dificuldade de resolução do <i>puzzle</i> matemático estabelecido pelo <i>nonce</i>	70
Figura 6: Ajuste da dificuldade de resolução dos <i>puzzles</i> dada a taxa de geração de <i>hashes</i> para o período de setembro 2014 - junho 2015.	72
Figura 7: Total de bitcoins no decorrer do tempo.	72
Figura 8: Mapa de calor indicando a disposição e quantidade de agentes em um período aleatório t	129
Figura 9: Fração de agentes em função de β	134
Figura 10: Quantidade de transações realizadas com cada moeda para o <i>cenário sem bitcoin</i> e <i>cenário com bitcoin</i>	135
Figura 11: Comportamento da inflação em ambos os cenários simulados.	135
Figura 12: Trajetória da inflação em função de λ	136
Figura 13: Fração de agentes utilizando cada moeda para cada nível de meta de inflação para o <i>cenário sem bitcoin</i> e <i>cenário com bitcoin</i>	137
Figura 14: Quantidade de transações em cada moeda para cada nível de meta de inflação para o <i>cenário sem bitcoin</i> e <i>cenário com bitcoin</i>	138
Figura 15: Fração de agentes utilizando cada moeda para cada nível de meta de inflação para o <i>cenário sem bitcoin</i> e <i>cenário com bitcoin</i> quando $\beta = 5$	139
Figura 16: Quantidade de transações e fração de agentes em função de δ para o <i>cenário sem bitcoin</i> e <i>cenário com bitcoin</i>	140
Figura 17: Quantidade de transações e fração de agentes em função de δ para o <i>cenário sem bitcoin</i> e <i>cenário com bitcoin</i> quando $\pi T = 0,45$	141

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Código em C que representa a probabilidade do usuário malicioso obter sucesso ao ficar para trás a partir de z blocos na corrente.	76
Quadro 2: Resultados gerados a partir do código contido no Quadro 1 para um aumento em z	76
Quadro 3: Resultados da regressão encontrados por Baek e Elbeck (2014).	97
Quadro 4: Valor dos parâmetros utilizados no modelo.	132

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	21
1 COMPETIÇÃO MONETÁRIA E A LEI DE GRESHAM.....	27
1.1 DO SURGIMENTO DA LEI DE GRESHAM	27
1.2 LEI DE GRESHAM EM REVERSO	32
2 O CONTROLE SOBRE A MOEDA.....	39
2.1 FUNÇÕES DE UM BANCO CENTRAL	39
2.2 O PROCESSO DE SENHORIAGEM.....	47
2.3 MOEDAS CONCORRENTES	52
2.4 SISTEMAS DE PAGAMENTOS	58
3 O PROTOCOLO BITCOIN.....	65
3.1 ORIGEM, ASPECTOS TÉCNICOS E COMPORTAMENTO.....	65
3.2 REGULAÇÃO.....	83
3.3 BITCOIN COMO COMMODITY.....	91
3.4 COMPORTAMENTO DO VALOR DA BITCOIN.....	94
3.5 CRÍTICAS À BITCOIN	104
3.6 O IMPACTO DA BITCOIN SOBRE POLÍTICAS DE BANCOS CENTRAIS	106
4 ANÁLISE EMPÍRICA UTILIZANDO MODELO BASEADO EM AGENTES.....	115
4.1 MODELO DE ESCOLHA TERNÁRIA SEM EFEITO DE REDE..	117
4.2 MODELO DE ESCOLHA TERNÁRIA COM EFEITO DE REDE.	120
4.3 UM MODELO DE ESCOLHA TERNÁRIA POR MOEDA EM UMA SOCIEDADE	122
4.4 MODELO MACROECONÔMICO.....	125
4.5 IMPLEMENTAÇÃO COMPUTACIONAL.....	128
4.6 CALIBRAGEM.....	130
4.7 RESULTADOS DO MODELO	133
CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	143
REFERÊNCIAS	147

INTRODUÇÃO

Mais que em outros momentos da história, a era contemporânea trouxe mudanças econômicas para o mundo de uma maneira muito mais intensa e profunda. O desenvolvimento industrial e tecnológico abriram caminho para um novo paradigma produtivo, muito diferente do estabelecido em séculos anteriores. A consolidação de acordos comerciais entre países, em soma a ampliação dos meios de comunicação, promoveu um novo dinamismo para o comércio mundial. O capital financeiro transita pelo mundo com uma velocidade cada vez maior graças aos avanços na área da computação, que literalmente transformaram a base monetária em dígitos em um banco de dados. A ampliação dos meios de comunicação impulsionaram não somente o lado econômico, mas também o lado científico e intelectual, principalmente com a criação da internet e seu posterior amadurecimento, possibilitando que hoje em dia qualquer pessoa ao redor do mundo tenha acesso a uma quantidade extraordinária de informação sobre quase qualquer assunto já catalogado pela humanidade.

A cadeia produtiva mundial se mostra cada vez mais interconectada. Os produtos e serviços são oferecidos em escala global. Desenvolver um produto na América do Norte, produzi-lo na Ásia, e vendê-lo em todo o mundo, é o modelo de negócios utilizado pelas mais diversas multinacionais. As barreiras geográficas, jurídicas e até mesmo culturais oferecem pouca rigidez a essa globalização. Nos mais diversos lugares do mundo os hábitos de consumo se mostram parecidos, os produtos ofertados são os mesmos, assim como a vontade de adquiri-los. Com o capital financeiro não é diferente, este é transacionado pelo mundo na procura de rentabilidade e acaba como resultado possibilitando a execução dessas atividades produtivas. Quanto maior for a velocidade, segurança e menor custo para se realizar uma transação, maior será a possibilidade de empreender atividades produtivas em escala global.

Como apontado por Tirole (1996), os avanços tecnológicos e computacionais levaram ao desenvolvimento de novos instrumentos financeiros, que possibilitaram um crescimento considerável do nível de transações interbancárias pelo mundo. Durante os vinte anos posteriores à publicação de seu artigo, este nível de atividade econômica se intensificou ainda mais. Apesar de os instrumentos financeiros a que Tirole (1996) se referia possuírem um custo enorme para serem implementados, o seu objetivo era exatamente controlar a solvência de

bancos comerciais evitando riscos operacionais e sistêmicos. Os sistemas de pagamentos interbancários que emergiram no fim do século XX tinham a prerrogativa de oferecer segurança e rapidez através do fluxo de informação que era transmitida através das câmaras de compensação aos bancos centrais. Atualmente estes mesmos sistemas de pagamentos são os mais amplamente utilizados para transações domésticas ou internacionais, a exemplos do Fedwire, CHIPS, SWIFT e ao SPB (Sistema de Pagamentos Brasileiro) no caso do Brasil.

De acordo com Sheppard (1996) um sistema de pagamentos funcional e seguro é essencial para a estabilidade do sistema financeiro de um país. Se existir a possibilidade de falhas ou o não cumprimento de uma transação, isto terá um impacto diretamente em áreas produtivas da economia. Se não é possível ter certeza de quando um pagamento será recebido, os agentes não poderão planejar seus gastos de maneira eficiente. Além do fato de que se o sistema de pagamentos não for rápido o suficiente, quantias monetárias que poderiam estar sendo usadas para outras transações ficarão paradas dada a ineficiência do sistema.

Nos últimos anos, o avanço tecnológico que possibilitou a diminuição do preço de computadores e aumento do uso de equipamentos móveis como celulares, tem modificado de maneira relevante o modo como as pessoas consomem produtos e transacionam valores. A internet conseguiu impulsionar o comércio de uma maneira sem precedentes. Informações fornecidas pelo Deutsche Bank Research em 2004 já indicavam uma tendência crescente do comércio eletrônico, porém a maioria dos pagamentos realizados nos mais de 35 milhões de compras *online* realizadas na época haviam sido pagas através de métodos *off-line*, como por exemplo, cartões de crédito, cartões de débito, dinheiro na entrega, boletos e dinheiro antes da entrega.

A antecipação de que novos sistemas de pagamentos mais seguros, fáceis de utilizar e de menor custo precisariam emergir para comportar o avanço das transações via internet já era algo previsto:

If electronic media are to be used in cross-border trade, then secure, user-friendly and low-priced innovative payment solutions must be established very soon. While these online-enabled systems could emerge from solutions in use today in offline business, they could also develop from innovations tailored for e-business requirements. (DEUTSCHE BANK RESEARCH, 2004, p. 2)

Recentemente inovações financeiras e novas empresas surgiram oferecendo novas modalidades de sistemas de pagamentos. Serviços como o Paypal ou mais recentemente o Google Wallet, por exemplo, trouxeram um novo dinamismo e agilidade para o comércio eletrônico, ao possibilitar que transações acontecessem dentro de suas próprias plataformas de uma maneira muito mais rápida e segura do que se cada transação fosse feita diretamente através de bancos utilizando os métodos *off-line* para transação. Thomas M. Hoenig, atual vice-presidente do *Federal Deposit Insurance Corporation* (FDIC), agência americana com responsabilidade similar ao Fundo Garantidor de Créditos (FGC) no Brasil, já previa que o processo de financeirização do comércio eletrônico poderia migrar para instituições fora do sistema bancário convencional, “(...) consider the possibility that, in the future, both business and retail transactions may be carried out over computer networks which employ an electronic medium of exchange and in which settlement occurs on the books of a nonbank entity.” (HOENIG, 1995, p. 9). Uma descentralização dos sistemas de pagamento, para ambientes fora do sistema bancário convencional, é uma tendência que vem se consolidando nas últimas décadas.

Todo este avanço tecnológico e desenvolvimento de novos sistemas de pagamentos, contribuíram para o aparecimento de uma nova tecnologia com características próprias e que se enquadra perfeitamente neste ambiente eletrônico globalizado. O protocolo Bitcoin¹, publicado em 2008 e introduzido em 2009 como um programa *open source*, funciona como um sistema de pagamento descentralizado que utiliza de conexões *peer-to-peer* para transacionar unidades monetárias pela internet. A Bitcoin é o resultado de um ambiente cada vez mais dependente dos meios de comunicação modernos, mas que ainda utilizava na sua grande maioria de sistemas de pagamentos antigos da era pré-internet. Como apontado por Lerner e Tirole (2000), um aumento do desenvolvimento de programas *open source*, ou seja, programas de computador desenvolvidos com seu código aberto a quem quiser reproduzi-lo ou modificá-lo, tem tido uma participação importante no desenvolvimento tecnológico e econômico no mundo. O desenvolvimento do protocolo Bitcoin ocorre exatamente através de um

¹ Desambiguação: Nesta dissertação foi utilizada a palavra "Bitcoin" com a primeira letra maiúscula quando estiver sendo referenciado o programa ou protocolo que rege o sistema e "bitcoin" com a primeira letra minúscula quando estiver sendo referenciado a moeda virtual.

processo *open source*, onde qualquer pessoa pode analisar o seu código, propor melhorias ou desenvolver outras coisas a partir dele.

A bitcoin deu origem ao termo conhecido como *cryptocurrencies* (criptomoedas), as quais representam as unidades monetárias transacionadas pelo sistema. A bitcoin, no caso, é atualmente a *cryptocurrency* mais utilizada, dado o seu volume e quantidade de transações. Porém, muitas outras *cryptocurrencies* foram e podem ser criadas a partir do código aberto do protocolo Bitcoin.

O conceito de “moeda virtual” se reafirma com a criação da bitcoin. Embora o protocolo possa ser caracterizado como um sistema de pagamentos, este transaciona unidades monetárias próprias, as quais possuem características similares a uma moeda nacional, ou seja, possuem unidade de conta e funcionam como reserva de valor e meio de pagamento.

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. As previsões das décadas passadas, de que novos sistemas de pagamentos iriam emergir para aumentar a eficiência das transações eletrônicas, estão agora de fato acontecendo. Porém, isto levanta discussões sobre o conceito de moeda e como será conduzida a política monetária daqui para frente. Como apontado por Hoenig (1995, p. 9) : “Over a longer time horizon, the advent of a cashless, paperless payments system raises the more fundamental issues of how we define money and how we conduct monetary policy.”. Logo, uma das características que desperta críticas de diversas correntes econômicas está em relação a criação das unidades monetárias pelo protocolo Bitcoin, as quais são emitidas a uma taxa positiva, decrescente e predefinida pelo código do protocolo, criando assim uma espécie de política monetária automatizada, ou como colocado por Selgin (2013, p. 19), ocorrendo a criação de uma *inelastic synthetic commodity*.

Friedman (1965) foi um dos defensores de que políticas monetárias poderiam ser operacionalizadas de forma irredutível e com regras predefinidas, “(...) keep the stock of money moving at a steady, predictable, defined rate in time” (FRIEDMAN, 1965, p. 16). Em tempos mais recentes Friedman (2006) alertou para a possibilidade de as políticas monetárias serem desenvolvidas através da racionalização de um computador que manteria o crescimento da oferta monetária a uma taxa constante e de conhecimento de todos, características que se assemelham ao comportamento do sistema do protocolo Bitcoin.

Desse modo, a Bitcoin abre um novo paradigma para o futuro dos sistemas de pagamentos, pois é uma inovação financeira nascida da

necessidade de superar a lacuna tecnológica que existia entre o universo digital e o sistema financeiro. Porém, por ser também uma moeda, com características similares a uma moeda nacional, o seu impacto na economia pode surgir de diferentes maneiras, abrindo assim debates sobre o conceito de “moeda virtual” que começa a se estabelecer gradativamente. Além disso, a política monetária interna do seu sistema, regida por linguagem de programação, amplia o debate sobre a economia monetária, oferecendo novas perspectivas e experimentações em relação ao controle sobre a oferta de moeda.

O presente trabalho tem por objetivo analisar os impactos que a tecnologia promovida pelo protocolo Bitcoin poderá causar na economia e nas políticas monetárias de bancos centrais. Dada a crescente utilização da moeda bitcoin por indivíduos ao redor do mundo, vários bancos centrais e instituições financeiras emitiram relatórios sobre o fenômeno. *European Central Bank*, *Bank of England* e *Bank for International Settlements*, estão entre as instituições que tem se preocupado em estudar os possíveis impactos que a bitcoin poderá causar sobre as políticas monetárias, caso a sua utilização continue aumentando no decorrer dos anos.

O presente trabalho foi dividido em quatro capítulos. O primeiro onde é feito uma análise teórica sobre a competição monetária, expondo conceitos como a Lei de Gresham e fenômenos históricos envolvendo a substituição entre moedas. O capítulo 2 discute sobre a origem de bancos centrais, além de analisar o funcionamento dos sistemas de pagamentos modernos mais utilizados para transações interbancárias. No terceiro capítulo é estudado a fundo o funcionamento do protocolo Bitcoin e o comportamento da moeda virtual nos últimos anos, através da análise dos principais artigos publicados sobre o tema. No capítulo 4 é exposto um modelo baseado em agentes com motivações sociais com base em Durlauf (1997) e Brock e Durlauf (2001). O modelo permite analisar a tomada de decisão de agentes em relação às suas escolhas por moedas, conseguindo simular os efeitos de diferentes moedas em uma economia simplificada. Um modelo macroeconômico com origem em Silveira e Lima (2013), representa um banco central que procura controlar a inflação e produto locais desta economia. Assim, o modelo baseado em agentes permite analisar de forma empírica quais os efeitos que a utilização de diferentes moedas pelos agentes causam sobre a política monetária de um banco central. Os resultados mostram diferenças entre os impactos da moeda bitcoin em comparação com uma moeda

estrangeira. Por fim, são apresentadas conclusões e considerações finais sobre os resultados encontrados, além de expor as dificuldades e limitações da pesquisa, apresentando sugestões de trabalhos futuros.

1 COMPETIÇÃO MONETÁRIA E A LEI DE GRESHAM

As evidências históricas deram a origem a diversas interpretações e constatações sobre a competição monetária, dentre elas a concepção da Lei de Gresham no século XVII que serviu de base para inúmeras outras teorias nos séculos posteriores. Este capítulo analisa o processo histórico em relação à competição monetária, onde diferentes moedas são aceitas dentro da mesma economia.

1.1 DO SURGIMENTO DA LEI DE GRESHAM

“the full-bodied coins that are the pride of Athens are never used while the mean brass coins pass hand to hand” – Aristófanes, “The Frogs”.

Aristófanes já deixava claro em 405 A.C. que o efeito de diferentes moedas operando dentro de uma mesma economia poderia causar certos problemas. A moeda forte, o orgulho de Atenas, nunca era utilizada, em compensação o cobre barato circulava amplamente. A moeda forte não era a alternativa monetária escolhida quando existia uma moeda fraca dentro da mesma economia. Os indivíduos tinham a preferência por gastar a moeda de pior valor e guardar a moeda forte como reserva.

São inúmeras as referências históricas de moedas fortes sumindo de circulação em ambientes onde coexistiam com moedas fracas, ou seja, moedas de pior reserva de valor, dentro da mesma economia. Na Idade Média, Nicole d'Oresme, proeminente pensador e filósofo de diversas áreas do conhecimento, já identificava no século XIV em seu escrito, *De Moneta*, o fenômeno da concorrência monetária que desencadeava o desaparecimento de moedas fortes. Mas, somente no século XVI o fenômeno da concorrência monetária foi formalizado por Thomas Gresham, o que deu origem a *Gresham's Law* (Lei de Gresham), que ficou informalmente conhecida como *“bad money drives out good money”*.

O fenômeno da Lei de Gresham implica que os indivíduos ao terem que escolher entre dois objetos monetários de custos iguais para realizar uma transação, onde um deles seria “bom” e o outro “ruim”, tenderão a passar adiante o “ruim” e guardar o “bom”, ou seja, na escolha entre dois objetos monetários será escolhido o que implica menor sacrifício (MUNDELL, 1998).

A Lei de Gresham teve diversas interpretações. Para Mundell (1998), por exemplo, a lógica monetária em efeito tem sido muitas vezes

mal interpretada. Se o dinheiro “ruim” retira de circulação o dinheiro “bom”, então no decorrer da história nunca teriam existido moedas fortes. O Florim florentino nunca teria se tornado uma moeda de referência na Idade Média sendo uma moeda fraca, ou mais recentemente, seria um contrassenso pensar que o Dólar se tornou uma referência mundial em contratos e negociações por ser uma moeda fraca. A conclusão de Mundell (1998) é de que ocorre exatamente o contrário, as moedas fortes sobrevivem e as fracas perdem seu valor apesar de presentes na economia. O efeito em atividade na Lei de Gresham ocorre com a moeda “boa” sendo entesourada ao invés de gasta e a moeda “fraca” sendo passada adiante devido ao seu menor valor relativo. Em economias onde ambas as moedas devem ser aceitas por curso forçado (*legal tender*), ou seja, tanto a moeda “boa” quanto a moeda “ruim” devem ser aceitas perante a lei ao mesmo preço, os indivíduos tenderão a guardar a moeda boa e realizar as transações com a moeda ruim.

Moedas de prata recém-forjadas, por exemplo, em comparação com moedas de prata usadas e gastas, apesar de possuírem o mesmo valor perante a lei do reino, possuíam conteúdo de *commodity* diferentes, uma vez que a moeda recém-forjada teria um valor de *commodity* superior caso fosse derretida para prata novamente, porém a moeda gasta não teria o mesmo valor de *commodity* devido à depreciação do objeto. Dessa forma, a moeda gasta ou “ruim” teria um sacrifício e custo menor em ser gasta do que a moeda “boa” recém-forjada. O exemplo se estende aos dias de hoje com o papel moeda, onde os indivíduos preferem passar adiante a nota rasurada ou parcialmente rasgada a utilizar uma nota nova, por mais que ambas tenham o mesmo valor de conversão.

Em antigas economias onde o bimetalismo foi utilizado, a diferença entre o preço doméstico de um metal e o seu preço no resto do mundo poderia levar ao fenômeno da Lei de Gresham. Mundell (1998) cita o exemplo de um pequeno país que utilizasse moedas de ouro e prata para transações e as pessoas pudessem levar livremente metais para serem cunhados e transformados em moedas. Se a taxa de câmbio do ouro em relação à prata no resto do mundo fosse à ordem de $15\frac{1}{2}:1$, enquanto que no pequeno país a taxa de câmbio doméstica fosse de $15:1$, neste caso o valor de cunhagem do ouro é menor e o valor de cunhagem da prata é maior do que no resto do mundo. Assim, a prata será cunhada, mas ninguém irá cunhar ouro, pois o seu valor é mais baixo dentro do país do que no exterior, havendo assim um desequilíbrio. Em teoria os indivíduos simplesmente iriam encher navios com prata e ir até o pequeno país para trocá-la por ouro, repetindo este

processo devido ao ganho de arbitragem. O equilíbrio somente seria alcançado se o preço do ouro alcançasse a relação 15½:1 do mercado internacional, porém isto somente tenderia a acontecer quando todo o ouro tivesse saído do país e a circulação consequentemente fosse totalmente em prata. Em outras palavras, sobreavaliar a prata fez com que ocorresse o desaparecimento do ouro de circulação. Segundo Mundell (1998) sobreavaliar um metal acaba por torná-lo “ruim” e consequentemente a Lei de Gresham começa a operar. Neste exemplo, o país saiu de um sistema de bimetalismo e acabou caindo no monometalismo sem querer, devido a diferença mantida entre o preço doméstico e no resto do mundo.

O Brasil não ficou de fora do contexto histórico de problemas entre a Lei de Gresham e o bimetalismo. Devido à grande extração de ouro realizada por Portugal a partir de 1690, houve um grande aumento da oferta de ouro tanto no Brasil colônia como também na metrópole Portugal, fato que fez com que o metal se desvalorizasse em relação à prata. Assim, de acordo com a Lei de Gresham o ouro se tornava neste momento a moeda “ruim” e a prata a moeda “boa”, o que fez com que gradativamente a moeda de prata desaparecesse de circulação. Segundo Lima (2013), o governo português demorou em realizar a desvalorização da prata para trazê-la a valores que evitassem a sua forte valorização. Somente em 1747 que o governo Português ajustou a relação ouro/prata para 1:13,2, fazendo com que a governo Português tivesse que cunhar moedas novas de prata pela primeira vez naquele século.

Muitos autores no decorrer da história questionaram o funcionamento da Lei de Gresham. Rolnick e Weber (1986), por exemplo, publicaram um artigo desenvolvendo a sua própria formulação da Lei de Gresham, por não acreditarem que fosse possível existir uma taxa de câmbio fixa diferente do valor de mercado de uma moeda como era proposto pela lei original. “We offer a version of Gresham's law that relies on fixed transaction costs rather than a fixed exchange rate and that predicts what happens much better than current explanations.” (ROLNICK; WEBER, 1986, p. 21). Os autores então argumentam que a moeda ruim somente tiraria a moeda boa de circulação quando o custo de usar a moeda boa com um prêmio fosse alto. Através de uma análise histórica da economia dos Estados Unidos, os autores não conseguiram encontrar momentos na história, onde apesar de moedas sobreavaliadas e subavaliadas terem coexistido, a Lei de Gresham original tenha funcionado como previsto. Os autores destacam que de fato uma moeda ruim tirando o lugar de uma moeda boa não pode ser totalmente

descartada, porém é um fenômeno mais complexo do que a simples formulação original.

Outros autores desenvolveram análises formalizadas sobre o funcionamento da Lei de Gresham. Freixas e Rochet (2008) elaboraram um modelo onde bancos emitindo moedas privadas e competindo entre si poderiam sofrer do fenômeno da Lei de Gresham, onde as moedas privadas de boa qualidade desapareceriam do mercado. Os autores elaboraram um modelo com N bancos idênticos ($n = 1, \dots, N$), onde cada um possui M depositantes idênticos com uma unidade de depósito, sendo que os depositantes do banco n são indexados por (m, n) onde $m = 1, \dots, M$. Cada banco emite moedas que podem ser usadas como reserva de valor ou circularem como meio de pagamento. A qualidade q_n da moeda emitida pelo banco n aumenta de acordo com o monitoramento realizado por cada depositante do banco. Dado que,

$$q_n = \sum_{m=1}^M e(m, n) + \theta,$$

onde $e(m, n)$ representa o esforço de monitoramento gasto pelo depositante (m, n) ao monitorar a gestão de seu banco, e θ representa a qualidade intrínseca do banco. Assume-se que q_n somente é conhecido pelo depositante do banco n . A utilidade do depositante (m, n) é dada por

$$U(m, n) = \begin{cases} q_n - \frac{1}{2}\gamma e^2(m, n) & \text{quando ele guarda as moedas,} \\ P - \frac{1}{2}\gamma e^2(m, n) & \text{quando ele circula as moedas,} \end{cases}$$

onde $C(e) = \frac{1}{2}\gamma e^2$ representa o custo de esforço em monitorar o banco, e P é o preço de mercado das moedas em circulação. Assim como elucidado pelo artigo de Akerlof (1970) em relação ao *market for lemons*, o preço é idêntico para todas as moedas em circulação: $P = k\bar{q}$, onde \bar{q} é a qualidade média das moedas em circulação e $k > 1$ representa a utilidade ganha ao utilizar a moeda como meio de pagamento.

Em uma situação simétrica ($e(m, n) \equiv e$, $q_n \equiv q$) onde,

$$q_n \equiv q < P = kq, \quad (k > 1)$$

todas as moedas circulam e a utilidade do depositante é dada por:

$$U = kq - \frac{1}{2}\gamma e^2,$$

sendo $q = Me + \theta$.

A melhor situação é a simétrica porque as utilidades são côncavas e os custos são convexos. Assim, todas as moedas circulam, sendo e escolhido para maximizar U :

$$U = k(Me + \theta) - \frac{1}{2}\gamma e^2.$$

Logo,

$$e = e^* = \frac{kM}{\gamma};$$

$$q = q^* = Me^* + \theta = \frac{kM^2}{\gamma} + \theta.$$

Resultando em,

$$e(m, n) \equiv e^* = \frac{kM}{\gamma};$$

$$q_n \equiv q^* = \frac{kM^2}{\gamma} + \theta.$$

Em um equilíbrio de Nash a utilidade marginal do esforço de um depositante varia de acordo com a circulação da sua moeda. Em um primeiro caso é igual a k/N^* onde N^* indica o número de moedas em circulação, e em um segundo caso é igual a 1. Logo o equilíbrio de Nash para os níveis de esforço são dados por,

$$e_1^* = \frac{k}{N^*\gamma} \quad \text{no primeiro caso,}$$

$$e_2^* = \frac{1}{\gamma} \quad \text{no segundo caso.}$$

Dada a expressão $U(m, n)$, a moeda de n circula se e somente se $P \geq q_n$. Logo, se k é menor que o número de moedas em circulação N^* , ou

seja, $k < N^*$, então $e_1^* < e_2^*$. Logo as moedas de n irão circular se e somente se $P \geq q_n = \theta_n + Me_1^*$, desse modo a Lei de Gresham é satisfeita, ou seja, a moeda de boa qualidade desaparece do mercado.

A análise de modelos teóricos permite a visualização dos fenômenos da competição monetária de forma atemporal, ou seja, a lógica por trás do Lei de Gresham que ocorreu nos séculos passados pode ser utilizada para explicar os acontecimentos em relação a competição monetária atual. Desse modo, os modelos facilitam a comparação entre os diferentes momentos históricos por simplificarem a lógica por trás do problema em questão. A comparação entre fenômenos que aconteceram com moedas nacionais no passado e com as moedas virtuais na atualidade se faz possível dada a formulação desses modelos. A presente dissertação procura explorar quais as possíveis consequências da utilização de moedas virtuais conjuntamente com a moeda nacional dentro de uma mesma economia, em uma dinâmica de competição monetária, a qual tem possibilidades de aumentar no futuro devido aos avanços tecnológicos e dos meios de comunicação.

1.2 LEI DE GRESHAM EM REVERSO

Outro fenômeno destacado por Mundell (1998) e Guidotti e Rodriguez (1992) se dá em relação à Lei de Gresham quando esta opera em reverso. “*Good money drives out bad money*”, ou seja, a moeda “boa” retira de circulação a moeda “ruim”, caracterizando exatamente o oposto à Lei de Gresham original. Este fenômeno ficou conhecido também como *Thier’s Law*, nome dado por Bernholz (2003) em homenagem ao historiador e político francês Adolphe Thiers, o qual identificou tal fenômeno durante a hiperinflação francesa no fim do século XVIII.

A economia francesa sofreu um forte processo hiperinflacionário a partir de 1790, fato que levou a uma queda brusca do valor dos *assignats*, o papel moeda utilizado no período, levando conseqüentemente a uma queda na sua circulação que chegou a patamares insignificantes. Segundo Bernholz (2003) este processo é comum em economias que sofrem de hiperinflação, caracterizando a substituição de moedas que acontece quando existe uma aceleração da inflação.

O governo francês tentou realizar uma reforma monetária em 1796 ao substituir o papel moeda *assignat* pelo *mandat*, porém não obteve sucesso. O papel-moeda ruim desapareceu de circulação e o ouro e a prata voltaram a circular, caracterizando exatamente o processo

inverso da Lei de Gresham. Segundo Thiers (1840, p. 111 apud BERNHOLZ, 2003, p. 69),

In all the markets nothing was to be seen but gold and silver, and the wages of the lower classes were paid in no other medium. One would have imagined that there was no paper in France. The *mandats* were in the hands of speculators only...

Houve um retorno aos metais preciosos, uma volta ao uso do ouro e da prata devido à alta inflação que o papel moeda nacional estava sofrendo. Ninguém mais aceitava a moeda nacional, chegando a um ponto extremo onde não era possível passar a moeda nacional considerada “ruim” adiante, pois ninguém iria aceitá-la.

Bernholz (2003) examinou o processo de hiperinflação de várias economias ao redor do mundo, entre elas da Alemanha, Áustria, Bolívia, China, França, União Soviética e Polônia. A sua pesquisa indica que em todos os casos houve a diminuição do estoque real de moeda, devido ao fato de as pessoas e organizações quererem se livrar da moeda nacional antes que fosse tarde, além dos estrangeiros que também não queriam ser pagos com uma unidade monetária cheia de incertezas e em plena desvalorização. Desse modo, devido aos preços estarem subindo mais rápido que a oferta de moeda, ocorria conseqüentemente a redução da relação M/P^2 . Uma das explicações dada pelo autor para que a economia continuasse funcionando mesmo com a queda acentuada do estoque real de moeda, tendo em vista que o volume de transações não cairia na mesma magnitude, é de que houve um aumento da velocidade em que o dinheiro circulava e uma volta ao escambo de uma mercadoria por outra.

No processo de hiperinflação a *Thier's Law* começa a fazer efeito. Através da substituição entre moedas, a moeda internacional entra em cena e começa a servir como parâmetro para a realização das transações. Em um primeiro momento somente como unidade de conta, depois como reserva de valor e finalmente como meio de pagamento (BERNHOLZ, 2003). O interessante de se analisar é que a substituição monetária por uma moeda estrangeira dentro de determinados países é

² A definição M/P está referenciando à fórmula da curva LM tradicional, dada por $M/P = L(i, Y)$. Sendo M a oferta de moeda, P o nível de preços e L a demanda por moeda, a qual é uma função que depende de uma taxa de juros i dado um nível Y de renda.

algo ilegal, uma vez que a moeda de curso forçado é a moeda nacional. Os governos tentam coibir a utilização de moeda estrangeira para conseguir manter o controle sobre políticas monetárias, ou simplesmente para serem capazes de financiar seu déficit orçamentário com senhoriagem. Assim, dados referentes à quantidade de moeda estrangeira circulando dentro de uma economia são escassos, uma vez que pela lei não deveriam existir ou serem relevantes.

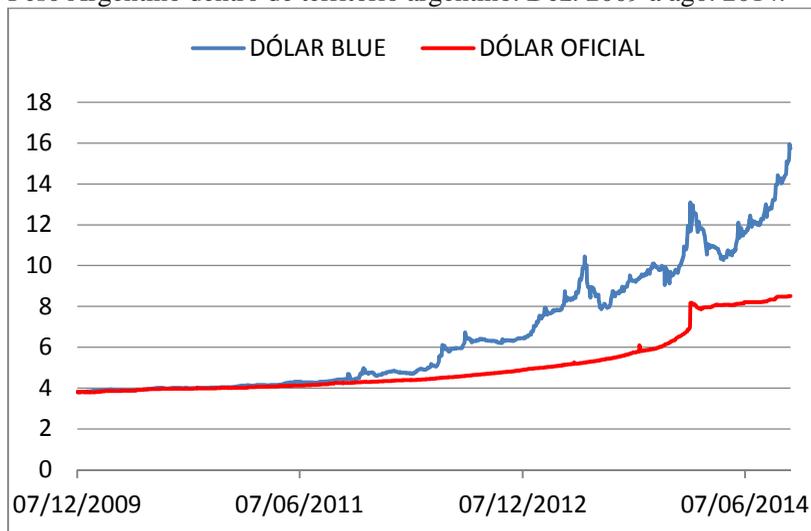
Ações do governo em relação ao acesso à moeda estrangeira através de controle cambial é uma das medidas regularmente adotadas para evitar a substituição maciça da moeda nacional pela estrangeira. Porém, a presença de um controle cambial forte acaba por levar ao aparecimento de uma cotação extraoficial, ou seja, o câmbio negro. O câmbio oficial regulado pelo governo e o câmbio negro, decidido pelo mercado, normalmente mostram cotações diferentes. A diferença entre o câmbio negro e o câmbio oficial distorce a percepção da população em relação ao estabelecimento dos preços, onde alguns definirão seus preços com o câmbio oficial enquanto outros escolherão o câmbio negro. Como o câmbio oficial em casos de controles cambiais é normalmente uma cotação artificial devido às restrições impostas, existe um incentivo para se utilizar o câmbio negro, o que em alguns casos força as autoridades monetárias a desvalorizarem a moeda local, aproximando a sua cotação ao câmbio negro.

For exports are hindered and imports are favoured by an overvaluation, and the pressure to use black instead of official markets increases with the difference between official and black market rates. The official market shrinks, which forces the authorities to devalue the official rate after some time (BERNHOLZ, 2003, p. 85).

Bernholz (2003) analisa a hiperinflação que atingiu o Peru entre 1980 e 1990, comparando durante o período a diferença entre a taxa de câmbio oficial e a taxa do mercado negro. Apesar dos dados limitados, foi possível identificar que durante todo o período a taxa oficial se mostrou sobreavaliada em relação ao mercado negro que mostrou uma persistente desvalorização. O autor mostra também que a hiperinflação que atingiu a Nicarágua apresentou o mesmo padrão, com uma taxa de câmbio da moeda local no mercado negro desvalorizada em relação à taxa de câmbio oficial.

Quando olhamos para o contexto atual da economia mundial, vemos que países que estão sofrendo problemas de inflação alta e controles cambiais apresentam as mesmas características dos países analisados por Bernholz (2003) durante o século XX. Um exemplo contemporâneo é a Argentina, que desde meados de 2011 começou a intensificar controles cambiais para evitar a saída de capital do país e consequentemente ocasionou um descolamento da taxa de câmbio oficial em relação à taxa de câmbio do mercado negro, regionalmente conhecida como o “dólar blue”. O exemplo se encaixa perfeitamente nas suposições de Bernholz (2003), onde é possível identificar que em determinadas situações a taxa de câmbio oficial gradativamente é elevada em direção à trajetória da taxa de câmbio do mercado negro.

Gráfico 1: Variação do Dólar Blue e do Dólar Oficial em relação ao Peso Argentino dentro de território argentino. Dez. 2009 a ago. 2014.



Fonte: Base de dados disponível em: <<http://www.dolarblue.net/>>. Acesso em: 26 set. 2014.

O caso da Argentina representado pelo Gráfico 1 é interessante de ser analisado, pois de fato está ocorrendo um efeito de competição monetária, principalmente em relação à fuga do peso argentino em busca de moedas estrangeiras mais estáveis. Os fortes controles cambiais, que impedem o cidadão argentino de comprar grandes remessas de dólar, impulsionam a cotação no mercado negro. Os

produtos têm seus preços cada vez mais atrelados ao valor do dólar no câmbio negro. Mesmo que não seja um caso explícito, a utilização da moeda estrangeira como unidade de conta se mostra presente. Em um cenário futuro de uma forte crise cambial no país, não pode ser descartada a hipótese de que em uma possível grande desvalorização da moeda nacional, ocorra a utilização do dólar ou outra moeda forte como meio de pagamento, levando de fato a uma substituição monetária caso o governo não execute uma estratégia de estabilização e caracterizando assim uma Lei de Gresham em reverso (*Thier's Law*).

A utilização de moedas estrangeiras, principalmente do dólar como reserva de valor, é algo que se desenvolveu dentro da cultura argentina, devido às históricas crises financeiras e à intervenção do governo através de controles cambiais, principalmente com as experiências da hiperinflação e confiscos da década de 1980. A hipótese de se realizar uma completa dolarização dentro do território argentino foi uma opção que esteve em pauta como solução para as recorrentes crises cambiais no país, como uma forma de evitar grandes ganhos e fortes perdas decorrentes das alterações no câmbio e também para trazer estabilidade nominal e credibilidade monetária (PERRY; SERVÉN, 2003). A crise que assolou o país entre 1998 e 2002, a qual foi a maior crise da história do país, foi um dos fatos históricos que reforçou a saída para o dólar como uma alternativa às instabilidades econômicas dentro da Argentina. O país até 2002 utilizava uma estratégia *hard peg* de câmbio fixo, onde era mantida uma paridade entre o peso e o dólar, o que fez com que não fosse possível utilizar da conta de crédito interno para validar operações no mercado aberto, fazendo com que o banco central argentino não conseguisse salvar o sistema financeiro devido à âncora cambial.

Ataques especulativos sobre moedas são também fatores que podem levar ao desencadeamento de crises cambiais. Em determinados momentos da história, as expectativas em relação à política do governo e suas estratégias fazem com que especuladores montem posições em relação à moeda nacional com a tentativa de auferir ganhos em relação à variação cambial. A expectativa futura da taxa de câmbio acaba por ter efeito na taxa de câmbio atual. Uma mudança na situação do déficit do governo, por exemplo, também implica na mudança das expectativas sobre a taxa de câmbio, uma vez que exista uma expectativa de que o déficit do governo irá aumentar no futuro, isto indica que a moeda irá sofrer uma desvalorização e conseqüentemente a expectativa futura de desvalorização irá depreciar a moeda agora, caso a economia funcionasse em um regime de câmbio flutuante.

Em um regime de câmbio fixo, o governo deve utilizar de reservas internacionais para manter o câmbio onde deseja, controlando todos os dias a cotação da moeda e realizando intervenções no mercado para manter o câmbio estável. O câmbio fixo pode trazer algumas vantagens, por possibilitar uma estabilidade nas flutuações da moeda de forma artificial e evitar que grandes variações no câmbio afetem o setor produtivo da economia, por isso o câmbio fixo foi utilizado por diversos países durante o século XX. Mas uma vez que as reservas internacionais se esgotem por causa de déficits em transações correntes ou saída de capitais, o governo não vai mais conseguir manter a taxa de câmbio fixa e conseqüentemente a moeda irá depreciar rapidamente. Porém, as reservas internacionais podem sofrer fortes pressões devido aos ataques especulativos. Uma vez que os indivíduos identifiquem que o governo não vai conseguir manter o câmbio fixo e a qualquer momento poderá abandonar o regime, eles aumentarão a expectativa futura de desvalorização do câmbio o que conseqüentemente forçará a desvalorização mais rapidamente, se tornando assim uma profecia autorrealizável. Como colocado por Krugman, parafraseando o presidente do banco central de um país pequeno e com problemas, “Once I have only six months’ reserves I will have no reserves” (KRUGMAN; WELLS, 2012, p. 9).

Pelo fato de as profecias autorrealizáveis fazerem parte do processo de ataques especulativos, alguns economistas apontam que esta é uma das causas de estes acontecerem em ondas ao redor do mundo, com um país sendo afetado seguido do outro. Ataques contra a libra esterlina em 1992, por exemplo, foram seguidos por ataques contra a lira italiana, o franco francês e a coroa sueca. Assim como ataques contra a baht tailandês em 1997 levaram a posteriores ataques contra várias moedas ao redor do mundo, inclusive contra o real brasileiro no final de 1998 no início de 1999. Assim, segundo Krugman e Wells (2012), o efeito do colapso do regime de câmbio fixo em um país acaba por gerar um fenômeno de contágio para outras moedas nacionais, pois os investidores começam a questionar a viabilidade do câmbio fixo nos outros países o que acaba fomentando ainda mais um ataque especulativo.

Um caso interessante foram os ataques especulativos que aconteceram contra a libra esterlina em 1992 que forçaram a Inglaterra a abandonar o *European Exchange Rate Mechanism* (ERM) do qual fez parte durante 1990-1992 e tinha por objetivo diminuir a variação cambial entre as moedas nacionais da comunidade europeia como forma de preparação para a introduzir o Euro como moeda única. A Inglaterra

desse modo foi forçada a abandonar o câmbio fixo e a desvalorizar a libra, mas alguns autores apontam que isto aconteceu muito mais por uma pressão social e de profecias autorrealizáveis do que de fato por falta de reservas para manter o câmbio fixo. Como apontado por Krugman e Wells (2012), a Inglaterra estava passando por uma situação econômica de alto desemprego, baixo crescimento e altas taxas de juros, assim existia uma forte pressão contra o governo britânico para abandonar o regime de câmbio fixo e com isso poder baixar as taxas de juros e estimular a economia. Desse modo, a pressão de investidores na expectativa de desvalorização da libra esterlina fazia com que o governo inglês tivesse que aumentar ainda mais as taxas de juros para manter o câmbio fixo. O ápice do ataque especulativo contra a libra esterlina se deu em 16 de setembro de 1992, dia que ficou conhecido como *Black Wednesday*, quando o governo britânico entendeu que a situação não era mais sustentável ao não conseguir manter o câmbio acima do valor limite estipulado pela ERM, o que acabou desvalorizando a libra esterlina e consequentemente cumprindo as expectativas dos investidores.

O período pós *Black Wednesday* gerou várias mudanças no manejo da política econômica do governo inglês. Alguns autores (KRUGMAN; WELLS, 2012) até mesmo afirmam que a *Black Wednesday* deveria ter seu nome trocado para *White Wednesday*, pois depois do colapso da libra esterlina, o governo conseguiu sair da inércia econômica que o país se encontrava e conseguiu diminuir o desemprego e a inflação no país, além de retomar o crescimento econômico.

Assim, é possível concluir que a substituição monetária dentro de um país acaba acontecendo por diversos fatores que gradativamente afetam o poder de compra da moeda local em relação à moeda estrangeira. Os ataques especulativos causam perturbações nas taxas de câmbio, podendo servir como fagulhas a desencadear consequências mais drásticas. Hiperinflações ou crises cambiais forçam os indivíduos de uma economia a procurarem formas de proteger suas riquezas, assim como mudam o seu comportamento ao realizar transações. Desse modo, o fenômeno em atividade através da Lei de Gresham em reverso indica que a moeda local está perdendo suas características de moeda, não mais servindo como unidade de conta, reserva de valor e meio de pagamento. O estágio final desencadeado pela Lei de Gresham em reverso é a completa substituição monetária de uma economia.

2 O CONTROLE SOBRE A MOEDA

A evolução das instituições financeiras e o desenvolvimento das teorias econômicas no decorrer dos últimos séculos moldaram a economia da atualidade. Este capítulo analisa o controle sobre a moeda pelos governos e como o controle monetário desempenha uma função crucial para a execução de políticas econômicas.

2.1 FUNÇÕES DE UM BANCO CENTRAL

A principal instituição financeira da atualidade que preza pela estabilidade econômica de um país é o banco central. Esta instituição, a qual pode ser pública ou privada, define nos dias de hoje a autoridade monetária que estabelece as normas e executa políticas monetárias a fim de controlar a oferta de moeda dentro de uma economia, fixando valores para as taxas de juros de forma a atingir metas para a inflação. Dessa forma, é possível definir que as principais funções de um banco central são: servir como “banco dos bancos”, possuir o monopólio sobre a emissão de moeda, ser emprestador de última instância, regular bancos comerciais e conduzir políticas monetárias. Porém, um banco central pode ser definido como tal sem necessariamente executar todas essas funções juntas.

A origem dos bancos centrais como instituição remete principalmente ao desenvolvimento do sistema bancário inglês no decorrer dos séculos XVIII e XIX. O *Bank of England*, o qual era em princípio uma instituição privada, gradativamente ganhou privilégios do governo inglês em relação ao controle sobre as contas do governo, o monopólio sobre a emissão de moedas em Londres e o controle sobre bancos de capital aberto. Tais privilégios concedidos ao *Bank of England* fizeram com que os demais bancos comerciais menores fossem gradativamente se agrupando ao seu redor e começassem a depositar as suas reservas no banco. O *Bank of England* não foi institucionalizado pelo Estado para funcionar como um banco central, porém os privilégios concedidos a ele o transformaram no principal banco da Inglaterra. Como explicado por White (1999), quando um governo central oferece privilégio a um banco comercial, de forma que ele se torne distinto dos outros em tamanho e segurança, este banco se tornará o “banco dos bancos”, mesmo que esta não fosse a intenção inicial.

O contexto histórico da era conhecida como *Free Banking* nos Estados Unidos fornece informações interessantes em relação ao processo de centralização do poder monetário em território Norte

Americano. Durante 1837-1862 bancos comerciais regulados pelo estado em que estivessem localizados podiam emitir seu próprio papel-moeda utilizando como lastro *commodities* como o ouro ou a prata. Este controle descentralizado apesar de aumentar o número de bancos locais e fomentar a economia em determinados lugares, ao mesmo tempo aumentou o risco de *default* dos bancos locais que acabavam recebendo uma supervisão fraca em determinadas localidades. O tempo de vida médio dos bancos neste período era de apenas cinco anos, uma falência que tinha suas causas na maioria das vezes no fato de os bancos não conseguirem mais amortizar as notas emitidas por eles. Porém, algumas exceções interessantes ocorreram neste período, como foi o caso do *New York Safety Fund System*, o qual funcionava como um fundo de proteção em que cada banco local (*chartered-banks*) contribuía de forma a pagar o resgate de notas emitidas pelos bancos falidos. Outro exemplo interessante aconteceu na cidade de Boston, onde o *Suffolk Bank*, um banco privado, começou a desempenhar a atividade de uma câmara de compensação, reforçando que as notas emitidas pelos demais bancos da região fossem aceitas próximas do seu valor nominal. O *Suffolk Bank* é frequentemente citado como o exemplo de sucesso do período *Free Banking* e utilizado em muitos aspectos para tentar se justificar uma economia mais aberta e sem um controle centralizado gerido por um banco central. Durante a crise de 1837, enquanto várias regiões dos Estados Unidos estavam sofrendo de desemprego e quebra de bancos, na região de Boston o *Suffolk Bank* conseguiu manter o controle sobre o papel-moeda dos bancos locais, evitando assim um aprofundamento da crise naquela região. “In Connecticut in the years following the crisis of 1837 not one bank failure occurred, nor was there a suspension of specie payments. All banks were able to continue to redeem their bills at the Suffolk Bank” (TRIVOLI, 1979, p.17).

O estabelecimento do *Federal Reserve* como o banco central dos Estados Unidos aconteceu de forma gradativa. A ideia de criar um banco que controlasse a oferta de moeda de forma elástica se fortaleceu principalmente após a crise de 1907, com a constatação perante o governo e banqueiros de que os Estados Unidos eram um dos últimos países fortes da época que não possuíam um banco central. Pelo fato de os bancos funcionarem em sua maioria descentralizados, o sistema bancário dependia em grande parte da decisão dos grandes bancos da época como forma de manter a estabilidade econômica³.

³ Como foi o caso do poder concentrado em apenas um homem, J. P. Morgan, banqueiro americano que desempenhou função relevante no

O monopólio sobre a emissão de moeda talvez seja a característica mais importante em relação ao banco central como instituição. Porém, o estabelecimento de uma moeda dominante emitida por bancos comerciais competitivos não surge naturalmente como fruto de uma economia de escala. Como apontado por Smith (1990), o estabelecimento de um banco como detentor do poder sobre a emissão de moeda não é um monopólio natural, mas sim definido por legislação de forma a favorecer determinado governo central.

A central bank is not a natural product of banking development. It is imposed from outside or comes into being as the result of Government favours. This factor is responsible for marked effects on the whole currency and credit structure which brings it into sharp contrast with what would happen under a system of free banking from which Government protection was absent (SMITH, 1990, p. 169).

Em relação à característica de emprestador de última instância, o banco central atua de forma a evitar falhas sistêmicas nas operações de bancos comerciais. O emprestador de última instância tem a prerrogativa de injetar dinheiro na economia, ou seja, aumentar a base monetária em momentos em que ocorre uma rápida diminuição das reservas bancárias, normalmente compelida pelo público em geral que em uma época de incerteza pode preferir retirar suas reservas dos bancos comerciais levando conseqüentemente a uma possível crise em um sistema de reservas fracionárias. Desse modo, o banco central ao atuar como um emprestador de última instância, funciona como uma proteção contra um possível colapso gerado por um momento de pânico na economia. Como apontado por Bagehot (1873, p. 74) “whatever bank or banks keep the ultimate banking reserve of the country must lend that reserve most freely in time of apprehension.” O autor estava se referindo ao *Bank of England* que em sua época era o maior detentor das reservas de ouro do país, logo possuía o dever de promover dinheiro ao mercado de forma a evitar problemas de liquidez para os bancos comerciais e evitar a redução da oferta de crédito em momentos de incerteza.

desenvolvimento financeiro no início do século XX nos Estados Unidos e ajudou a conter a crise de 1907 ao oferecer suas próprias reservas como garantia, aumentando assim a liquidez na economia e evitando que a crise se agravasse.

A regulação sobre os bancos comerciais pode ser vista de maneiras distintas. Por um lado existe uma procura dos próprios bancos comerciais em participarem de um sistema de regulação proposto por câmaras de compensação muitas vezes privadas, como forma de mostrar ao mercado que o banco possui solvência, além de se certificar que os demais bancos membros, nos quais eles mantenham negociações, não estejam em uma situação de eminente *default*. Por outro, regulações mais severas de controle, com o estabelecimento de normas, restrições e monitoramento, são normalmente realizadas pelos bancos centrais ou alguma outra instituição governamental com poderes à altura.

A condução de políticas monetárias talvez seja a função mais importante que um banco central procura executar, pois depende de estratégias bem definidas que afetam a economia no todo. A prerrogativa de suavizar os ciclos dos negócios, defendida pelos novos keynesianos, é a estratégia econômica *mainstream* utilizada pela grande maioria dos países. Em outras palavras, a política monetária existe para suavizar as variações no produto da economia, além de ser instrumento para o controle sobre a inflação ou estímulo ao crescimento. Obviamente que diferentes países agem a sua maneira, não necessariamente seguindo uma estratégia econômica definida, pois fatores políticos e conjunturais afetam em muitos casos como as políticas econômicas são realizadas. Discussões em relação a quanto o banco central deve ser independente e autônomo nas tomadas de decisões ou qual a relação entre o grau de independência e o desempenho econômico são feitas por Alesina e Summers (1993) e por Debelle e Fischer (1994), onde os autores examinam com detalhes as implicações positivas e negativas que um banco central com poderes independentes impõe sobre a economia.

Existe tanto um debate teórico quanto histórico em relação à prerrogativa de existir um banco central que possui o monopólio sobre a emissão e controle da moeda. A ideia de que uma moeda é um bem público e logo a sua estabilidade envolve uma melhoria do bem estar dos indivíduos e conseqüentemente deve ser controlada por uma instituição governamental é discutida por diversos autores. Para White (1999), a evolução para como conhecemos as instituições monetárias da atualidade aconteceu de forma gradativa e logicamente influenciada pelos acontecimentos históricos e motivações políticas de cada período. As diversas crises monetárias que aconteceram nas principais economias do mundo no decorrer do século XX fizeram ampliar o debate em relação à necessidade de existir um poder centralizado de forma a promover liquidez para a economia em momentos de incerteza. A

prerrogativa de suavizar os ciclos econômicos através de políticas monetárias se mostrou aos olhos de muitos economistas liberais do período como uma forma até mesmo de menor intervenção por parte do Estado em comparação com as políticas fiscais que eram a principal forma de intervenção na economia. Desse modo, até mesmo os que defendiam uma economia de maior *laissez-faire* viram a política monetária como uma forma de menor intervenção do Estado, uma vez que as intervenções aconteciam em relação à oferta monetária e não em relação aos gastos fiscais do governo.

Apesar de se utilizar de políticas monetárias contra-cíclicas para suavizar as oscilações do produto real da economia em relação a sua trajetória histórica, um completo controle sobre a variação do produto é uma tarefa quase impossível, uma vez que os choques tecnológicos e de oferta mudam a taxa de crescimento natural do produto, variáveis difíceis de prever ao realizar políticas monetárias. Desse modo, o objetivo principal das políticas monetárias é manter a economia o mais próximo possível do seu crescimento natural, ou seja, evitar ao máximo oscilações no produto.

Ao visualizar a economia de um país através de um simples modelo de demanda e oferta agregada, e considerando que os deslocamentos da curva de demanda agregada são ocasionados por variações na quantidade de moeda, M , ou pela variação da velocidade de circulação da moeda, V , uma política monetária corretamente executada implica em compensar as variações em V com mudanças muito bem cronometradas e dimensionadas em M^4 . Como colocado por White (1999, p. 216) “Activist monetary policy is a benefit on net if, and only if, it succeeds in this task”. Desse modo, a política monetária tenta antecipar e corrigir variações no produto ao controlar a oferta de moeda. Porém, como destacado por White (1999, p. 216):

Under strong-form rational expectations, the public anticipates any systematic monetary policy response to observable macroeconomic variables, and incorporates it into its pricing and output decisions, making monetary policy ineffective in stabilizing real income. [...] Unanticipated policy can have a real effect, but its effect is not helpful: it only adds noise to the economy.

⁴ Quando levado em consideração a equação de troca $MV = Py$.

Apesar de elucidativo, o autor deixa escapar a sua visão a respeito da intervenção por parte dos bancos centrais, ao afirmar que as políticas monetárias no fundo representariam apenas ruídos para a economia. Este é um tema que divide opiniões e permeia as diversas escolas econômicas, sendo discutido em diversas esferas da macroeconomia. Análises mais profundas e fundamentadas sobre os efeitos da política monetária foram feitas por Clarida, Galí e Gertler (2000), os quais possuem uma tradição novo keynesiana, diferente de White (1999) que possui uma visão focada no movimento *Free Banking*. Clarida, Galí e Gertler (2000) ao analisarem a economia norte americana durante a segunda metade do século XX, constataram que as diferentes gestões do Federal Reserve geraram diferentes resultados para as políticas monetárias:

In the pre-Volker years, the Fed typically raised nominal rates by less than any increase in expected inflation, thus letting real short term rates decline as anticipated inflation rose. On the other hand, during the Volker-Greenspan era the Fed raised real as well as nominal short term interest rates in response to higher expected inflation. Thus, our results thus lend quantitative support to the view that the anti-inflationary stance of the Fed has been stronger in the past two decades (CLARIDA; GALÍ; GERTLER, 2000, p. 23).

Os autores ao estudarem os diferentes períodos, constataram as diferentes condutas realizadas em relação às políticas monetárias e observaram que de fato existem efeitos reais acontecendo sobre o produto, efeitos estes ocasionados pela preocupação do banco central em responder a mudanças na inflação. Os autores constatam que provavelmente houve uma evolução das teorias econômicas entre os períodos pré e pós 1979, gerando uma melhor efetividade por parte do Federal Reserve ao realizar políticas monetárias.

A discussão em relação aos mecanismos de transmissão da política monetária é algo que esteve presente em muitos estudos macroeconômicos das últimas décadas e ainda continua sendo discutido em muitos aspectos. Como de fato a política monetária afeta a economia de um país, quais são os canais e como estes se comportam dadas as alterações da taxa de juros através de intervenções de um banco central é

algo de extrema importância para que se atinja o respectivo fim, a estabilização econômica.

Muitos autores nas últimas décadas tentaram responder à pergunta que a princípio pode parecer simples e básica: como a política monetária funciona? No entanto, esta pergunta possui uma resposta profunda e fundamentada, e que mesmo na atualidade ainda não foi completamente respondida. Autores como Kashyap e Stein (2000) analisaram o mecanismo de transmissão das políticas monetárias em relação ao canal do crédito para a economia Norte Americana para o período 1976-1993, através de dados em painel que incluía todos os bancos comerciais assegurados dos Estados Unidos. Os autores identificaram que dentro da classe dos bancos pequenos, alterações na política monetária influenciaram de forma mais forte a oferta de crédito dos bancos que possuem os balanços patrimoniais menos líquidos.

Our principal conclusions can be simply stated. Within the class of small banks, changes in monetary policy matter more for the lending of those banks with the least liquid balance sheets. The results are for the most part strongly statistically significant, and are robust to a wide range of variations in estimation technique (KASHYAP; STEIN, 2000, p. 29).

Neste mesmo caminho Bernanke e Gertler (1995) também analisaram os impactos de políticas monetárias através do mecanismo de transmissão originado pelo canal do crédito. Os autores constataram, por exemplo, que o impacto da política monetária é de fato forte em relação aos bens de consumo duráveis e que outros segmentos, como os investimentos não-residenciais, ocorrem com um atraso considerável em relação à implementação da política monetária. Mishkin (1996) também explorou de forma intuitiva os mecanismos de transmissão tradicionais, partindo do canal da taxa de juros, explorando o canal do preço dos ativos e também do canal do crédito. Desse modo, os bancos centrais através de vários canais de transmissões afetam o produto real da economia ao realizar modificações na oferta de moeda.

Outra teoria interessante em relação ao comportamento de um banco central, porém pertencente a outra corrente teórica, é a regra k de Friedman (*Friedman's k-percent rule*). Pertencendo à corrente monetarista, a regra k de Friedman representa uma visão mais crítica e pessimista em relação às políticas monetárias e intervenções realizadas

pelos bancos centrais. Em seu discurso de posse presidencial da *American Economic Association*, Milton Friedman defendeu os benefícios de se utilizar de regras predefinidas de política monetária, ao invés da discricção dos economistas do Federal Reserve. Seu ponto de vista estava baseado no fato de as variáveis reais da economia tenderem para seus valores “naturais” no longo prazo, logo a política monetária somente teria o poder de afetar essas variáveis no curto prazo. Pelo fato de os bancos centrais, segundo Friedman, não saberem ao certo quando estariam utilizando de uma estratégia boa ou ruim, uma vez que a tomada de decisão era baseada na discricção de cada situação, seria mais sensato utilizar de uma regra fixa, no caso, aumentando a oferta de moeda em um valor k por ano, onde k seria uma constante que representasse o crescimento do produto real da economia. Uma estratégia predefinida para a política monetária permitiria que os indivíduos antecipassem os efeitos da política monetária, além de evitar que o banco central tivesse qualquer incentivo em aumentar a oferta de moeda além do necessário causando inflação.

As ideias de Friedman em relação a uma regra fixa de política monetária foram evoluindo gradativamente, com o autor considerando a possibilidade de utilizar de sistemas eletrônicos para substituir as funções do Federal Reserve. “I’ve always been in favor of abolishing the Federal Reserve and substituting a machine program that would keep the quantity of money going up at a steady rate.” (FRIEDMAN, 2006). A ideia de política monetária elaborada por Friedman se aproxima em alguns aspectos do processo de emissão de moeda do protocolo Bitcoin, que será discutido amplamente nos próximos capítulos.

Uma teoria que se encontra em um ponto entre a regra de k de Friedman e a pura discricção por parte do banco central, foi elaborada por McCallum (1989), onde o autor descreve que seria possível executar uma política monetária ativa na economia, mas não totalmente discricionária. A ideia do autor era criar uma regra de resposta (*feedback rule*) que se adaptaria à taxa de inflação, crescimento do produto e velocidade das transações de forma automática, aumentando ou diminuindo a base monetária de acordo com o necessário, diferentemente do k de Friedman que se manteria em um valor constante no decorrer do tempo.

Simulações realizadas por McCallum (1989) indicam que sua proposta era robusta e que provavelmente teria conseguido manter o crescimento do produto de maneira mais estável do que a estratégia do Federal Reserve dentro do período analisado. Porém, como destacado por White (1999, p. 225):

Central bankers in many countries have exercised their discretion to bring inflation down from double digits to a range of 3-4 percent, and now speak of their resolve to maintain 'price stability'. Under those circumstances, the public is unlikely to agitate for a major institutional experiment.

Assim, apesar de a proposta ser viável e possivelmente mais eficiente, existe toda uma política por trás das decisões do Federal Reserve e demais bancos centrais que valorizam e prestigiam a discricão nas tomadas de decisões invés da utilização de uma regra predefinida. Além disso, o poder discricionário dos bancos centrais evoluiu nas últimas décadas, de forma que as decisões, apesar de não seguirem uma regra exata e dependerem da decisão de analistas e gestores, têm conseguido na maioria dos casos manter a inflação sob controle. Desse modo, existe um relaxamento frente a uma mudança institucional que explore outras formas de política monetária perante o público em geral.

2.2 O PROCESSO DE SENHORIAGEM

Um dos principais fenômenos sobre o controle monetário está em relação ao processo de emissão de moeda, principalmente os efeitos que isto causa no nível de preços. O processo de senhoriagem, apesar de pertencer aos primórdios da cunhagem de moedas, é um fenômeno que se mantém presente e gera discussões ainda na atualidade. Como colocado por White (1999), em termos simples, senhoriagem representa o lucro gerado ao produzir moedas a um custo menor do que a moeda produzida possui. Antigamente a senhoriagem podia ser interpretada como os ganhos gerados pelo aviltamento das moedas metálicas, ou seja, a diminuição do conteúdo metálico das moedas pelos reis ou governantes de forma a inflar a receita dos mesmos. Com a moeda fiduciária (*fiat money*) não é diferente. Os ganhos gerados a partir da "impressão" de papel-moeda ou mesmo através do aumento da base monetária por registros contábeis pelo banco central representam a senhoriagem hoje em dia. Logicamente que o processo de manipulação da base monetária não segue mais a simples alteração do conteúdo metálico de moedas, o banco central ou a autoridade monetária do país em questão normalmente faz uso de operações de mercado aberto, onde ocorre a negociação de títulos do governo a uma dada taxa de juros, de forma a aumentar ou diminuir a base monetária. A base monetária

também pode aumentar simplesmente pagando as contas do governo, ou ser reduzida com arrecadação de impostos. Outras técnicas mais sofisticadas, como o *quantitative easing*, também funcionam como mecanismos de estímulo à economia ao aumentar a base monetária através da compra de ativos financeiros por parte dos bancos centrais.

White (1999, p. 144) elaborou um modelo intuitivo sobre o funcionamento do processo de senhoriagem, utilizando como base notações algébricas derivadas do clássico artigo de Bailey (1956) e de McCulloch (1982), de forma que o fluxo de senhoriagem do governo é representado por:

$$s = \frac{\Delta H}{P}.$$

Sendo que s representa o valor da senhoriagem real, ΔH a variação nominal da base monetária e P o nível de preços. É possível transformar esta expressão de forma a isolar os dois diferentes aspectos da senhoriagem: a “taxa de imposto” e a “base tributária”,

$$s = \left(\frac{\Delta H}{H}\right)\left(\frac{H}{P}\right).$$

Onde $(\Delta H/H)$, a taxa de crescimento de H , representa a “taxa de imposto” e (H/P) , o estoque real de moeda, representa a “base tributária”. A equação anterior pode ser simplificada por,

$$s = Eh,$$

onde E representa a taxa de expansão da base monetária $(\Delta H/H)$ e h representa o estoque real de moeda (H/P) . White (1999, p. 145) assume que tanto a taxa de inflação efetiva quanto a esperada variam na mesma proporção que a taxa de expansão da base monetária. Assim, uma equação de crescimento derivada da equação de troca $MV = Py$ pode ser definida como,

$$\frac{\Delta H}{H} + \frac{\Delta V}{V} \approx \frac{\Delta P}{P} + \frac{\Delta y}{y},$$

onde é possível assumir que,

$$\frac{\Delta P}{P} = \frac{\Delta H}{H} + k,$$

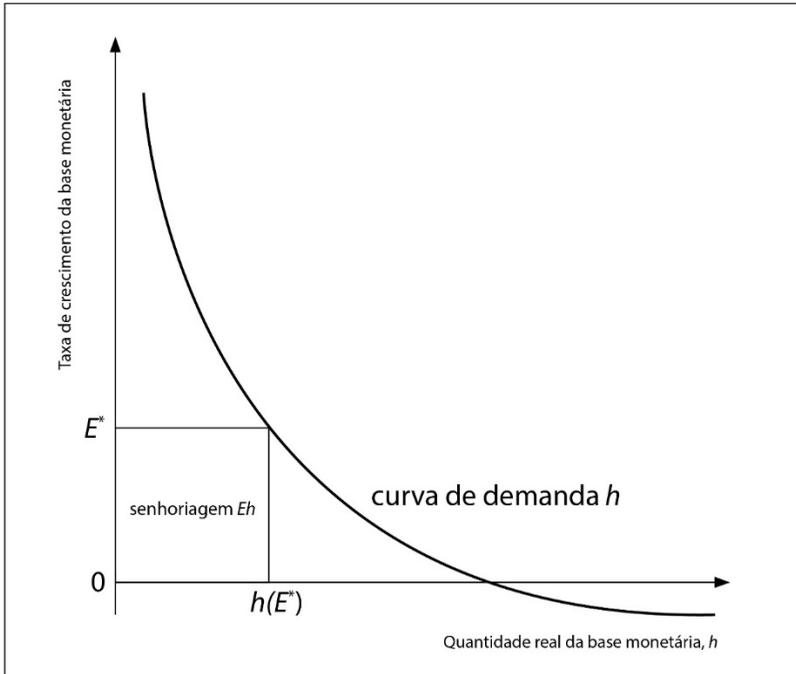
sendo k uma constante que representa a diferença entre a taxa de crescimento da velocidade das transações e a taxa de crescimento do produto real,

$$k = \frac{\Delta V}{V} - \frac{\Delta y}{y}.$$

Dada estas suposições, um aumento da taxa de crescimento da base monetária implica diretamente em um aumento da taxa de inflação. O estoque real de moeda (h) se ajusta de acordo com a demanda por moeda do período (h^d), através do ajuste do nível de preços (P). Assim, se ocorrem mudanças em E , ou seja, mudanças na taxa de expansão da base monetária, diretamente ocorrem mudanças na taxa de inflação esperada. Quanto maior a taxa de inflação esperada, maior o “preço” pago, na forma de perda de poder de compra, o que significa que a quantidade real de demanda por moeda cai à medida que a taxa de expansão da base monetária E aumenta. Desse modo, um governo que tenta maximizar a sua senhoriagem, ou seja, procura maximizar s em relação a E , deve levar em consideração o efeito negativo que um maior valor de E causa na quantidade real de demanda por moeda (WHITE, 1999, p. 146).

Quanto maior a taxa de expansão da base monetária E , maior serão os ganhos de senhoriagem do governo, porém isto tem um efeito contrário que reduz o estoque real de moeda h devido ao aumento na expectativa de inflação. Assim, um ponto maximizador de senhoriagem pode ser definido por E^* , onde o nível de senhoriagem atinge um valor que não pode mais ser elevado sem que a diminuição de h afete os ganhos totais de senhoriagem do governo, como ilustrado pelo Figura 1.

Figura 1: Nível de senhoriagem máximo representado pelo retângulo abaixo da curva de demanda h .



Fonte: Adaptado a partir de White (1999, p. 147).

A área do retângulo abaixo da curva de demanda h representa o ganho de senhoriagem obtido pelo governo dada a taxa de crescimento da base monetária. Como o governo é monopolista e detentor do poder de emissão de moeda, este exemplo também pode ser relacionado com a teoria monopolista de maximização de preços, principalmente quando interpretado em termos de elasticidade.

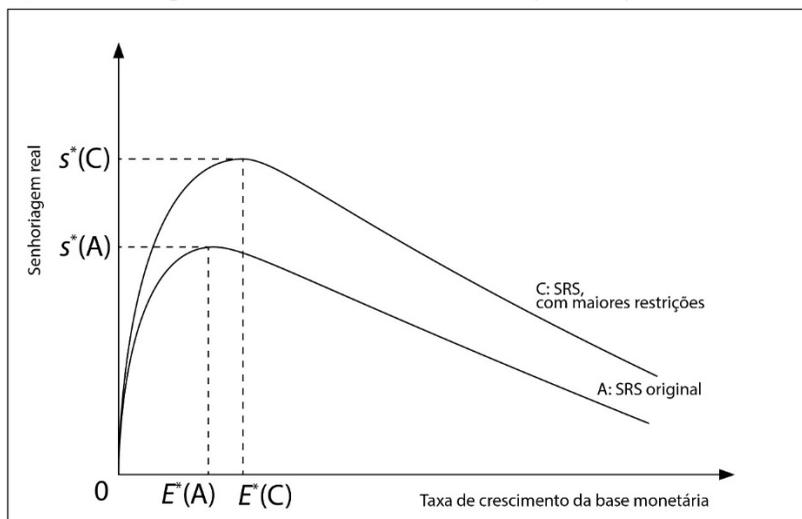
Um outro modo de visualizar os efeitos da senhoriagem na economia é através da Curva de Bailey (figura 2), que representa o ganho real de senhoriagem dada a taxa de crescimento da base monetária, algo que se assemelha em alguns aspectos a possivelmente mais conhecida Curva de Laffer. Bailey (1956) utilizou da função elaborada anteriormente por Phillip Cagan para demonstrar o ponto maximizador de senhoriagem do governo. Desse modo, a Curva de Bailey pode ser definida por,

$$\ln h^d = \beta - \alpha E.$$

Assim, o formato da Curva de Bailey indica o estado-estacionário da senhoriagem real, *steady-state of real seigniorage* ou simplesmente SRS. Quanto maior β mais íngreme será a Curva de Bailey na origem, o que levará a uma senhoriagem (s^*) mais alta. Quanto maior o valor de α , mais rapidamente a curva se aproxima do eixo horizontal assintoticamente à medida que E tende ao infinito.

O formato da Curva de Bailey permite a nível teórico a visualização de como diferentes políticas afetam os ganhos de senhoriagem de um governo. A Figura 2 representa uma política onde ocorre a imposição de restrições sobre bens substitutos da moeda nacional, ou seja, medidas que dificultem o uso de outras moedas pelos indivíduos para realizar transações. Tais restrições forçam um aumento de demanda pela moeda nacional, o que aumenta a senhoriagem real do governo para qualquer taxa de expansão da base monetária. A curva 'A' na Figura 2 representa a SRS onde existem outras moedas competindo com a moeda nacional, enquanto a curva 'C' representa a SRS com menos bens substitutos, ou seja, onde existem restrições por parte do governo na utilização de outras moedas além da nacional.

Figura 2: Comportamento do nível de senhoriagem do governo.



Fonte: Adaptado a partir de White (1999, p. 154).

As conclusões de White (1999) implicam que quanto maior o número de bens substitutos para a moeda nacional, ou seja, quanto mais moedas estiverem competindo dentro de uma mesma economia, menores serão os ganhos advindos de senhoriagem para o governo. Em contrapartida como ilustrado pela Figura 2, maiores restrições ao uso de outras moedas deslocam a curva SRS para cima e para direita, aumentando o nível de senhoriagem. Proibir a utilização de moedas estrangeiras de uma economia é uma forma de proteger os ganhos de senhoriagem. Como apontado por White (1999, p. 154):

A seigniorage-motivated government would certainly seek to prevent a widespread substitution from domestic to foreign currency, a phenomenon known in Latin America as the “dollarization” of the economy. Dollarization shrinks the real demand for domestic currency and, thereby, reduces potential seigniorage.

Logo, o processo de senhoriagem é algo que afeta o comportamento das estratégias econômicas de um governo em vários aspectos. O controle monetário continua sendo necessário para a implementação de políticas, permitindo desde o próprio financiamento via emissão de moeda, controle da inflação e realização de políticas monetárias de forma a estimular a economia. Porém, a existência de um *trade-off* entre se autofinanciar e o consequente aumento da expectativa de inflação, coloca os governos e instituições monetárias em uma posição oportuna, na qual combinada com os incentivos errados podem gerar crises econômicas⁵.

2.3 MOEDAS CONCORRENTES

Muitos foram os estudos elaborados nas últimas décadas a respeito da competição entre moedas. Principalmente a concorrência entre a moeda doméstica e a moeda estrangeira dentro de um

⁵ A hiperinflação que atingiu o Zimbábue em 2008 teve, entre outras causas, a tentativa do governo em se autofinanciar emitindo moeda. 50% das receitas do governo do Zimbábue naquele ano vieram da emissão de moeda, gerando uma hiperinflação de aproximadamente 150.000% ao mês (GERSON, 2008).

determinado país. As crises cambiais que assolaram diferentes economias durante o século XX, tiveram em grande parte a presença de moedas estrangeiras que funcionaram como alternativa para a população que tentava proteger suas riquezas, sendo o processo de dolarização um clássico exemplo disso. Muitos modelos foram elaborados mostrando a interação entre diferentes moedas, ao explorarem a dinâmica por trás da escolha dos agentes e os efeitos que levam a uma substituição monetária.

O artigo elaborado por Engineer (2000) conseguiu explorar de forma técnica os diferentes motivos que fazem uma moeda doméstica continuar sendo utilizada mesmo na presença de hiperinflação e com uma moeda estrangeira servindo de alternativa para as transações. A persistência em existirem duas moedas onde uma possui características mais estáveis que a outra funcionando na mesma economia é um fenômeno enigmático, pois o que levaria os indivíduos a não substituírem totalmente as suas transações para a moeda mais estável? Engineer (2000) demonstrou que apesar de uma moeda estrangeira ser mais estável em uma economia sofrendo de uma crise cambial, a moeda nacional ainda se mantém presente, devido principalmente aos diferentes custos de transação envolvidos. O não desaparecimento de uma moeda doméstica com alta inflação pode ser explicado devido à sua alta velocidade de circulação e o seu papel em minimizar os custos das transações menores do dia-a-dia, como apontado pelo autor:

The nondisappearance of the hyperinflating domestic currency can be explained by its high velocity in its role of minimizing the transactions costs of everyday small purchases. Surprisingly, the presence of the foreign currency may increase welfare in this situation because it provides flexibility in facilitating large occasional purchases (ENGINEER, 2000, p. 133).

Os avanços das últimas décadas nos estudos sobre equilíbrios múltiplos entre moedas demonstraram as diferenças teóricas existentes entre considerar moedas como bens substitutos perfeitos ou como substitutos imperfeitos. Como apontado por Engineer (2000), os autores Kareken e Wallace (1981) descobriram que se duas moedas fossem bens substitutos perfeitos em relação ao poder de compra, o preço relativo entre as moedas seria indeterminável, e uma moeda não perderia valor em relação a outra. Porém, ao começar a tratar as moedas como bens

substitutos imperfeitos, ao incluí-las em funções utilidade ou ao restringir quais bens poderiam ser comprados com determinada moeda, os modelos começaram a se tornar mais reais e a de fato responder o porquê de existir equilíbrios entre duas moedas em situações onde uma se mostrava aparentemente muito superior à outra.

O modelo elaborado por Engineer (2000) apresentou conclusões interessantes. Quando uma moeda doméstica possui um alto crescimento da base monetária mas um custo de transação baixo, ela é usada para a maioria dos gastos no período em que a demanda de consumo é baixa. Por outro lado, em períodos onde a demanda de consumo é alta, a moeda doméstica é suplementada pela moeda estrangeira. Porém, como a moeda doméstica possui uma inflação positiva, devido ao alto crescimento da base monetária, ela é a moeda preferível em ser gasta, como uma espécie de ‘batata quente’ que perde o seu valor mais rapidamente. Por outro lado, a moeda estrangeira é acumulada e utilizada somente em gastos ocasionais, por se tratar de uma moeda que funciona como melhor reserva de valor. A moeda estrangeira não é utilizada para todas as transações por possuir um custo de transação alto, o que faz dela uma moeda de precaução, possuindo desse modo uma velocidade de circulação baixa.

Apesar de não explicitado no artigo, o modelo de Engineer (2000) amplia o debate em relação à Lei de Gresham previamente abordada, apresentando alguns aspectos importantes sobre a interação entre duas moedas diferentes dentro da mesma economia, “if the [growth rates] difference becomes too large or too small one currency will drive the other out” (ENGINEER, 2000, p 133). Uma moeda desaparecendo de circulação devido à existência de uma outra moeda é um fenômeno recorrente na história das relações econômicas, porém o autor conseguiu demonstrar que podem existir diferentes equilíbrios devido principalmente aos diferentes custos de transação envolvidos.

Em algumas situações, a presença de uma moeda estrangeira pode aumentar o bem-estar dos indivíduos de uma economia, por promover uma maior flexibilidade e facilitar determinadas transações ocasionais. Engineer (2000) mostra que em situações onde a inflação é alta, devido a necessidade do governo em gerar receitas através de senhoriagem, a presença da moeda estrangeira aumenta o bem-estar por possibilitar uma concorrência frente a moeda doméstica, algo que vai ao encontro do modelo de senhoriagem proposto por White (1999) apresentado anteriormente. No entanto, se a inflação na moeda doméstica for baixa, uma moeda estrangeira pode ter um impacto negativo no bem-estar, uma vez que a competição causada pela moeda

estrangeira pode reduzir o valor da moeda doméstica, a qual pode ser interpretada como um bem público. As análises de Engineer (2000) também mostram que mesmo se a moeda doméstica possuir uma inflação muito baixa, a moeda estrangeira pode continuar existindo, caso ela possua um custo de transação também baixo. Com uma inflação doméstica baixa, as tentativas de eliminar a moeda estrangeira, através da proibição ou com aumento do custo de transação, podem levar a uma melhora do bem-estar, pois os indivíduos estarão em uma melhor situação no equilíbrio monetário onde a moeda doméstica prevalece.

Muitos outros autores, anteriores a Engineer (2000), discutiram sobre a concorrência entre duas ou mais unidades monetárias diferentes. Em particular, economistas da corrente teórica austríaca possuem muitas publicações sobre o tema, devido em grande parte ao embate ideológico gerado em relação a moeda nacional ser um monopólio do Estado, em detrimento de outras possíveis soluções de livre mercado.

Hayek (1990), no clássico livro *Denationalisation of Money* publicado pela primeira vez em 1976, apresentou a proposta de um sistema econômico onde instituições privadas poderiam emitir suas próprias moedas em um ambiente de livre concorrência. A proposta do autor indicava que apenas as moedas mais estáveis e seguras continuariam sendo utilizadas pelos indivíduos, pois as moedas que não conseguissem funcionar adequadamente para transações iriam se tornar gradativamente irrelevantes. Hayek (1990) acabou gerando intensas discussões, tanto positivas, dos que viram em seus estudos uma nova forma de pensar soluções econômicas, quanto negativas, para os que viram possíveis problemas que tal sistema poderia acarretar para a economia. De qualquer forma, as propostas de Hayek (1990) serviram de base teórica para muitos outros estudos sobre a competição monetária.

Vaubel (1977), por exemplo, analisou em detalhes as ideias de Hayek e chegou à conclusões importantes. O autor afirma que a existência de uma competição monetária irá levar inevitavelmente a uma união monetária, pelo fato da moeda mais útil ser consequentemente a mais utilizada.

Currency competition is likely to lead to currency union because the users of money prefer the most useful money and because a currency is more useful the more it is used. The use of money is subject to important economies of scale, which are

both social and individual, and both spatial and temporal (VAUBEL, 1977, p. 456).

Em outros artigos, como em Vaubel (1990), o autor discute mais profundamente o elo entre competição monetária e união monetária, principalmente em relação a União Européia que no período da elaboração do artigo ainda se discutia sobre o estabelecimento do Euro como moeda única.

Outros autores, de outras correntes econômicas, como Tullock (1975), Miles (1978) e Dowd e Greenaway (1993) também exploraram outras vertentes da competição monetária. Tullock (1975), utilizando literatura preliminar de Peter Bernholz, ampliou o debate em relação à concorrência monetária, explorando novamente aspectos relacionados aos custos de transação, “Since the problem of alternative currencies is one of transactions costs, the government would be well advised to make transactions costs in competing currencies high.” (TULLOCK, 1975, p. 496).

Miles (1978) analisou o processo de substituição monetária com dados referentes a economia canadense, constatando que o Canadá possuiu momentos de alta substituição entre moedas em períodos onde o dólar canadense funcionou com câmbio flutuante. O autor também destaca o fato de taxas de câmbio flutuantes não necessariamente implicarem em independência monetária, “The proper model for analyzing monetary policy may therefore be one of monetary dependence, not monetary independence, even when perfectly flexible exchange rates are assumed.” (MILES, 1978, p. 436).

Dowd e Greenaway (1993) tentaram achar fundamentos para o comportamento existente em economias onde uma moeda doméstica e outra estrangeira são negociadas juntas. No caso de a moeda nacional possuir uma maior inflação que a estrangeira, as pessoas não necessariamente irão substituir uma pela outra, devido a existência de externalidades de rede. Os autores apontam que as análises tradicionais de bem-estar em relação à inflação estão até certo ponto incorretas, pois elas ignoram as externalidades de rede envolvidas no processo de escolha dos indivíduos. “It follows, then, that traditional welfare analyses of inflation might be misplaced because they typically use a representative agent approach that ignores the network externalities involved in the use of a particular currency.” (DOWD; GREENAWAY, 1993, p. 1188). Os autores foram ainda um pouco mais além, relacionando a escolha monetária com a escolha da linguagem em um país. Como a escolha de uma moeda depende também da escolha das

outras pessoas em aceitarem aquela moeda, existem externalidades de rede que mantêm a moeda doméstica sendo aceita mesmo que ela esteja perdendo seu valor, pelo fato de a sua aceitação ser mais disseminada. Da mesma forma, a linguagem utilizada dentro de um país também possui externalidades que fazem com que exista um custo ao utilizar outra linguagem, uma vez que a maioria das pessoas dentro daquele território fala uma língua em comum. Desse modo, utilizar outra linguagem e se fazer entender será mais difícil, representando conseqüentemente um custo maior para o indivíduo. Por este motivo, segundo os autores, linguagens como o inglês ou mandarim, serviriam melhor como uma linguagem mundial do que, por exemplo, o esperanto:

In addition, we observe much the same problems over which language to adopt, if we decide to adopt a common language, and the same argument that implies the Mark dominates the ecu also suggests that English or Mandarin Chinese would make a better world language than, say, Esperanto (DOWD; GREENAWAY, 1993, p. 1189).

Assim, a discussão sobre a competição monetária se desenvolve em vários aspectos diferentes e entre diversos autores com visões distintas. Diferentes óticas são utilizadas para analisar o comportamento de moedas concorrendo dentro de uma economia e inúmeros são os exemplos históricos a serem analisados a respeito deste tema. Contudo, além da teoria envolvida, outro fator que também merece destaque é o lado operacional em que as transações ocorrem. As transações realizadas pelos indivíduos não se resumem somente à negociação física entre moedas e notas como a teoria normalmente simplifica. A maior parte do volume de transações são realizadas hoje em dia através de sistemas eletrônicos que realizam a compensação e liquidação de transferências. Câmaras de compensação são responsáveis por controlar a execução de transações, normalmente em conjunto com o banco central do país. Desse modo, os sistemas de pagamentos envolvem diversas instituições, que em conjunto, utilizam de normas, programas de computador e outros instrumentos, possibilitando a transferência de recursos entre agentes econômicos.

2.4 SISTEMAS DE PAGAMENTOS

A principal finalidade de um sistema de pagamentos é possibilitar a transferência de recursos entre bancos, permitindo a liquidação de pagamentos tanto para as pessoas em geral, quanto para empresas, governos, bancos centrais e outras instituições financeiras. Os avanços tecnológicos das últimas décadas transformaram os sistemas de pagamentos (anteriormente em grande parte manuais) em sistemas totalmente automatizados, utilizando de computadores e redes eletrônicas para o envio de informações referente à liquidação e compensação de recursos, títulos e demais ativos financeiros.

Todas as transações eletrônicas executadas no Brasil, a exemplo dos cartões de crédito, cartões de débito, pagamentos de boletos, transferências via DOC ou TED, compra ou venda de ações e outros ativos financeiros, são compensadas em alguma das câmaras de compensação que pertencem ao Sistema de Pagamentos Brasileiro (SPB). A maioria dos países possui um sistema de pagamento próprio similar ao SPB, que é responsável pelas transações dentro daquele território.

O SPB é desse modo um conjunto de instituições e entidades responsáveis pelo processamento e execução de operações financeiras, compreendendo todas as transações eletrônicas dentro do Brasil, englobando, por exemplo, transações com moedas estrangeiras ou a liquidação de ativos financeiros como ações e títulos. As diversas entidades que constituem o SPB são denominadas de entidades operadoras de Infraestruturas do Mercado Financeiro (IMF), como por exemplo: Banco do Brasil, CIP (Câmara Interbancária de Pagamentos) e a BM&FBovespa.

O SPB utiliza da Rede do Sistema Financeiro Nacional (RSFN) responsável pela transmissão de forma eletrônica de todas as transações realizadas pelas diversas entidades que compreendem o sistema de pagamentos brasileiro. O Banco Central do Brasil (BCB) é o responsável por acompanhar o funcionamento da RSFN através de grupos técnicos coordenados pelo próprio Banco Central. A RSFN possui duas redes de comunicação que funcionam de forma independente, as quais utilizam de mecanismos padronizados de segurança envolvendo criptografia e certificados digitais para o seu funcionamento. Desse modo, todas as transações realizadas por intermédio de bancos que utilizem de sistemas eletrônicos, passam consequentemente pelo SPB e são desse modo regulamentadas pelo BCB.

Em outros países o funcionamento dos sistemas de pagamentos são similares ao caso brasileiro. No caso dos Estados Unidos, as principais câmaras de compensação que realizam a liquidação de transações são a *Clearing House Interbank Payments System* (CHIPS) e a *Federal Reserve Wire Network* (Fedwire), sendo a primeira uma entidade privada administrada por instituições financeiras, enquanto a segunda é administrada pelo próprio Federal Reserve. CHIPS é a câmara de compensação que executa o maior volume de transações nos Estados Unidos, tendo liquidado somas em torno de um trilhão de dólares por dia em 2010. A maioria das transações realizadas pelos bancos americanos acontecem via CHIPS, devido ao menor custo por transação e recursos mínimos necessários, porém as transações são compensadas ao fim do período, ou seja, não acontecem em tempo real. O Fedwire, por outro lado, executa as transações sem qualquer período de espera, realizando uma liquidação bruta em tempo real, algo similar ao Sistema de Transferência de Reservas (STR) utilizado pelo Banco Central do Brasil.

A CHIPS funciona através de compensação (*net system*), onde os valores que são transferidos entre os bancos ao fim do período somente compreendem a diferença devida entre eles. Por exemplo, se o Banco A transfere \$100 para o Banco B o qual precisa transferir \$120 de volta para o Banco A, de forma a evitar que grandes quantias tenham que ser transferidas sem necessidade e a fim de evitar um aumento do risco sistêmico, o sistema de compensação simplesmente faz com que o Banco B transfira para o Banco A \$20 ao fim do período. Porém, ao mesmo tempo em que um sistema de compensação diminui os riscos de solvência, por outro lado se o valor devido entre os bancos for muito alto, só será percebido que não será possível cumprir com as obrigações de transferência no fim do período, fazendo desse modo com que banco central somente descubra que determinado banco não teria fundos suficientes para arcar com determinada operação quando já fosse tarde demais. Assim, a utilização da liquidação bruta em tempo real se faz necessária quando a valor das transferências forem muito altas, onde os valores transferidos entre os bancos são feitos de forma imediata através das contas que estes possuem junto ao banco central. Normalmente os bancos nos Estados Unidos abrem o dia com sua posição em zero, realizam a maioria das transações utilizando CHIPS e ao fim do período regularizam a sua posição com uma ordem via Fedwire antes do fechamento.

Rochet e Tirole (1996) elaboraram uma análise detalhada sobre os riscos envolvendo os sistemas de pagamentos, explorando os

principais problemas encontrados pelos bancos centrais em relação à melhor estratégia sobre controle de riscos. Os autores analisaram sistemas de compensação, a exemplo do CHIPS; sistemas de liquidação bruta realizado por uma contraparte, como o Fedwire; e sistemas de liquidação bruta sem uma contraparte, a exemplo do *Swiss Interbank Clearing* (SIC), explorando os possíveis riscos advindos da utilização de cada um dos sistemas. A conclusão dos autores indica que todos os sistemas de pagamentos analisados possuem vantagens e desvantagens, importando somente quem é o agente responsável por arcar com os custos em caso de falhas, quem executa o monitoramento e quem tem os poderes de intervir de forma a regularizar o sistema:

The design of payment systems should reflect several preoccupations, such as the efficacy of prudential control, the protection of the central bank against the necessity to intervene to avoid systemic risk, the smooth running of the payment system, reasonable collateral requirements, and an efficient use of fine information on the health of the banks. Whether specific systems (net, gross, or mixed systems) are likely to achieve these objectives in turn hinges on who pays in case of failure, who monitors, and who can intervene (ROCHET; TIROLE, 1996, p. 859).

A conclusão relevante exposta pelos autores é de que não importa qual sistema será de fato utilizado para reduzir os riscos, mas sim como esses sistemas estão devidamente coordenados e organizados entre si, “[...] the coexistence of two or more payment systems can have certain advantages, but it calls for a close coordination between those systems. On the other hand, a single system can provide the same functions as several systems, provided it offers a menu of options to its users.” (ROCHET; TIROLE, 1996, p. 859).

Além das câmaras de compensação, que possuem papel essencial no funcionamento dos sistemas de pagamentos, outro componente importante são as redes de comunicação que estes sistemas utilizam. A *Society for Worldwide Interbank Financial Telecommunication* (SWIFT) fornece uma das redes de comunicação mais utilizadas para a transferência de informações financeiras entre bancos no mundo. A rede SWIFT funciona como uma “ponte” que envia mensagens entre um Banco A para um Banco B, com uma cópia para uma instituição C, conectando mais de 10.800 instituições financeiras

em mais de 200 países⁶. Contudo, a rede SWIFT não realiza nenhum tipo de liquidação ou compensação, nem mesmo detém contas de bancos membros, a rede somente é responsável pelo envio de ordens entre bancos.

Nem todas as câmaras de compensação são compatíveis com o sistema SWIFT, nos Estados Unidos, por exemplo, a CHIPS é compatível, por outro lado, o Fedwire não é. O sistema SWIFT utiliza a linguagem XML para a transferência de informações entre as partes, uma linguagem organizada para que seja possível ser lida tanto por um sistema de computador quanto por uma pessoa. As mensagens são enviadas entre os bancos através de servidores centralizados, localizados em três países diferentes: Estados Unidos, Holanda e Suíça. Intensas pressões ocorreram contra o SWIFT pela União Europeia, depois que a imprensa internacional revelou sobre o *Terrorist Finance Tracking Program*, um programa de vigilância norte americano criado para se ter acesso ao banco de dados das transações via SWIFT. Após a constatação de que a empresa controladora do SWIFT, em acordo com a Agência de Inteligência Americana (CIA), estava violando as leis de privacidade europeia, houve a criação do servidor localizado na Suíça, para onde todas as transações vindas de bancos europeus agora são direcionadas, não mais passando pelos servidores de controle norte americano. Muitas são as pressões políticas que envolvem os sistemas de pagamentos, o SWIFT, por exemplo, bloqueou o acesso de bancos iranianos ao seu sistema alegando preocupação sobre um possível financiamento de armas nucleares.

O avanço tecnológico tem transformado cada vez mais rapidamente os sistemas de pagamentos. Como colocado por Jacob, Mantel e Wells (2013) o aumento da utilização de dispositivos móveis e computadores tem contribuído para o crescimento da indústria dos sistemas de pagamentos, principalmente por ter possibilitado a inserção de uma população que até então tinha acessos restritos ao sistema bancário e financeiro.

A presença de sistemas de compensação eletrônicos como o *Automated Clearing House* (ACH) nos Estados Unidos, tem ampliado as limitações dos sistemas de pagamentos tradicionais, por aumentar a rapidez em que as transações são realizadas, causando um consequente impacto econômico. Do mesmo modo, sistemas de pagamentos ineficientes podem ter consequências negativas para a economia, como

⁶ Informações fornecidas pelo site oficial do SWIFT <<http://www.swift.com/>>. Acesso em: 20 maio 2015.

colocado por Sheppard (1996, p. 10): “[...] inefficiencies in the payment system are not just inconvenience to the users, but can have adverse impact on how the economy works. If money is “tied-up” in the payment system, then it is not available for other, productive, purposes.”

Inovações nos sistemas de pagamentos têm criado organizações financeiras com formatos diferentes do tradicional sistema bancário. A ampliação do comércio eletrônico através da internet levou à criação de sistemas especialmente focados para suprir a demanda deste setor, o que deu origem a empresas como o *Paypal* no fim da década de 1990. A atuação no ramo de sistemas de pagamentos está se tornando atrativa para muitas empresas de tecnologia; o *Google Wallet* em 2011, *ApplePay* em 2014 e o *Facebook Messenger payments* em 2015, são exemplos da tentativa de empresas de ramos tecnológicos distintos em desenvolverem e ofertarem serviços relacionados a este segmento.

Assim, os sistemas de pagamentos estão gradativamente se modificando, se tornando mais rápidos ao evoluírem juntos com os avanços tecnológicos e sendo desenvolvidos por empresas de ramos distintos. As previsões feitas por Hoenig (1995) de que determinadas transações começariam a ser realizadas através de entidades não-financeiras é algo atualmente consolidado. De fato, os sistemas de pagamentos via internet complementam os sistemas de pagamentos tradicionais, oferecendo uma maior agilidade na execução de transações. As suposições feitas pelo Deutsche Bank Research (2004) de que novas soluções deveriam emergir para suprir a demanda pelo comércio eletrônico também se mostram verdadeiras. Desse modo, a tendência de aprimoramento tecnológico das últimas décadas indicaram que os sistemas de pagamentos se tornariam cada vez mais globais, rápidos e seguros, porém, o fruto da sua inovação não teria necessariamente origem em empresas do ramo bancário e financeiro, mas sim em outras áreas da economia ligadas à ciência e tecnologia. O protocolo Bitcoin, que será discutido na próxima seção, é uma inovação financeira que não surgiu através da pesquisa e desenvolvimento de uma empresa, banco ou instituição financeira em particular, mas sim de um formato *open source* de desenvolvimento de softwares. O protocolo Bitcoin apresenta algumas características específicas em seu sistema de pagamento, a principal delas é o fato do sistema transacionar unidades monetárias próprias, diferentemente dos sistemas de pagamentos tradicionais que transacionam moedas nacionais. Desse modo, o sistema de pagamento fornecido pelo protocolo Bitcoin consolida o conceito de “moeda virtual” e abre um novo paradigma em relação ao futuro da competição monetária, devido principalmente ao seu surgimento ter dependido do

avanço tecnológico, desenvolvimento computacional e escalabilidade dos meios de comunicação pelo mundo.

3 O PROTOCOLO BITCOIN

3.1 ORIGEM, ASPECTOS TÉCNICOS E COMPORTAMENTO

O conceito de moeda virtual por muito tempo somente esteve presente em literatura de ficção científica, como em livros de William Gibson que retratavam futuros abstratos em cenários rodeados por alta tecnologia. Com o estabelecimento da internet em nível mundial a partir da década de 1990, discussões a respeito do futuro tecnológico começaram a se tornar menos ficcionais e a gradativamente fazerem parte da realidade. Um dos primeiros ambientes virtuais destinado a discutir sobre criptografia, matemática, computação, além de política e filosofia, foi a lista de e-mails intitulada de *Cypherpunks* criada em 1992. A lista foi frequentada por diversas pessoas que simpatizavam com o tema, e é tido como a origem das primeiras ideias por trás das moedas virtuais e posteriormente da Bitcoin.

O maior problema por trás da criação de uma moeda verdadeiramente virtual é que como qualquer arquivo pode ser facilmente copiado em meio eletrônico, qualquer pessoa poderia simplesmente reproduzir *ad libitum* uma moeda, destruindo todas as funções que uma moeda de fato possui. Logo, o único modo encontrado para permitir que unidades monetárias fossem transacionadas em meio eletrônico foi com a utilização de bancos de dados centralizados, como os utilizados por bancos e instituições financeiras atualmente. Porém, as tentativas em criar uma moeda que pudesse ser transacionada via internet sem a necessidade de intermediários, por muito tempo ficou restrita a discussões teóricas, dada a dificuldade de tal projeto.

A primeira tentativa de se criar um sistema de uma moeda virtual foi proposta por Wei Dai em seu artigo intitulado de *b-money*:

A community is defined by the cooperation of its participants, and efficient cooperation requires a medium of exchange (money) and a way to enforce contracts. Traditionally these services have been provided by the government or government sponsored institutions and only to legal entities. In this article I describe a protocol by which these services can be provided to and by untraceable entities (DAI, 1998).

O autor utilizou do conceito denominado de *proof-of-work* (prova de trabalho ou prova de força) como uma possível solução para a criação de moedas, de forma a evitar a possibilidade de réplica ou cópia das moedas virtuais em meio eletrônico. O *proof-of-work* é um algoritmo que requer uma quantidade de trabalho para ser calculado, mas a prova pode ser verificada de forma eficiente. A criação do algoritmo do *proof-of-work* mais utilizado foi feita por Back (1997) através do sistema chamado de *hashcash*, que tinha como primeira finalidade evitar *spams* em e-mails, mas que posteriormente foi utilizada para outros serviços, inclusive no protocolo Bitcoin.

Apesar da teoria elaborada por Dai (1998) possuir uma lógica funcional, a sua implementação era pouco praticável, logo o sistema não foi de fato desenvolvido, mas serviu de base para outros sistemas que viriam nos anos posteriores. Szabo (2005) desenvolveu um sistema chamado de *Bit gold*, que possui inspirações no anterior *b-money* de Wei Dai, além de possuir claras semelhanças com o atual sistema do protocolo Bitcoin. “it would be very nice if there were a protocol whereby unforgeably costly bits could be created online with minimal dependence on trusted third parties, and then securely stored, transferred, and assayed with similar minimal trust. Bit gold.” (SZABO, 2005). O *Bit gold*, assim como o *b-money*, não foi desenvolvido e aplicado à linguagem de programação, tendo existido somente em nível teórico. Porém, muitas são as similaridades entre o *Bit gold* e a Bitcoin, indicando possivelmente que a criação da última tenha sido feita pelo mesmo autor, ou que no mínimo o *Bit gold* tenha sido uma fonte de inspiração direta para a Bitcoin.

Somente em 2008, através do pseudônimo de Satoshi Nakamoto, que foi publicado o *paper* oficial da Bitcoin, sendo introduzido como um programa de código aberto a partir de janeiro de 2009. O criador do sistema do protocolo Bitcoin não é conhecido; algumas pessoas apontam Nicholas Szabo⁷, autor do *Bit gold*, como o seu possível criador, que não quis se identificar a fim de evitar possíveis perseguições; outras pessoas dizem que na verdade foi uma organização governamental secreta que criou o sistema⁸; e outros ainda dizem que

⁷ LIKEINAMIRROR. Satoshi Nakamoto is (probably) Nick Szabo. 2013. Disponível em: <<https://likeinamirror.wordpress.com/2013/12/01/satoshi-nakamoto-is-probably-nick-szabo/>>. Acesso em: 04 ago. 2015.

⁸ LIU, Alec. Is Bitcoin a Government Conspiracy? 2013. Disponível em: <<http://motherboard.vice.com/blog/is-bitcoin-a-government-conspiracy>>. Acesso em: 04 ago. 2015.

foram libertários revolucionários⁹, mas a verdade é que ninguém sabe ao certo e talvez nunca saberão. Porém, o sistema da Bitcoin a partir de 2009 teve seu desenvolvimento de forma *open source*, ou seja, com várias pessoas contribuindo para encontrar falhas e realizar aprimoramentos no código. Desse modo, o desenvolvimento do programa e protocolo Bitcoin foi feito de forma conjunta entre diversas pessoas; na sua maioria programadores e desenvolvedores que se sentiram atraídos pela ideia do projeto.

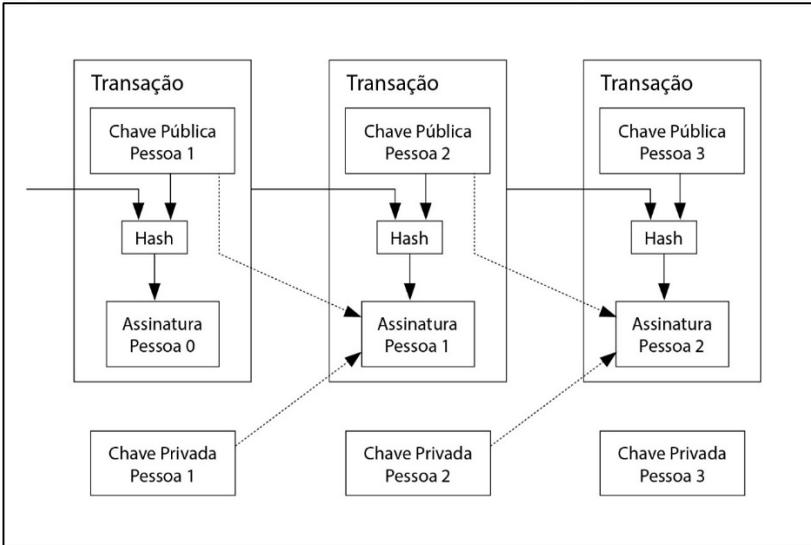
“A purely peer-to-peer version of electronic cash would allow online payments to be sent directly from one party to another without going through a financial institution.” (NAKAMOTO, 2008, p. 1). A ideia por trás do protocolo Bitcoin é possibilitar o envio de unidades monetárias através da internet sem a necessidade de um intermediador, utilizando de criptografia, redes *peer-to-peer* (P2P) e de uma *public ledger* (um banco de dados das transações realizadas em bitcoin, também chamado de *block chain*). Por mais que sistemas de pagamentos eletrônicos funcionem bem, todos eles dependem de uma infraestrutura centralizada, ofertada por empresas ou instituições financeiras que podem a qualquer momento interromper o sistema. Do mesmo modo, sistemas de pagamentos centralizados possuem custos altos para serem ofertados, o que conseqüentemente leva a custos de transações também altos. Assim, a finalidade do protocolo Bitcoin é possibilitar, através de uma arquitetura descentralizada, a realização de transações financeiras de forma segura e sem intermediários, algo até então inexistente no universo da internet.

As transações realizadas em bitcoin são definidas propriamente como uma corrente de assinaturas digitais, como ilustrado pela Figura 3. Ao transacionar uma bitcoin para outra pessoa, o dono da moeda assina digitalmente o *hash* de dados da transação anterior com a chave pública do próximo dono, adicionando esses dados ao fim da assinatura digital da moeda. A pessoa a receber o pagamento pode conferir as assinaturas anteriores da corrente de forma a verificar se aquela bitcoin já foi gasta em outro momento anterior. Nos sistemas de pagamentos tradicionais, normalmente utiliza-se de uma contraparte para verificar se uma transação é válida ou não, como um banco ou instituição financeira por exemplo, a qual verificará se aquela pessoa possui fundos suficientes em sua conta para executar a transação. No sistema do protocolo Bitcoin, a

⁹ SPARKES, Matthew. We Still Don't Know Who Created Bitcoin. 2014. Disponível em: <<http://www.businessinsider.com/we-still-dont-know-who-created-bitcoin-2014-3>>. Acesso em: 04 ago. 2015.

maneira encontrada para verificar as transações e evitar possíveis gastos duplos de moedas foi tornando todas as transações públicas, em um sistema onde todos os participantes concordem com apenas uma corrente de transações, como colocado por Nakamoto (2008, p. 2): “The payee needs proof that at the time of each transaction, the majority of nodes agreed it was the first received.”

Figura 3: Mecanismo de funcionamento das transações em bitcoin.



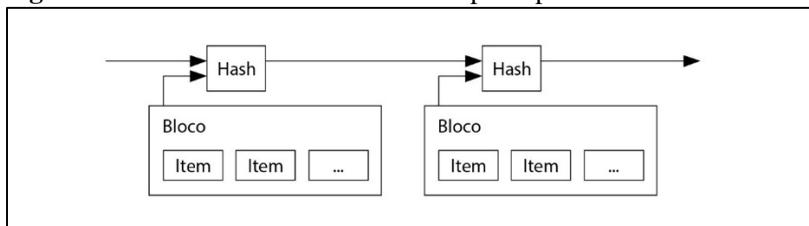
Fonte: Adaptado a partir de Nakamoto (2008, p. 2).

As transações em bitcoin utilizam de criptografia assimétrica para definir a posse das moedas, através do uso de um par de chaves: uma chave pública e outra chave privada. A chave pública pode ser livremente divulgada, funcionando como um endereço eletrônico que é utilizado para receber os pagamentos em bitcoin, algo similar ao número de uma conta de banco que é informado na necessidade de receber determinado pagamento. A chave privada não deve ser revelada, pois ela que dá direito às bitcoins recebidas pelas chaves públicas; e somente o detentor da chave privada poderá enviar as bitcoins sob seu controle para outra pessoa, ao realizar a assinatura digital com sua chave privada no *hash* da transação.

O sistema encontrado por Nakamoto (2008) para determinar a ordem das transações e consequentemente a posse de bitcoins, foi utilizando um sistema de marca temporal (*timestamp*) de forma a

registrar cada um dos acontecimentos e distribuí-los para todos os participantes da rede. Desse modo, todas as transações realizadas em determinado período são acumuladas dentro de blocos que são incluídos na corrente de *hash* principal, como ilustrado pela Figura 4.

Figura 4: Inclusão de blocos na corrente principal.



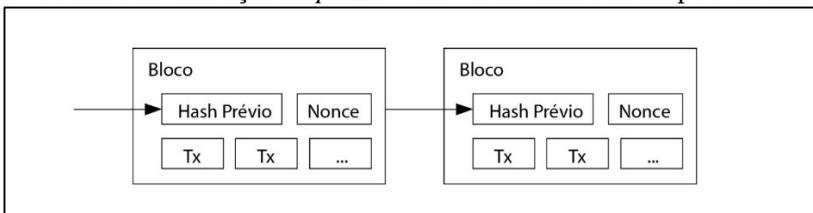
Fonte: Adaptado a partir de Nakamoto (2008, p. 2).

A corrente de blocos (do inglês *block chain*) funciona desse modo como um banco de dados descentralizados, onde todas as transações já realizadas em bitcoin estão devidamente registradas e ordenadas. Em termos técnicos a *block chain* é um arquivo de computador que está sempre crescendo, ao incorporar as transações no decorrer do tempo¹⁰. Para possibilitar que um banco de dados seja distribuído em uma arquitetura P2P, ou seja, seja distribuído sem um servidor central, é necessária a utilização de um sistema de segurança, de forma que a corrente de blocos seja única e que todos os usuários concordem em sua ordem. Assim, como todos os participantes têm controle sobre a *block chain*, a segurança necessária pode ser alcançada através de um sistema de *proof-of-work*, de forma a determinar a representação da maioria. O *proof-of-work* força que, para um bloco contendo transações ser incluído na *block chain*, seja necessário o dispêndio de determinada quantidade de energia computacional, como colocado por Nakamoto (2008, p. 3) “The majority decision is represented by the longest chain, which has the greatest proof-of-work effort invested in it.” Desse modo, o *proof-of-work* funciona como uma proteção às transações e ao histórico de posse das moedas, impondo que seja necessário gastar energia e poder de processamento para ser possível registrar de forma definitiva transações em bitcoin na corrente de transações.

¹⁰ Atualmente a *block chain* possui um tamanho aproximado de 35GB.

Em termos técnicos, o *proof-of-work* é a realização de um *puzzle* (quebra-cabeças) matemático onde se tenta encontrar um determinado valor que quando criptografado utilizando, por exemplo, um *hash* SHA-256, o início do *hash* contém um exato número de zeros. A dificuldade do *puzzle* é exponencial de acordo com o número de zeros necessários. No sistema da bitcoin, um *nonce* é incorporado ao último bloco da corrente de transações para que o próximo bloco tenha um *hash* que satisfaça determinada condição. Em resumo, o *proof-of-work* força um processamento computacional através da realização de um *puzzle* e o *nonce* controla a sua dificuldade de solução, como ilustrado pela Figura 5.

Figura 5: Ordem de criação dos blocos contendo transações dada a dificuldade de resolução do *puzzle* matemático estabelecido pelo *nonce*.



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

A resolução do *puzzle* se dá de forma aleatória, onde computadores competem entre si, como uma espécie de “loteria”, gerando *hashes* continuamente até que consigam encontrar a solução do *nonce* e fechar o bloco, um método também conhecido como “força bruta”. Quanto maior a força computacional, maior a quantidade de *hashes* gerados, conseqüentemente maior a chance de encontrar a solução para o bloco. Os computadores alocados para realizar este processamento do *proof-of-work* são também chamados de *bitcoin miners*, ou mineradores de bitcoin, os quais funcionam espalhados pelo mundo através de conexões P2P. Teoricamente qualquer computador pessoal pode ser um minerador de bitcoin, porém quanto maior o poder de processamento, maior é a probabilidade de encontrar a solução para o bloco.

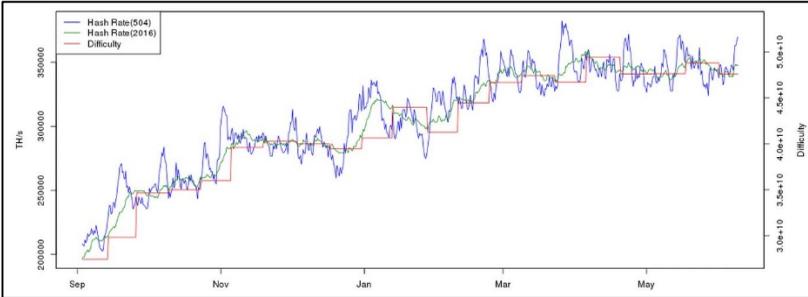
Depois que a solução de um bloco é encontrada, o bloco é fechado e não pode mais ser modificado a menos que o esforço computacional seja refeito. Como um bloco é incorporado um após o outro em uma corrente, à medida que mais blocos vão sendo fechados, a energia necessária para modificar um bloco anterior inclui também

achar a solução para todos os blocos posteriores a ele, fazendo com que a modificação de uma transação que aconteceu no passado seja matematicamente improvável. Como a criação de blocos e crescimento da corrente acontecem de forma descentralizada e simultânea com vários participantes ao redor do mundo, podem acontecer casos de bifurcação nessa corrente, também chamados de *forks*, onde duas correntes de transações irão existir paralelamente. Porém, os usuários em sua maioria automaticamente reconhecem a corrente que possui o maior *proof-of-work* como a mais segura e verdadeira, fazendo com que a outra corrente seja irrelevante e tornando seus blocos “orfãos”.

A alocação de energia e poder de processamento para a resolução dos *puzzles* matemáticos pelos computadores possui um forte incentivo econômico. O computador que achar a solução para o bloco de transações é recompensado com bitcoins, sendo este o único método de emissão monetária e criação de bitcoins. Desse modo, existe uma intensa competição em tentar achar a solução para o bloco, de forma a ser recompensado com as moedas. Logo, o protocolo Bitcoin emite bitcoins para os usuários que estão protegendo as transações do próprio sistema.

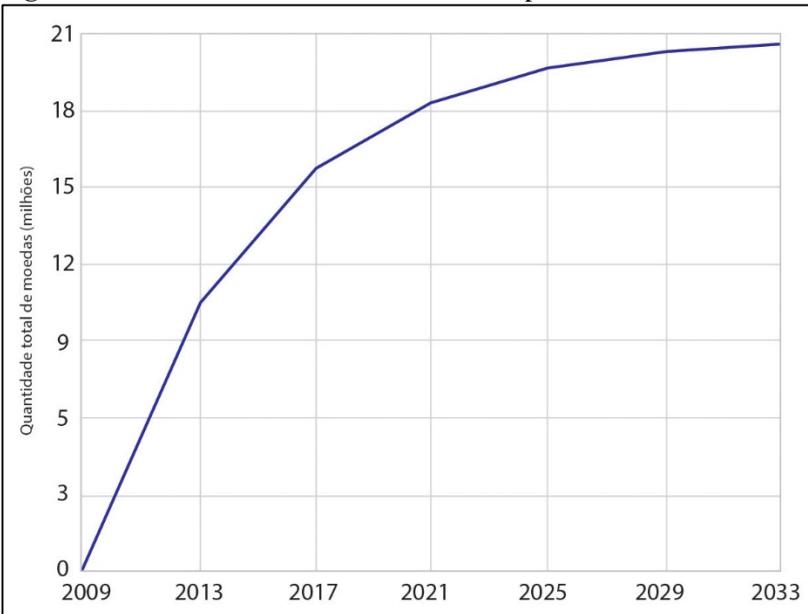
A cada 2016 blocos, ou aproximadamente 14 dias, o algoritmo que controla a dificuldade do *nonce* para a resolução dos *puzzles* é ajustado automaticamente pelo programa, de forma a manter o tempo médio entre os blocos em aproximadamente dez minutos, como observado pela Figura 6. Dado que as bitcoins emitidas dependem da resolução dos blocos, a emissão de moeda pelo protocolo Bitcoin segue um padrão predefinido no decorrer do tempo. O criador do sistema, definiu no código do protocolo que a emissão de bitcoins por bloco diminui automaticamente a cada quatro anos. Entre 2009-2013, 50 bitcoins eram emitidas por bloco solucionado; já entre 2013-2017, por exemplo, a emissão foi reduzida para 25 bitcoins por bloco; e assim será até o ano de 2140, quando a expansão da oferta monetária chegar ao limite de 21 milhões de bitcoins emitidas, como ilustrado pela Figura 7.

Figura 6: Ajuste da dificuldade de resolução dos *puzzles* dada a taxa de geração de *hashes* para o período de setembro 2014 - junho 2015.



Fonte: Disponível em: <<https://bitcoinwisdom.com/bitcoin/difficulty>> . Acesso em 08 jun. 2015.

Figura 7: Total de bitcoins no decorrer do tempo.



Fonte: Elaborado pelo autor com base em dados disponível em: <<https://blockchain.info/>>.

Os agentes que realizam transações em bitcoin não são necessariamente os mesmo que estão alocando força computacional para a realização dos *puzzles*. Qualquer pessoa que realiza uma transação em

bitcoin (Figura 3) transmite essa informação via internet para os outros membros da rede; esta transação é então anexada ao bloco vigente que está esperando sua solução ser encontrada pelos diversos computadores espalhados ao redor do mundo. Os mineradores de bitcoin ao encontrarem a solução para o bloco, incluem as transações pendentes realizadas nos últimos minutos à corrente de transações principal (*block chain*), protegendo as suas marcas temporais e conseqüentemente a posse das moedas de possíveis modificações.

Além do incentivo econômico em receber bitcoins por encontrar a solução do bloco, os mineradores também recebem as pequenas taxas incluídas em cada uma das transações. As taxas pagas pelos usuários por uma transação em bitcoin são facultativas e servem para aumentar a velocidade de inclusão da transação na corrente. Caso existam muitas transações esperando para serem incluídas no bloco, um minerador pode se recusar a incluir transações que não tenham uma alta prioridade, ou seja, transações que não tenham taxas incluídas. Atualmente a taxa de uma transação bitcoin equivale a poucos centavos de dólar, não importando o valor a ser transacionado. A existência de pequenas taxas por transação é um incentivo econômico adicional aos mineradores, de forma a manter o sistema de pagamentos funcionando mesmo quando a quantidade de bitcoins emitidas por bloco for reduzida ou até mesmo não existir mais.

As chaves privadas que determinam a posse de bitcoins estão contidas em arquivos de dados que são utilizados por programas¹¹ chamados de *wallet*, que funcionam como verdadeiras carteiras virtuais instaladas em computadores, dispositivos móveis ou até mesmo em servidores na nuvem (*cloud computing*). O arquivo de dados é o que dá direito à pessoa transacionar suas bitcoins através do mecanismo de chave pública e chave privada (Figura 3). Porém, somente a informação contida nas chaves privadas não necessariamente possuem valor, pois a bitcoin depende da existência da *block chain* para verificar a posse das moedas no decorrer do tempo. Logo, a bitcoin é inseparável da corrente de transações que rege o seu sistema.

¹¹ O software oficial do protocolo Bitcoin, 'Bitcoin Core', também funciona como uma *wallet*. Porém, pelo fato de o sistema da Bitcoin ser *open source*, outras wallets podem e foram criadas para interagir com o protocolo Bitcoin. Por este motivo existem *wallets* em praticamente todos os dispositivos móveis e sistemas operacionais, uma vez que qualquer empresa ou pessoa pode desenvolver seu próprio programa compatível com o protocolo.

As transações em bitcoin acontecem de forma pública, onde qualquer pessoa pode ver todas as transações que já aconteceram em bitcoin ao analisar a corrente de transações. Porém, a privacidade é alcançada pelo fato das transações não serem vinculadas a nenhuma informação de identidade dos usuários que realizam a transação. Algo similar ao sistema das bolsas de valores, onde a quantidade e hora da transação são divulgadas publicamente, porém a identidade dos negociadores não é revelada. Como colocado por 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 maior ataque que poderia ser feito contra o protocolo Bitcoin seria a criação de uma corrente de transações alternativa que crescesse mais rapidamente que a corrente de transações principal, fazendo com que um usuário malicioso pudesse modificar determinadas transações realizadas por ele previamente, pegando de volta bitcoins que ele mesmo tenha gastado em um período recente. Como colocado por Nakamoto (2008), mesmo que uma corrente alternativa conseguisse se sobressair à corrente principal, o usuário malicioso que a criou não poderia simplesmente emitir bitcoins ou tomar posse de moedas que nunca foram de sua propriedade, pois os outros usuários honestos utilizando o protocolo nunca aceitariam um bloco contendo transações inválidas. Nakamoto (2008) descreve detalhadamente o mecanismo de tal ataque, mostrando que a probabilidade de uma corrente alternativa maliciosa ganhar da corrente de transações principal honesta decai exponencialmente no decorrer do tempo. A corrida entre as duas correntes pode ser definida como um *caminho aleatório binomial*, com o sucesso simbolizado pela corrente principal sendo estendida em um bloco +1 e o fracasso simbolizado pela corrente alternativa maliciosa sendo estendida em um bloco -1. Logo, a probabilidade que um ataque consiga alcançar a corrente principal a partir de um determinado ponto é análoga a “ruína do jogador” (*Gambler's ruin*) e pode ser definida como:

p = probabilidade da corrente principal avançar um bloco,

q = probabilidade da corrente maliciosa avançar um bloco,

q_z = probabilidade da corrente maliciosa alcançar a corrente principal a partir de z blocos anteriores,

$$q_z = \begin{cases} 1 & \text{se } p \leq q \\ (q/p)^z & \text{se } p > q \end{cases}$$

Dada a hipótese de que $p > q$, a probabilidade da corrente maliciosa ultrapassar a corrente principal cai exponencialmente a medida que o número de blocos na corrente principal cresce. Um exemplo real que descreve tal processo pode ser interpretado, por exemplo, com um usuário malicioso transferindo bitcoins para uma vítima e tentando modificar os blocos de transações seguintes de forma a reverter a sua transação e pegar de volta as bitcoins enviadas; onde, por mais que a vítima venha a descobrir o que aconteceu, será tarde demais. Ao receber uma transação a vítima espera que esta seja incluída em um bloco e em todos os próximos z blocos posteriores, porém o usuário malicioso que realizou a transação poderia estar trabalhando na solução dos blocos em segredo na sua própria corrente de transações alternativa, modificando a transação passada e tentando fazer com que a sua corrente se tornasse a maior e conseqüentemente a mais reconhecida entre os demais usuários. Porém, o progresso do usuário malicioso segue uma distribuição *Poisson* com valor esperado dado por:

$$\lambda = z \frac{q}{p}.$$

Para obter a probabilidade do usuário malicioso recuperar o atraso caso não ache a solução para um bloco durante o ataque, multiplica-se a densidade de *Poisson* para cada quantidade de progresso que ele poderia ter feito pela probabilidade que ele teria de ultrapassar a corrente a partir daquele ponto,

$$\sum_{k=0}^{\infty} \frac{\lambda^k e^{-\lambda}}{k!} \cdot \begin{cases} (q/p)^{(z-k)} & \text{se } k \leq z \\ 1 & \text{se } k > z \end{cases},$$

como colocado por Nakamoto (2008, p. 7), rearranja-se os termos de forma a evitar a soma infinita da cauda de distribuição, obtendo,

$$1 - \sum_{k=0}^z \frac{\lambda^k e^{-\lambda}}{k!} (1 - (q/p)^{(z-k)}).$$

Quando convertido para a linguagem C obtém-se o código ilustrado pelo Quadro 1.

Quadro 1: Código em C que representa a probabilidade do usuário malicioso obter sucesso ao ficar para trás a partir de z blocos na corrente.

```
#include <math.h>
double AttackerSuccessProbability(double q, int z)
{
    double p = 1.0 - q;
    double lambda = z * (q / p);
    double sum = 1.0;
    int i, k;
    for (k = 0; k <= z; k++)
    {
        double poisson = exp(-lambda);
        for (i = 1; i <= k; i++)
            poisson *= lambda / i;
        sum -= poisson * (1 - pow(q / p, z - k));
    }
    return sum;
}
```

Fonte: Adaptado a partir de Nakamoto (2008, p. 7).

Ao rodar o código do Quadro 1 é possível identificar que a probabilidade do usuário malicioso cai exponencialmente ao ficar para trás na solução dos blocos, ou seja, se algum usuário tentar utilizar deste método para modificar uma transação em bitcoin, caso ele não tenha sucesso logo no início de solucionar o *proof-of-work* e tornar a sua corrente alternativa modificada a supostamente verdadeira, as chances de tal feito caem exponencialmente, como ilustrado pelo Quadro 2.

Quadro 2: Resultados gerados a partir do código contido no Quadro 1 para um aumento em z .

q=0.1	q=0.3
z=0 P=1.0000000	z=0 P=1.0000000
z=1 P=0.2045873	z=5 P=0.1773523
z=2 P=0.0509779	z=10 P=0.0416605
z=3 P=0.0131722	z=15 P=0.0101008
z=4 P=0.0034552	z=20 P=0.0024804
z=5 P=0.0009137	z=30 P=0.0001522
z=6 P=0.0002428	z=35 P=0.0000379
z=7 P=0.0000647	z=40 P=0.0000095
z=8 P=0.0000173	z=45 P=0.0000024
z=9 P=0.0000046	z=50 P=0.0000006
z=10 P=0.0000012	

Fonte: Adaptado a partir de Nakamoto (2008, p. 7).

Os resultados do Quadro 2 indicam que a chance de modificar uma transação em bitcoin é muito pequena e possui um custo muito elevado tendo em vista a força computacional necessária para competir com a corrente de transações principal. Porém, a partir do momento em

que um minerador ou um grupo de mineradores de bitcoins consigam uma força computacional superior à maioria, com um valor, por exemplo, superior a 51% da força computacional na solução dos *puzzles*, um ataque que modifique transações em bitcoin poderá ser mais fácil de realizar. Contudo, mesmo no caso extremo em que a bitcoin se tornasse controlada por um monopólio, que possuísse uma força computacional muito superior à maioria, o incentivo em destruir o sistema ao modificar as transações seria muito baixo, uma vez que o lucro gerado pelas bitcoins mineradas e pelas taxas acumuladas nas transações poderia ser muito mais rentável do que a modificação de transações anteriormente realizadas pelo usuário malicioso.

As bitcoins possuem fungibilidade, ou seja, como o papel-moeda as bitcoins foram projetadas para serem transacionadas sem que exista diferença entre elas, exigindo-se somente o seu valor e não a transação de uma bitcoin em particular. Porém, como é possível rastrear o percurso das moedas ao analisar a corrente de transações, existem projetos¹² que visam rastrear bitcoins utilizadas em atividades ilegais, criando uma espécie de “lista negra” a fim de identificar possíveis violações de lei. Ao mesmo tempo em que existem projetos que procuram prejudicar a fungibilidade da bitcoin, existem outros que tentam aumentá-la, como por exemplo, a *Zerocoin*, *Darkcoin* ou *Coinshuffle* que visam aumentar a privacidade do sistema.

O sistema do protocolo Bitcoin deu origem a um novo conceito monetário denominado de *cryptocurrency* (criptomoeda), que representa exatamente esse novo formato de moeda que utiliza de criptografia e *block chains* para realizar transações. Pelo fato de o protocolo Bitcoin ser *open source*, qualquer pessoa pode reproduzir o seu código e criar a sua própria moeda. Desde que o sistema foi lançado, centenas de outras *cryptocurrencies* foram criadas, alguns exemplos são: *Litecoin*, *Ripple*, *Dogecoin*, *Namecoin*, entre várias outras. Porém, a Bitcoin continua sendo a principal *cryptocurrency*, possuindo uma capitalização de mercado 42 vezes¹³ maior que a *Litecoin*, a segunda mais importante *cryptocurrency*.

Assim como uma moeda nacional possui uma taxa de câmbio em relação a outras moedas, a bitcoin também possui uma cotação de

¹² O projeto chamado de *Coin Validation* pretende filtrar algumas transações em bitcoin de forma a permitir uma maior facilidade de regulação pelo governo Norte Americano.

¹³ Coin Market Cap. Disponível em: <<http://coinmarketcap.com/>>. Acesso em: 15 jun. 2015.

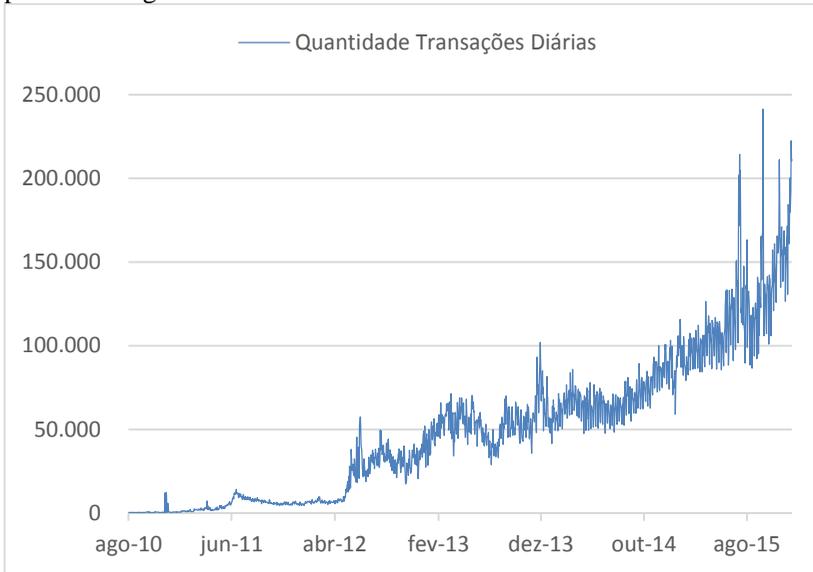
Gráfico 3: Taxa de câmbio da bitcoin em relação ao dólar entre ago. 2010 - dez. 2015.



Fonte: Disponível em: <<https://blockchain.info/pt/charts/market-price>>. Acesso em: 20 dez. 2015.

A fração de transações executadas através do protocolo Bitcoin ainda é baixo em comparação às transações realizadas por serviços tradicionais em moedas nacionais como a rede *Visa*, *Mastercard*, *Paypal* ou *Western Union*. Porém existe uma tendência ascendente dessas transações no decorrer dos últimos anos como ilustrado pelo Gráfico 4, mostrando que a bitcoin atingiu ao final de 2015 uma quantidade de transações diárias superior a duzentos mil.

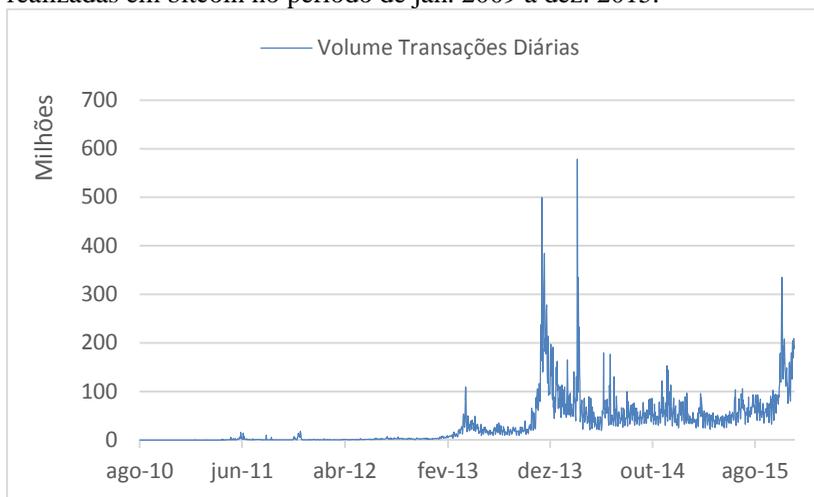
Gráfico 4: Quantidade de transações diárias realizadas em bitcoin no período de ago. 2010 a dez. 2015.



Fonte: Base de dados disponível em: <<https://blockchain.info/charts/n-transactions>>. Acesso em: 20 dez. 2015.

O volume por transações ilustrado pelo Gráfico 5 mostra que transações com uma quantidade considerável de valor em dólares somente começaram a ocorrer a partir de 2013, atingindo o valor de aproximadamente cem milhões de dólares transacionados em bitcoin em abril de 2013. É possível visualizar alguns picos extremos no fim de 2013 e início de 2014, onde o volume transacionado em um único dia em bitcoins atingiu valores superiores aos quinhentos milhões de dólares. Em dezembro de 2015 o volume de bitcoins transacionadas diariamente se encontrava em um valor superior a cem milhões de dólares.

Gráfico 5: Volume de transações diárias em dólares americanos realizadas em bitcoin no período de jan. 2009 a dez. 2015.

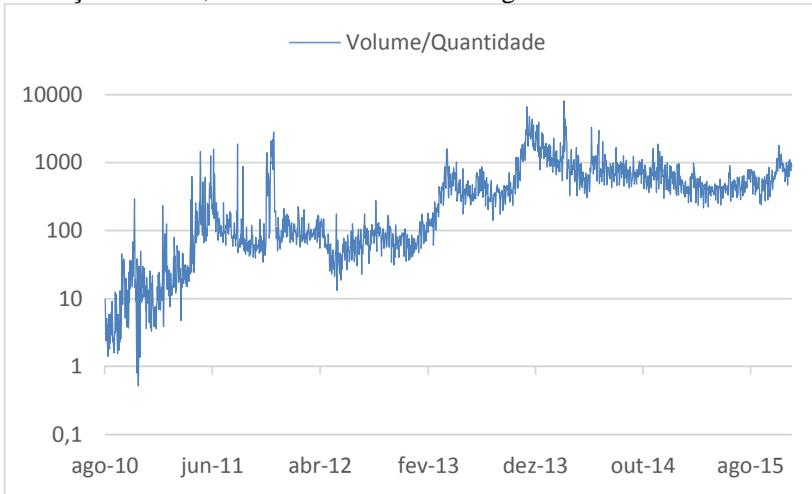


Fonte: Base de dados disponível em:

<<http://www.coinometrics.com/bitcoin/btix/>>. Acesso em: 20 dez. 2015.

O Gráfico 6 mostra a relação entre o volume e quantidade de transações em dólares realizadas em bitcoin, fornecendo uma média de valor por transação realizada com a moeda. Ao juntar todas as transações realizadas em bitcoin e a quantidade de bitcoins que circularam nessas transações, é possível obter uma média para o último ano de aproximadamente 560 dólares por transação. O sistema *Visa* de pagamentos eletrônicos, por exemplo, possuiu uma média de 78 dólares por transação no ano de 2012 (VISA, 2013), o que de certa forma indica que a bitcoin está sendo usada para transações com volumes altos e não para gastos convencionais característicos dos cartões de crédito.

Gráfico 6: Volume de transações diárias dividido pela quantidade de transações diárias, com o eixo vertical em logaritmo.



Fonte: Elaborado pelo autor com base de dados disponível em: <http://www.coinometrics.com/bitcoin/btix/>. Acesso em: 20 dez. 2015.

O sistema de pagamentos promovido pelo protocolo Bitcoin ainda é algo novo, com apenas alguns anos de desenvolvimento e utilização. Porém, o crescimento do sistema está acontecendo de forma progressiva e com cada vez mais pessoas fazendo uso de bitcoins para transações (Gráfico 4). Além disso, novas empresas e *startups* estão sendo criadas de forma a explorar novos produtos e serviços financeiros relacionados ao modelo de transações promovido pelas *cryptocurrencies*. A bolsa de valores eletrônica *Nasdaq*, por exemplo, está implementando um sistema que utiliza de bitcoins e da *block chain* para a transferência de valores mobiliários internos no seu serviço de *Private Market*. Como colocado pelo CEO da *Nasdaq*, Bob Greifeld¹⁵:

Utilizing the blockchain is a natural digital evolution for managing physical securities. [...] Our initial application of Nasdaq's blockchain technology-enabled offering will modernize, streamline and secure typically cumbersome

¹⁵ Nasdaq. Disponível em: <http://www.nasdaq.com/press-release/nasdaq-launches-enterprisewide-blockchain-technology-initiative-20150511-00485>. Acesso em: 15 jun. 2015.

administrative functions, and will simplify the overwhelming challenges private companies face with manual ledger record-keeping.

Desse modo, o protocolo Bitcoin está se tornando cada vez mais relevante em relação à sua utilização para negociações, impactando diretamente na atividade econômica e como esta se desenvolve. Pelo fato de a bitcoin ser uma moeda virtual, que possui as propriedades básicas de uma moeda, ao funcionar como unidade de conta, reserva de valor e meio de pagamento, o seu impacto na economia pode acontecer de diversas maneiras. A rapidez e baixo custo em executar transações em comparação aos outros sistemas de pagamentos convencionais, coloca a bitcoin como uma alternativa em potencial para a realização de atividades financeiras. Na China, por exemplo, a bitcoin tem sido utilizada como um veículo de fuga do Yuan chinês para outras moedas, mesmo com restrições impostas pelo Banco Popular da China, como colocado por Kroszner (2015, p. 14): “Bitcoin has evolved to be primarily a vehicle for transferring funds out of Chinese Yuan, despite actions by the PBOC to try to prevent this.”. Desse modo, a bitcoin abre novas possibilidades de uso que afetam tanto a soberania monetária de um país através da competição gerada pelo formato de moeda virtual, quanto a eficiência dos sistemas de pagamentos atualmente estabelecidos através da redução de custos com a utilização da tecnologia da *block chain*.

3.2 REGULAÇÃO

A tecnologia promovida pelo protocolo Bitcoin começa a se tornar relevante à medida que mais agentes começam a utilizar deste mecanismo para a realização de negociações. Por ser algo novo, existem dificuldades em interpretar o que de fato é uma bitcoin, gerando debates e discussões principalmente a nível regulatório. Grinberg (2011) analisou as diferentes formas de interpretação da bitcoin, se esta pode ser considerada de fato uma moeda, um título financeiro ou mesmo uma *commodity*. Dependendo da forma como a bitcoin for interpretada pela legislação, diferentes regulações serão impostas, o que consequentemente terá um impacto no desenvolvimento desta tecnologia.

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. Furthermore, although bitcoins may resemble “investment contracts,” they ultimately do not fall within that definition [...] (GRINBERG, 2011, p. 195)

A bitcoin é um formato monetário que jamais existiu antes e por este motivo ela não se encaixa facilmente em uma legislação atual. Enquadrar a bitcoin como uma moeda pode parecer a solução óbvia, porém isso implica em não considerá-la um título financeiro. A consequência gerada pela escolha de uma definição única para a bitcoin irá impactar diretamente o público que utiliza desse formato monetário, pois para cada definição uma regulação será utilizada, com impostos, encargos e restrições diferentes. Para o criador do sistema e demais desenvolvedores, a bitcoin foi criada com a intenção de servir como uma moeda, sendo este o motivo da escolha etimológica da palavra bitcoin (*bits* e *coins*), porém para os órgãos regulatórios o conceito pode não ser o mesmo.

No caso do Brasil, o Banco Central do Brasil emitiu uma nota oficial em relação as moedas virtuais ou moedas criptografadas, informando sobre a sua interpretação a respeito e esclarecendo o público sobre os possíveis riscos envolvidos na utilização e tais moedas, além de realizar a desambiguação entre os termos “moedas virtuais” e “moedas eletrônicas”. “O Banco Central do Brasil esclarece, inicialmente, que as chamadas moedas virtuais não se confundem com a ‘moeda eletrônica’ de que tratam a Lei nº 12.865, de 9 de outubro de 2013, e sua regulamentação infralegal.” (BCB, 2014). O órgão do governo explica que as chamadas “moedas eletrônicas” competem aos sistemas eletrônicos que transacionam unidades em moedas nacionais, ou seja, realizam transações eletrônicas em reais, onde por outro lado as “moedas virtuais” possuem sua unidade de conta própria (como o caso da bitcoin) e não se caracterizam como um sistema eletrônico para armazenamento de reais.

O BCB também argumenta em relação ao baixo risco que as moedas virtuais tem oferecido ao Sistema Financeiro Nacional até o momento, enfatizando a dificuldade perante os diversos órgãos

internacionais em achar uma definição exata para este formato de moeda:

No Brasil, embora o uso das chamadas moedas virtuais ainda não se tenha mostrado capaz de oferecer riscos ao Sistema Financeiro Nacional, particularmente às transações de pagamentos de varejo (art. 6º, § 4º, da Lei nº 12.685/2013), o Banco Central do Brasil está acompanhando a evolução da utilização de tais instrumentos e as discussões nos foros internacionais sobre a matéria – em especial sobre sua natureza, propriedade e funcionamento –, para fins de adoção de eventuais medidas no âmbito de sua competência legal, se for o caso (BCB, 2014).

Apesar da utilização da bitcoin em território nacional ainda não ser alta, o governo já está implementando algumas medidas de controle. A Receita Federal, por exemplo, emitiu nota afirmando que as bitcoins devem ser declaradas no imposto de renda; e quando houver a venda de bitcoins para reais, para valores acima de 35 mil reais, o ganho de capital deverá ser tributado à alíquota de 15%¹⁶.

Além do BCB, vários outros bancos centrais pelo mundo têm emitido suas opiniões a respeito da bitcoin e demais *cryptocurrencies*, de forma a discutir os possíveis impactos que este novo formato de moeda poderá trazer a economia e políticas monetárias. O Banco da Inglaterra, por exemplo, divulgou um artigo explicando o funcionamento em detalhes das moedas virtuais e colocando as perspectivas do banco a respeito desse novo formato de moeda. O artigo apontou tanto os benefícios quanto os riscos que a bitcoin pode proporcionar e ressaltou para os potenciais impactos que esta nova tecnologia pode desenvolver no futuro em relação à estabilidade econômica do Reino Unido:

Digital currencies, as presently designed, carry both risks and benefits. As explained in the companion piece to this article, digital currencies do not currently pose a material risk to monetary

¹⁶ Revista Exame. Disponível em: <<http://exame.abril.com.br/seu-dinheiro/noticias/ate-bitcoin-deve-ser-declarada-no-imposto-de-renda>>. Acesso em: 15 jun. 2015.

or financial stability in the United Kingdom, but it is conceivable that potential risks could develop over time (ALI et al., 2014a, p. 11).

A bitcoin ao ser utilizada em larga escala em determinado território promove uma competição com a moeda nacional, gerando os mesmos efeitos que uma moeda estrangeira acarreta quando utilizada dentro de um país. O Banco da Inglaterra ilustra para o cenário hipotético onde grande parte das transações da economia fossem realizadas com bitcoins ao invés da moeda nacional, apontando que se isso de fato acontecesse, a habilidade do banco central em influenciar a formação de preços e a atividade real da economia seria severamente 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 transactions 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., 2014b, p. 9).

A utilização de outras moedas que não a nacional é algumas vezes proibida e normalmente dificultada dentro de um país, de forma que o governo consiga manter o monopólio sobre a emissão de moeda e assim consiga realizar políticas e tomar medidas. O exemplo citado pelo Banco da Inglaterra, onde uma economia se tornou *bitcoinised* (bitcoinizada) parece improvável quando interpretada no contexto de uma economia como a do Reino Unido. Porém, em países economicamente menores que estejam passando por crises cambiais e inflacionárias, a fuga para uma moeda virtual pode acontecer como uma forma de proteger riquezas ou evadir divisas. A procura por bitcoins em países como Argentina, Chipre, Ucrânia e Venezuela, aumentou depois

do início das respectivas crises em cada um dos países¹⁷. Além da vantagem de utilizar de uma moeda virtual como proteção contra a inflação, existe também a possibilidade de enviá-la para outras pessoas fora daquele país, algo difícil de realizar ao utilizar de moedas estrangeiras que em sua maioria são transacionadas fisicamente.

Plassaras (2013) examinou as possíveis consequências por trás dos efeitos desestabilizadores que a bitcoin poderia ocasionar no mercado de câmbio internacional, analisando principalmente como instituições, a exemplo do Fundo Monetário Internacional (FMI), deveriam reagir frente a uma possível utilização em larga escala da bitcoin no futuro. Dadas as diretrizes atuais do FMI e pelo fato de a bitcoin ser uma inovação financeira com uma definição ainda não totalmente estabelecida, o fundo não considera a bitcoin como uma moeda e desse modo não a inclui em suas reservas monetárias.

A principal função do FMI é manter a estabilidade econômica ao monitorar as taxas de câmbio e facilitar que os países negociem uns com os outros. Em caso de crises econômicas, o FMI pode emprestar dinheiro para um país membro do fundo de forma a conter fluxos cambiais especulativos e manter as taxas de câmbio estáveis entre as moedas. Cada país membro contribui com uma quota para o fundo de acordo com a sua importância na economia mundial. Esta quota é então utilizada para eventuais empréstimos entre os países, os quais deverão ser pagos ao fundo posteriormente. Assim, o FMI mantém uma reserva monetária diversificada e robusta de forma a alocar recursos entre os países caso seja necessário (PLASSARAS, 2013).

Caso a utilização de bitcoins aumente no futuro, os seus efeitos em determinadas economias poderão ser parecidos com os de uma moeda estrangeira, podendo em alguns casos levar a uma desestabilização da taxa de câmbio da moeda local. Como colocado por Plassaras (2013, p. 17):

Bitcoin does, however, have the potential to create severe and possibly irreversible fluctuations in the foreign currency exchange. Specifically, Bitcoin poses a liability to the IMF and its member nations in the event it is used in what is referred to as a “speculative attack” on another currency.

¹⁷ Motherboard Vice. Disponível em: <<http://motherboard.vice.com/blog/five-economies-that-could-actually-use-bitcoin>>. Acesso em: 15 jun. 2015.

Dependendo do tamanho da participação da bitcoin nas transações de um determinado país, a realização de ataques especulativos contra a moeda local, ao utilizar a bitcoin como instrumento, poderá ter efeitos profundos nesta economia, caso a bitcoin não esteja incorporada nas reservas monetárias de instituições como o banco central deste país ou o FMI.

A questão levantada por Plassaras (2013) é muito interessante, pois, se a bitcoin se fato vingar como moeda perante o público, obrigatoriamente as instituições financeiras terão que em algum momento lidar com essa moeda virtual, mesmo que seja para proteger a estabilidade da taxa de câmbio de determinada moeda local. O autor aponta que existem duas principais maneiras de um banco central conter um ataque especulativo: a primeira aumentando as taxas de juros, de forma a diminuir os lucros ou causar perdas ao especulador; e a segunda seria intervindo diretamente no mercado utilizando de suas reservas para “absorver” a instabilidade do câmbio. Porém, aumentar a taxa de juros não é uma solução definitiva devido aos impactos contracionistas de tal medida. Por outro lado, se um banco central não possui reservas em bitcoins para conter um possível ataque, o aumento da taxa de juros continuará sendo a única alternativa de proteção frente a um ataque especulativo. A principal instituição internacional a recorrer em caso de problemas com a estabilidade do câmbio é o FMI, mas se este também não reconhecer a bitcoin como moeda ao não incorporá-la em suas reservas, nada poderá fazer para auxiliar os países membros.

In short, the ability to increase interest rates and the ability to borrow currency from central banks and the IMF work best in conjunction with one another. Without a reserve holding of Bitcoins, the IMF is severely restricted in what it can do to assist member nations facing a speculative attack by Bitcoin users (PLASSARAS, 2013, p. 19).

Apesar de apenas teórica, a ameaça que moedas virtuais como a bitcoin pode colocar no futuro em relação à estabilidade econômica é algo que deve ser amplamente discutido. A partir do momento em que cada vez mais pessoas começarem a utilizar esse novo formato monetário, maior será a sua possibilidade de impacto na economia. Instituições como o FMI e bancos centrais devem elaborar estratégias

antes que problemas práticos tomem forma. Como explicado por Plassaras (2013, p. 26), “As the Internet continues to play an increasingly important role in how we conduct commerce, our institutions have to adjust to the new challenges this change creates. The evolution of Bitcoin is no exception.”. A forma como as instituições financeiras irão lidar com a bitcoin ainda é incerto. Alguns países tem tido uma postura mais rígida, banindo o uso da moeda virtual em seu território, por exemplo; outros já possuem uma postura mais branda, porém prestam atenção ao desenvolvimento desta nova tecnologia. Pelo fato de a moeda virtual ser transacionada pela internet, fora das câmaras de compensação dos sistemas financeiros convencionais, os controles cambiais sobre as moedas virtuais não são totalmente efetivos. A restrição sobre a entrada de moeda estrangeira em um país pode ser alcançada tanto ao controlar fronteiras quanto ao tributar transações eletrônicas nessa moeda. Porém, no caso de uma moeda virtual o controle não será o mesmo que o de uma moeda estrangeira, uma vez que a moeda virtual pode entrar em um país sem grandes restrições.

Um caso interessante a respeito do processo de regulação das moedas virtuais aconteceu no estado de Nova York nos Estados Unidos. O Departamento de Serviços Financeiros, através da iniciativa do superintendente Benjamin Lawsky, criou a chamada *Bitlicense*¹⁸, a qual funciona como uma licença que deve ser utilizada pelas empresas que oferecem serviços financeiros relacionados à bitcoin. A *Bitlicense* foi a primeira forma de tentar controlar essa inovação financeira em um nível regulatório oficial, impondo regras e tentando limitar os riscos envolvidos na utilização de moedas virtuais, principalmente ao implementar medidas para evitar casos de lavagem de dinheiro, assim como estabelecer regras ao estilo *know your customer*, para que as empresas do segmento de moedas virtuais recolhessem informações dos seus clientes como se fossem bancos. O recolhimento de informações de clientes tem o intuito de conter casos de corrupção ou até mesmo o financiamento de atos terroristas. Porém, a *Bitlicense* foi muito mal recebida pela comunidade desenvolvedora da bitcoin, pelo fato de as regras estabelecidas serem rígidas o suficiente a ponto de limitar o desenvolvimento desta tecnologia. Algumas empresas *startups*, por exemplo, que estão criando novos serviços e aplicações com bitcoin

¹⁸ New York State Department of Financial Services (2015). Disponível em: <<http://www.dfs.ny.gov/about/press2014/pr1407171-vc.pdf>>. Acesso em: 22 jun. 2015.

tiveram que sair do estado de Nova York devido aos requerimentos necessários para se manterem regularizadas¹⁹.

Um outro caso interessante sobre a regulação de moedas virtuais aconteceu no Canadá, onde o Senado canadense elaborou um extenso debate em relação à metodologia que deveria ser utilizada a fim de definir leis e normas a serem seguidas por empresas e usuários que utilizassem moedas virtuais. Diferentemente do caso de Nova York, os senadores canadenses concordaram que a tecnologia promovida pelas *cryptocurrencies* e a bitcoin podem trazer benefícios para a sociedade no futuro, principalmente por reduzirem os custos de transações. Mas pelo fato de ser uma tecnologia infante e ainda precisar de amadurecimento, o senado canadense chegou à conclusão de que a regulação sobre as moedas virtuais deve ser suave no momento, de forma a evitar um possível sufocamento do seu desenvolvimento tecnológico:

After hearing from a broad range of witnesses in Ottawa, and traveling to New York City for a factfinding trip, the Committee has concluded that digital currencies and their technologies present a variety of opportunities. In the Committee's view, it is likely that the innovation underlying these currencies and technologies has applications that have not yet been imagined. There is evidence that they reduce transaction costs, increase the choices available to customers and merchants, protect users' identities and record all transactions (GERSTEIN; HERVIEUX-PAYETTE, 2015).

Assim, a regulação das moedas virtuais está acontecendo de forma gradativa de acordo com o seu desenvolvimento no decorrer do tempo. Alguns países se posicionam de forma mais aberta e receptiva, enquanto outros já começam a definir regras e a colocá-las em prática. A introdução deste novo formato monetário nas transações tem a possibilidade de afetar a economia em vários aspectos, tanto por um lado positivo de redução de custos e maior eficiência dos sistemas de pagamentos, quanto por um lado negativo ocasionado pelo uso das moedas virtuais para propósitos ilegais ou até mesmo pela instabilidade gerada através de ataques especulativos.

¹⁹ ROSENFELD, Everett (2015). Disponível em: <<http://www.cnb.com/id/102749808>>. Acesso em: 22 jun. 2015.

3.3 BITCOIN COMO COMMODITY

A bitcoin é um formato monetário que possui várias características diferentes ao mesmo tempo. Por um lado pode ser considerada uma moeda virtual, por outro é um sistema de pagamento independente, além disso o modo como a oferta monetária de bitcoins aumenta no decorrer do tempo foi definida de forma a mimetizar um metal precioso, ou seja, simulando um processo de escassez. Como o código que controla o protocolo Bitcoin define que a emissão de moedas será previsível e decrescente no decorrer do tempo, muitos autores têm relacionado a bitcoin a um tipo de *commodity* ou até mesmo suas similaridades com o padrão ouro.

Krugman (2011), foi um dos primeiros a fazer uma crítica negativa em relação à bitcoin em seu post no *The New York Times* intitulado de *Golden Cyberfettlers*, em analogia exatamente ao sistema de escassez da moeda que simula um metal como o ouro. Krugman (2011) apontou para o fato dos preços cotados em bitcoin sofrerem de intensa deflação no decorrer do tempo, pois como a oferta da moeda virtual tende a ser fixa, os preços inevitavelmente entrarão em uma espiral deflacionária. “[...] if you measure prices in Bitcoins, they have plunged; the Bitcoin economy has in effect experienced massive deflation.” (KRUGMAN, 2011). Do ponto de vista de uma economia saudável, uma moeda com alta deflação pode ser tão fatal quanto uma hiperinflação, pois se a moeda adquire valor no decorrer do tempo naturalmente, os gastos serão postergados ao máximo, levando inevitavelmente a uma estagnação econômica.

A principal crítica de Krugman (2011) recai sobre o fato de a bitcoin ser uma moeda com tendência à deflação, o que segundo o autor seria uma espécie de novo padrão ouro que deveria ser evitado devido às suas vulnerabilidades. “So to the extent that the experiment [bitcoin] tells us anything about monetary regimes, it reinforces the case against anything like a new gold standard – because it shows just how vulnerable such a standard would be to money-hoarding, deflation, and depression.” (KRUGMAN, 2011).

Outra análise interessante foi feita por Selgin (2013), onde o autor relacionou a bitcoin a uma “*commodity* sintética inelástica”, a qual poderia servir de base para que regimes monetários funcionassem sem a necessidade de uma autoridade monetária. Diferentemente de Krugman (2011), Selgin (2013) defende a possibilidade de a bitcoin promover uma maior estabilidade econômica dadas às suas características.

The special features of such monies, I shall argue, give them the potential to supply the foundation for monetary regimes that does not require oversight by any monetary authority, yet are capable of providing for all such changes in the money stock as may be needed to achieve a high degree of macroeconomic stability.” (SELGIN, 2013, p. 1).

Selgin (2013) analisou as diferentes formas em que os regimes monetários operam, observando a diferença entre um regime monetário baseado na “gestão” de uma autoridade monetária em relação a um regime onde uma *commodity* sintética funcionaria de forma “automática” ao definir a base monetária de uma economia independentemente. O autor enfatiza as ideias de Buchanan (1962), elaborando que em um regime monetário discricionário, que mantenha o nível de preços ou outra variável econômica sob controle, poderia ser afetado tanto por uma política monetária frouxa, devido às várias possibilidades de discricção, assim como por uma política monetária muito específica guiada por várias regras que limitariam a decisão da autoridade monetária. Desse modo, o existência de uma *commodity* sintética que controlasse o desenvolvimento da oferta monetária de forma imparcial poderia, de acordo com Selgin (2013), permitir um manejo econômico mais estável, apesar de ainda ser um fenômeno hipotético.

Por funcionar de forma independente, a tecnologia promovida pelas *cryptocurrencies* tem sido vista por alguns como uma forma de libertação do sistema bancário e financeiro convencional, ao possibilitar que qualquer pessoa, não importando o nível de renda ou localização, possa usufruir de um sistema de pagamentos eficiente e global. Autores como Vigna e Casey (2015) apontam para a possibilidade de a bitcoin ser extremamente relevante para a fração da população mundial denominada de *unbanked*, ou seja, as pessoas que não possuem acesso a bancos devido à sua localização em países periféricos ou mesmo por não serem qualificadas para terem contas em bancos convencionais. A quantidade de pessoas sem acesso a bancos chega a valores próximos de 2.5 bilhões no mundo todo (CHAIA et al., 2009). A bitcoin poderia preencher essa lacuna ao possibilitar que a população de países africanos, por exemplo, possa ter acesso a uma forma eletrônica de armazenamento de riquezas, uma vez que um sistema bancário em determinados países pode não estar disponível para todos. Vigna e

Casey (2015) descrevem esse sentimento de libertação promovido pela tecnologia do protocolo Bitcoin:

At its core, cryptocurrency is not about the ups and downs of the digital currency market; it's not even about a new unit of exchange to replace the dollar or the euro or the yen. It's about freeing people from the tyranny of centralized trust. It speaks to the tantalizing prospects that we can take power away from the center – away from banks, governments, lawyers, and the tribal leaders of Afghanistan – and transfer it to the periphery, to We, the People (VIGNA; CASEY, 2015, p. 8).

As esperanças colocadas sobre a bitcoin são muitas, mas se de fato elas irão se materializar no futuro ainda é algo incerto. A partir do momento em que várias pessoas começarem a utilizar bitcoins para transações, um erro não percebido no programa, por exemplo, poderia colocar em xeque a estabilidade econômica de um país, levando a prejuízos e perdas. Apesar de a bitcoin ser baseada em programação, o seu sistema foi robusto o suficiente para suportar intensas tentativas de destruição realizada por *hackers* do mundo inteiro nos últimos anos. Além disso a tecnologia promovida pelo armazenamento de dados através da *block chain* também tem se mostrado forte o suficiente ao conseguir manter a posse das moedas virtuais, que possuem uma capitalização de mercado de 3.5 bilhões²⁰ de dólares, de forma segura apesar da sua natureza descentralizante.

A partir da ascensão da internet como uma ferramenta global para troca de dados, muitos autores começaram a imaginar as possibilidades que tal tecnologia poderia trazer para o futuro. Ingham (2004) ao explorar *a natureza do dinheiro* discutiu em seu capítulo final sobre os possíveis espaços monetários que poderiam surgir através do uso da internet como uma ferramenta financeira.

Computers communicating in real time could instantaneously verify counter-parties' creditworthiness. The realization of this possibility would make money's unique role, as

²⁰ Dados disponíveis em: <<https://blockchain.info/charts/market-cap>>. Acesso em 10 jun. 2015.

the means of final settlement, redundant. If final settlement could be made without recourse to the central bank's money, the bank itself would cease to exist (INGHAM, 2004, p. 178).

Apesar de as colocações de Ingham (2004) terem sido feitas antes do surgimento do protocolo Bitcoin, elas descrevem exatamente a funcionalidade de um sistema com as mesmas características, o qual possibilitaria a verificação em tempo real de transações entre as partes. O autor ainda destaca o fato de que um sistema como este, que funcionaria de forma automática, guiado por computação e totalmente à parte de uma autoridade monetária, poderia levar ao fim do banco central, uma vez que a condução de políticas monetárias não mais seria discricionária. “Present monetary policy preoccupation with the need to limit money creation would give way to the more technically neutral regulation of the integrity of the computer systems that verify the creditworthiness of the counterparties' assets.” (INGHAM, 2004, p. 178).

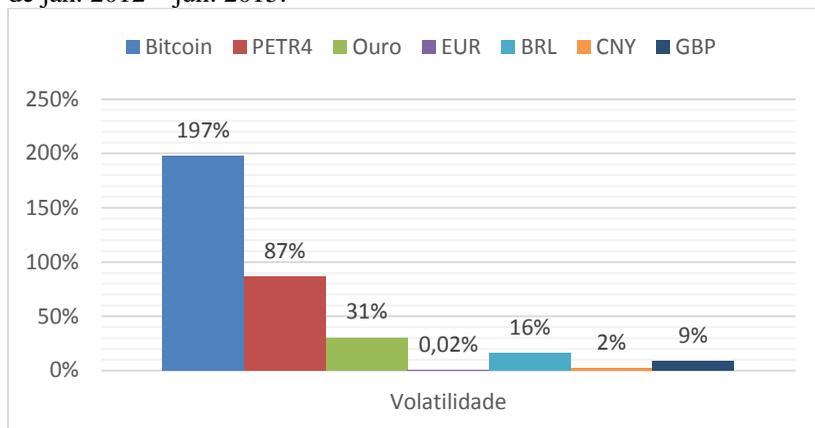
As moedas virtuais podem um dia competir diretamente com moedas nacionais, devido principalmente ao aprimoramento de novos circuitos financeiros, como a bitcoin por exemplo, que fazem com que os pagamentos circulem fora dos sistemas de pagamentos nacionais. Como elaborado por Cohen (2001, p. 201) “New circuits of spending based on alternative media of exchange, can evolve that make no use at all of a country's traditional settlement system – ‘rootless’ money ‘circling in cyberspace indefinitely’”. Com o avanço da internet através de sistemas de comércio eletrônico (*e-commerce*), por exemplo, a utilização de uma moeda virtual pode ser mais vantajosa ou até mesmo possuir incentivo para o seu uso. Assim, um mercado que em décadas passadas nem mesmo existia e o qual a cada dia aumenta com mais possibilidades de compras, pode levar, além da substituição das lojas físicas por virtuais, a uma substituição do uso de tradicionais formas de pagamentos com moedas nacionais para o uso de moedas propriamente virtuais.

3.4 COMPORTAMENTO DO VALOR DA BITCOIN

Como ilustrado anteriormente pelos Gráficos 3 e 4, a taxa de câmbio da bitcoin sofreu grandes variações nos últimos anos, saindo de poucos centavos de dólares em 2010 para valores próximos dos 1.200

dólares em 2013 e voltando para patamares próximos dos 250 dólares na metade de 2015. A volatilidade da taxa de câmbio da moeda virtual é visto por alguns autores como algo prejudicial para a sua consolidação como moeda, uma vez que a rápida mudança nos preços é custosa para os comerciantes e confusa para os consumidores. Yermack (2013) aponta para o fato de a volatilidade da bitcoin ter sido em alguns momentos muito alta quando comparada com outras moedas nacionais, um fator que prejudica a sua característica de reserva de valor, enfraquecendo a sua utilidade como moeda. “If a consumer finds a successful way to hold and secure his bitcoins, he faces the further problem of managing the risk arising from bitcoin’s volatility.” (YERMACK, 2013, p. 14).

Gráfico 7: Desvio padrão da taxa de câmbio da bitcoin em dólares americanos em comparação com outros ativos e moedas para o período de jan. 2012 – jun. 2015.²¹



Fonte: Elaborado pelo autor utilizando banco de dados disponível em: <<https://www.quandl.com/>>.

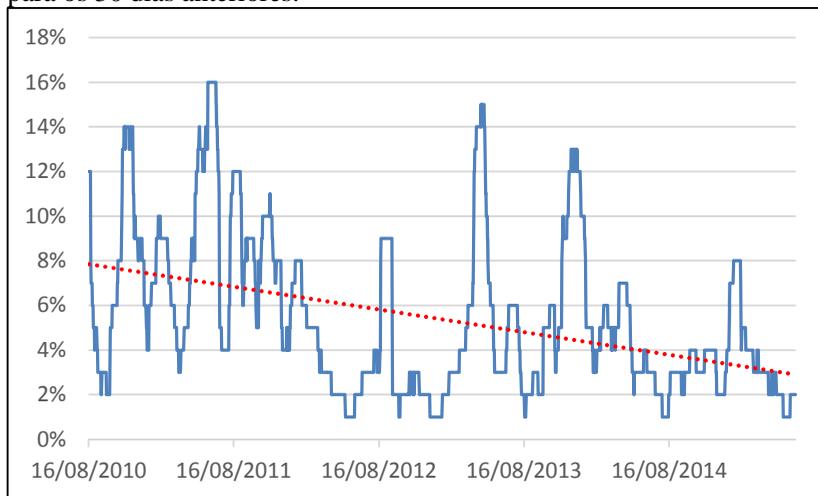
Através de uma medida de volatilidade utilizando o desvio padrão de séries temporais entre janeiro de 2012 e julho de 2015 no Gráfico 7, é possível perceber a disparidade da bitcoin em relação às moedas nacionais, ao ouro e às ações de empresas cotadas em bolsa, a

²¹ Significado das siglas das legendas em ordem de utilização: moeda bitcoin, ações da empresa Petrobrás, preço do ouro em dólares americanos, taxa de câmbio euro/dólar, taxa de câmbio real/dólar, taxa de câmbio yuan/dólar e taxa de câmbio libra esterlina/dólar.

exemplo da Petrobrás (PETR4). A alta volatilidade da bitcoin pode estar ligada ao fato de a moeda virtual ainda ser uma tecnologia infante, a qual possuía uma taxa de câmbio praticamente inexistente até meados de 2010. A baixa liquidez da bitcoin quando comparada a outros ativos também pode ser um fator a contribuir para a sua alta volatilidade, pois qualquer pressão compradora ou vendedora tem mais efeito sobre o preço em um mercado de câmbio ainda mais descentralizado. O desvio padrão da bitcoin em relação ao dólar desde 2012 foi de 197%, um valor extremamente alto, devido possivelmente ao fato de a moeda virtual ter gradativamente atraído atenção da mídia, investidores e o público em geral.

O Gráfico 8 mostra a volatilidade da bitcoin no decorrer do tempo utilizando o desvio padrão dos retornos diários em relação aos 30 dias anteriores. Os picos indicam as rápidas mudanças que acometeram a taxa de câmbio da moeda, tanto para momentos de alta quanto de queda. A linha de tendência do Gráfico 8 indica que, apesar de a volatilidade ainda ser relativamente alta em comparação com moedas nacionais, ela está gradativamente diminuindo com o amadurecimento deste novo formato monetário.

Gráfico 8: Volatilidade da taxa de câmbio da bitcoin em dólares americanos utilizando o desvio padrão dos retornos diários ajustados para os 30 dias anteriores.



Fonte: Adaptado pelo autor a partir de: <<https://btcvol.info/>>. Acesso em: 01 jul. 2015.

Uma parte do comportamento do preço da bitcoin está relacionada a indivíduos que estão sendo atraídos pela moeda como um investimento, esperando obter lucros via especulação, e não necessariamente para fazer uso da bitcoin como moeda. Os autores Baek e Elbeck (2014) compararam o mercado da bitcoin em relação ao índice S&P 500 e obtiveram conclusões interessantes sobre a volatilidade nos dois mercados. Os autores tiraram a tendência do preço da bitcoin e do índice S&P 500 e calcularam o desvio padrão para o período entre julho de 2010 e fevereiro de 2014, chegando ao resultado de que a bitcoin possuiu um desvio padrão de 1,1552 enquanto o S&P500 possuiu 0,0447, ou seja, o mercado da bitcoin pode ser considerado 26 vezes mais volátil que o mercado de ações para o período analisado. Os autores também realizaram uma análise de regressão comparando a bitcoin em relação a variação de algumas variáveis econômicas importantes, como índices de preços Δcpi_t , produção industrial Δip_t , consumo $\Delta rpce_t$, variação do preço das ações $\Delta sp500_t$, notas do tesouro americano ΔTN_t , variação da taxa de câmbio do Euro $\Delta euro_t$, variação do desemprego $\Delta unemployment_t$ e a diferença entre os topos e fundos do preço da bitcoin $\Delta spread_t$:

$$R_t = \beta_0 + \beta_1 \Delta cpi_t + \beta_2 \Delta ip_t + \beta_3 \Delta rpce_t + \beta_4 \Delta sp500_t + \beta_5 \Delta TN_t + \beta_6 \Delta euro_t + \beta_2 \Delta unemployment_t + \beta_2 \Delta spread_t + \varepsilon_t$$

Quadro 3: Resultados da regressão encontrados por Baek e Elbeck (2014).

Variable	Estimated coefficient	t-Ratio	VIF
Constant	0.1955	0.2578	
Monthly change in consumption price index	25.4100	0.9949	1.3829
Monthly change in industrial production	-7.5773	-0.4870	1.6147
Monthly change in real personal consumption expenditures	7.6659	0.2524	1.4465
Monthly change in S&P500 index	2.1364	1.0430	1.7479
Monthly change in 10-year Treasury note	-0.0122	-0.0270	1.3552
Monthly change in euro exchange rate	-1.0050	-0.4672	2.1142
Monthly change in unemployment	-0.9216	-0.0873	1.2860
Monthly change in the spread between daily high and low prices	0.1837**	6.028	1.0153
Adjusted R^2	0.3432		

Notes: The variance inflation factor (VIF) is calculated as follows: $VIF_i = \frac{1}{1-R_i^2}$ where VIF_i is the variance inflation factor of an independent variable, X_i , and R_i^2 is the multiple R^2 of X_i on the other independent variables.
* indicates statistical significance at the 0.05 level.
** indicates statistical significance at the 0.01 levels.

Fonte: Baek e Elbeck (2014, p. 4).

Os resultados encontrados pelos autores, ilustrados pelo Quadro 3, indicaram que somente a diferença entre os topos e fundos foram significantes como um fator interno a influenciar os movimentos no preço, todas as outras variáveis econômicas não têm impacto no movimento da taxa de câmbio da bitcoin até o momento analisado. Este resultado indica que os retornos de mercado da bitcoin são ocasionados pelos participantes do mercado internamente, através de compradores e vendedores e não por variáveis econômicas. Porém, Baek e Elbeck (2014) ressaltam que esta situação atual poderá mudar no futuro a partir do momento em que houver uma maior aceitação e utilização da bitcoin, o que poderá levar a uma diminuição da sua volatilidade, um aumento da sua capitalização de mercado e conseqüentemente fazer com que variáveis econômicas comecem a afetar o seu preço.

Algo interessante de ser analisado se dá em relação à Lei de Metcalfe no contexto das bitcoins²². A Lei de Metcalfe foi formulada em 1993 por George Gilder, porém atribuída a Robert Metcalfe, o criador do sistema de conexão Ethernet. A Lei de Metcalfe preconiza que o número de conexões únicas em uma rede com determinado número de usuários n pode ser expresso matematicamente como um número triangular dado por,

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

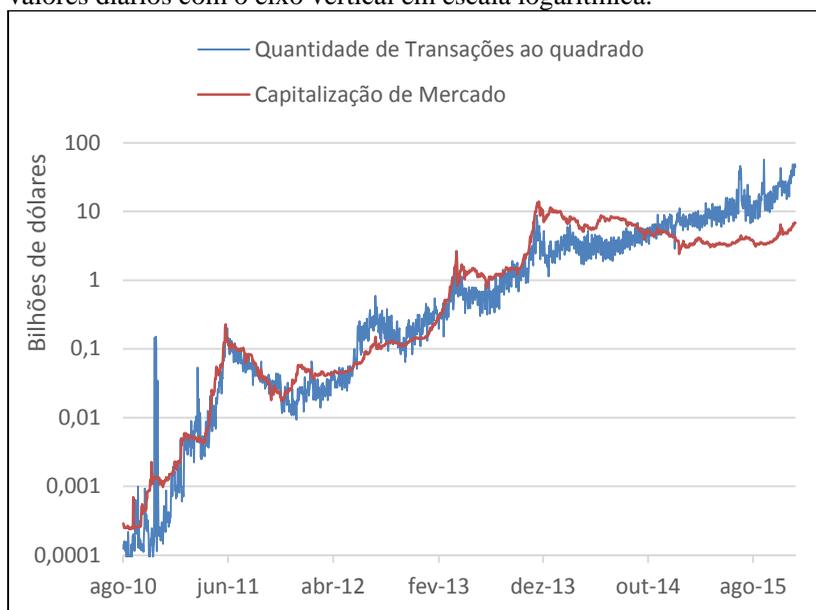
o que é proporcional a n^2 assintoticamente. Logo, quanto mais a rede cresce, melhor a sua oportunidade de uso pelos demais usuários. A cada usuário novo, todos os outros que fazem uso do sistema recebem um ganho. O exemplo clássico da Lei de Metcalfe é a rede telefônica, onde um usuário sozinho não oferece nenhum valor, pois não pode entrar em contato com ninguém. Porém, quanto mais usuários novos começam a utilizar o sistema telefônico mais vantajoso ele se torna, permitindo que várias pessoas entrem em contato uma com as outras. Logo, o valor de uma rede de comunicação está relacionado ao número de usuários que fazem uso dela. Em economia, o fenômeno por trás da Lei de Metcalfe é também conhecido como efeito de rede ou externalidade de rede,

²² As primeiras referências em relação à Lei de Metcalfe e a bitcoin surgem em janeiro de 2014 no fórum de discussões *bitcointalk* pelos usuários gbianchi e Peter R. Disponível em: <<https://bitcointalk.org/index.php?topic=366214.msg5919365#msg5919365>>. Acesso em: 31 out. 2014.

representando o efeito que usuários de um bem ou serviço causam em relação ao valor deste produto para outras pessoas. O exemplo pode ser estendido à própria internet, além de redes sociais e também ao sistema de pagamento da bitcoin.

Utilizando a quantidade de transações da bitcoin como representando o número de usuários n e seguindo a lógica da Lei de Metcalfe ao calcular n^2 , ao relacionar este resultado com a capitalização de mercado da bitcoin, é possível visualizar uma correlação interessante como ilustrado pelo Gráfico 9.

Gráfico 9: Representação da Lei de Metcalfe utilizando a capitalização de mercado e a quantidade de transações ao quadrado da bitcoin em valores diários com o eixo vertical em escala logarítmica.



Fonte: Elaborado pelo autor utilizando base de dados disponível em: <<https://blockchain.info/charts/>>. Acesso em: 20 dez. 2015.

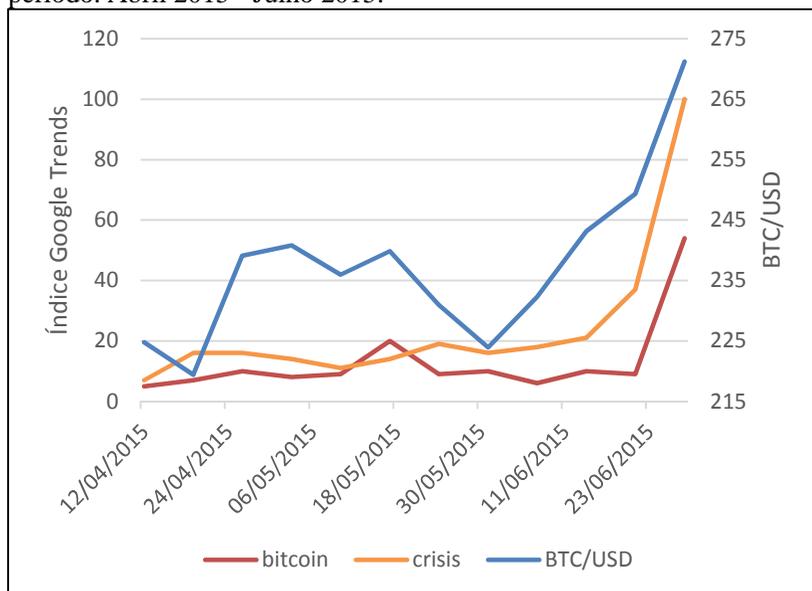
Em uma escala logarítmica, o Gráfico 9 mostra que o valor da bitcoin tem aumentado de acordo com o aumento da quantidade de transações realizadas dentro do seu sistema de pagamentos. Ora, como a utilidade predominante da bitcoin é funcionar como meio de pagamento, a Lei de Metcalfe parece fornecer uma lógica ou fundamento para o movimento do preço da moeda, indicando que a valorização em seu

preço pode estar relacionada ao aumento na quantidade de usuários utilizando o sistema. Logo, a Lei de Metcalfe nesse contexto nos indica que, quanto mais pessoas façam uso da bitcoin, melhor ela funcionará como meio de pagamento, quanto melhor ela funcionar como meio de pagamento, mais valioso é o seu sistema.

A volatilidade por trás da taxa de câmbio da bitcoin, quando analisada através da Lei de Metcalfe, pode ser explicada exatamente pela entrada de novos usuários no sistema e não por um fator exógeno. As conclusões de Baek e Elbeck (2014) de que os movimentos no preço da bitcoin acontecem pelos participantes do mercado internamente se mostram verdadeiras, porém os autores negligenciaram a entrada de novos usuários, o que possivelmente indicaria uma correlação positiva com a taxa de câmbio da moeda.

A forma como variáveis econômicas afetam o movimento do preço da bitcoin é complexa, assim como os movimentos do preço de ativos no mercado financeiro por exemplo. Apesar de as variáveis econômicas analisadas por Baek e Elbeck (2014) não fornecerem uma correlação positiva com a bitcoin, outras variáveis e causas mais específicas parecem capturar tal comportamento. Ao analisar a crise da Grécia para o ano de 2015, por exemplo, onde os acordos com a União Europeia foram rejeitados pela população em referendo público, fato que levou ao agravamento da crise financeira, é possível visualizar uma aparente correlação entre a variação da taxa de câmbio da bitcoin com o comportamento da população naquele país. Utilizando dados de buscas na internet realizadas em território grego para o período de abril até julho de 2015, através da ferramenta *Google Trends*, é possível obter informações interessantes. Ao relacionar os termos de busca “*crisis*” e “*bitcoin*” com a taxa de câmbio da bitcoin para o mesmo período, é possível visualizar uma correlação entre os dados, como ilustrado pelo Gráfico 10.

Gráfico 10: Procura no Google pelos termos “crisis” e “bitcoin” dentro da Grécia em relação ao comportamento do preço da moeda no mesmo período. Abril 2015 - Julho 2015.



Fonte: Base de dados sobre buscas na internet disponível pela ferramenta *Google Trends* disponível em: <<https://www.google.com/trends/>> e cotação da bitcoin (*Weighted Price*) disponível em: <<http://bitcoincharts.com/>>.

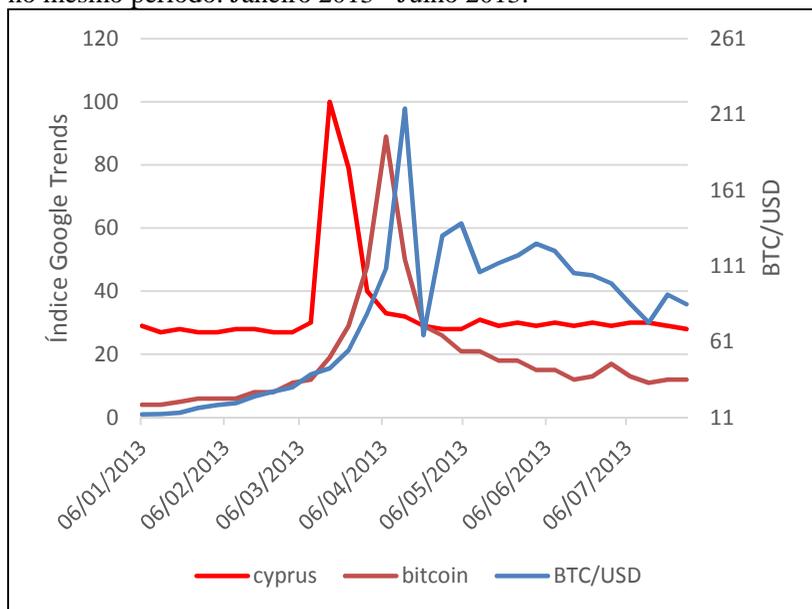
A interpretação dos dados contidos no Gráfico 10 pode ser analisada de várias maneiras: desde uma simples coincidência de fatos a uma procura por novas formas de contornar problemas econômicos. O retorno do medo frente a uma iminente crise econômica no país levou a população a uma verdadeira “corrida aos bancos”²³ e à decretação de feriados bancários pelo governo de forma a evitar uma generalização do pânico financeiro, um pânico que se reflete também em meio eletrônico caracterizado pelo aumento das buscas por termos relacionados à crise financeira. A procura por entender o que é bitcoin pelo povo grego através da busca do termo “bitcoin” em uma época claramente marcada pela dificuldade de interpretar o futuro econômico do país se mostra

²³ PESTON, Robert (2015). BBC. Disponível em: <<http://www.bbc.com/news/business-33403008>>. Acesso em: 07 jul. 2015.

uma possível pista de como a bitcoin se fundamenta como uma moeda alternativa, em um ambiente de incertezas sobre o Euro e baixa credibilidade dos bancos. A valorização da taxa de câmbio da bitcoin em relação ao dólar frente ao agravamento da crise grega, fortalece a interpretação de que a bitcoin pode funcionar como uma alternativa de proteção ao capital, possivelmente pela sua característica descentralizante e por atuar globalmente através da internet. Devido à ausência de alterações na busca pelo termo “bitcoin” em outros países para o período analisado, o interesse do povo grego pela moeda parece de fato envolvido com a situação econômica de seu país. Como apontado por Mims (2015), a alteração na taxa de câmbio da bitcoin possivelmente não está relacionada com o aumento da compra de bitcoins pelos gregos de fato, mas sim pela interpretação dos diversos agentes de mercado que em conjunto com o povo grego percebem o potencial da moeda como uma alternativa de proteção de capital e especulam contra a bitcoin frente a cenários futuros. “[...] the most exciting thing about bitcoin’s blockchain technology is that it has the potential to democratize how money is created. And that, for many observers, is fundamentally what the debate over Greece and the fate of the entire European Union is about” (MIMS, 2015). A bitcoin tem sido até mesmo relacionada ao ouro como a nova de forma de proteção do capital em um cenário cada vez mais envolto pela tecnologia e computação (CASEY, 2015).

O mesmo fenômeno de valorização da bitcoin devido às incertezas sobre o futuro econômico de países em crise também pode ser visualizado durante a crise financeira que acometeu o Chipre (*Cyprus*) em 2013. O efeito dominó causado pela crise do *subprime* nos Estados Unidos levou países europeus a situações complicadas e o Chipre, além da Grécia, Espanha, Portugal e Irlanda, foi também financeiramente afetado.

Gráfico 11: Pesquisa no Google em todo o mundo pelos termos “cyprus” e “bitcoin” em relação ao comportamento do preço da moeda no mesmo período. Janeiro 2013 - Julho 2013.



Fonte: Base de dados sobre buscas na internet disponível pela ferramenta *Google Trends* disponível em: <<https://www.google.com/trends/>> e cotação da bitcoin (*Weighted Price*) disponível em: <<http://bitcoincharts.com/>>.

O Gráfico 11 mostra a procura pelos termos “cyprus” e “bitcoin” em todo o mundo durante o primeiro semestre de 2013 em relação a taxa de câmbio da bitcoin em dólares americanos para o mesmo período. Se existe uma verdadeira causalidade e não somente uma coincidência de fatos, é possível visualizar que a crise no Chipre atraiu atenção em todo o mundo, talvez devido aos problemas em retirar o dinheiro dos bancos, uma vez que o Chipre foi reconhecido por muito tempo como um paraíso fiscal. De qualquer forma, nas semanas seguintes ao ápice da crise no Chipre, a busca pelo termo “bitcoin” aumentou consideravelmente, com a taxa de câmbio da bitcoin valorizando e chegando ao seu maior valor histórico na época.

Se a crise no Chipre de fato levou a um aumento da cotação da bitcoin é algo que deve ser mais profundamente analisado. Porém, o conceito da bitcoin como uma moeda alternativa e um possível ativo a

se considerar na necessidade de proteção de capital parece se fortalecer no decorrer dos anos. A especulação com conseqüente aumento da volatilidade do preço da moeda virtual frente a cenários de instabilidade econômica parecem indicar que uma moeda que não pertence a nenhuma empresa, governo ou instituição – controlada apenas por algoritmos e computadores – talvez seja uma alternativa monetária a ser sim considerada.

3.5 CRÍTICAS À BITCOIN

Apesar de o protocolo Bitcoin ser uma tecnologia que foi desenvolvida com a prerrogativa de possibilitar transações monetárias pela internet de uma maneira mais rápida e eficiente, existem fortes críticas em relação ao seu uso. A possibilidade de anonimato das transações em bitcoin, fez com que o comércio ilegal de drogas pela internet fosse a primeira atividade econômica a utilizar da moeda virtual. Lançado em fevereiro de 2011, o website *Silk Road* foi o primeiro mercado negro totalmente online a utilizar bitcoins para a venda de produtos ilícitos. O *Silk Road* reunia compradores e vendedores de drogas que negociavam seus produtos de maneira anônima; e acredita-se que o website tenha circulado aproximadamente 9.519.664 bitcoins (1,2 bilhões de dólares) e obtido faturamento em comissões de 614.305 bitcoins (79,8 milhões de dólares) para o seu criador durante o curto período de atividade²⁴.

O *Silk Road* somente podia ser acessado a partir da chamada *deep web*, ou seja, o website não era acessível através de uma conexão comum à internet, era necessário utilizar o software *TOR (The Onion Router)*, o qual possibilita o não rastreamento do endereço de IP do usuário. O *Silk Road* funcionou até outubro de 2013, tendo existido portanto durante dois anos e oito meses. Apesar de seu criador ter conseguido se manter anônimo durante muito tempo, o FBI conseguiu fechar o website e prender o americano Ross William Ulbricht sob acusação de ser o pseudônimo “*Dread Pirate Roberts*” o fundador do website. Ross Ulbricht antes de seu julgamento declarou que as intenções por trás da criação do *Silk Road* eram puramente ideológicas por acreditar no libertarismo e querer promover um verdadeiro livre

²⁴ Sealed Complaint 13 MAG 2328: United States of America v. Ross William Ulbricht. 27 Set. 2014. Disponível em: <<https://www.cs.columbia.edu/~smb/UlbrichtCriminalComplaint.pdf>>. Acesso em: 10 jul. 2015.

mercado, “Silk Road was supposed to be about giving people the freedom to make their own choices” escreveu Ross em uma carta endereçada à juíza que julgaria o seu caso. Porém, Ross Ulbricht foi condenado em 2015 pela corte federal americana a cinco sentenças para serem servidas ao mesmo tempo, incluindo duas para prisão perpétua, sem possibilidade de liberdade condicional. Apesar do fechamento do *Silk Road* pelas autoridades americanas, outros mercados negros online surgiram, possuindo um volume de negociação maior do que o *Silk Road* possuía na época em que foi fechado (WOOLF, 2015).

Christin (2012) foi um dos primeiros autores a elaborar um estudo profundo em relação ao funcionamento do *Silk Road*, ao recolher dados do website durante seis meses consecutivos entre 2011 e 2012. O autor em conjunto com o laboratório *Cylab* da *Carnegie Mellon University* rastreamos grande parte do conteúdo do website, analisando o tempo de vida médio dos usuários, os produtos vendidos e estimaram o seu possível faturamento. Os dados adquiridos por Christin (2012) foram obtidos de maneira furtiva, ou seja, sem que os controladores do *Silk Road* soubessem de tal estudo. “Through examining over 24,400 separate items sold on the site, we show that Silk Road is overwhelmingly used as a market for controlled substances and narcotics, and that most items sold are available for less than three weeks.” (CHRISTIN, 2012, p. 1). Depois que o *Silk Road* foi fechado, os dados reais do website divulgados pelo FBI se mostraram de acordo com os estudos do autor.

Durante o início do desenvolvimento do protocolo Bitcoin, muitas das empresas a oferecer serviços financeiros com bitcoin possuíam modelos de negócios ruins e falta de segurança digital. Vários foram os casos de empresas que operavam como *exchanges*, ou seja, empresas que trocavam bitcoins para dólares, euros e outras moedas nacionais, que tiveram seus bancos de dados invadidos por *hackers*, levando consequentemente a perda das bitcoins dos clientes. Lee (2011), Bradbury (2013) e Greenberg (2015) citam exatamente os casos de ataques de hackers contra *exchanges*, mostrando que o prejuízo desses ataques chegam a muitos milhares de dólares. O caso mais emblemático de falha aconteceu em 2014, onde a *exchange Mt.Gox* (pronúncia *Mount Gox*) – até então a *exchange* com maior volume de negociações em bitcoins para outras moedas no mundo – sofreu inúmeros ataques durante os anos em que operou levando a um prejuízo de aproximadamente 500 milhões de dólares em bitcoins roubadas por *hackers* e consequentemente a bancarrota da empresa (MCMILLAN, 2014). O furo na segurança digital da *Mt.Gox* atraiu grande atenção da

mídia e levou a ampliação do debate sobre a regulamentação deste novo formato monetário digital, fazendo com que bancos centrais e outros órgãos governamentais discutissem sobre as *cryptocurrencies* e como regulamentá-las.

Apesar de o protocolo Bitcoin funcionar de forma descentralizada, a utilização da tecnologia da *block chain* e mecanismos de segurança *proof-of-work* se mostraram robustos o suficiente, ou seja, ataques de *hackers* não conseguiram afetar o seu funcionamento, alterar transações ou roubar moedas do núcleo do sistema. Porém, o protocolo Bitcoin funciona utilizando chaves assimétricas, logo a fragilidade do sistema depende da segurança que o usuário final possui no equipamento eletrônico em que manipula a sua chave-privada contendo a posse das bitcoins. O protocolo Bitcoin é robusto e seguro, mas o computador ou dispositivo móvel do usuário normalmente não é. Dessa forma, como as chaves-privadas contendo bitcoins ficam em posse das pessoas que as possuem, as quais em sua maioria não possuem hábitos ou conhecimentos de segurança digital, inevitavelmente suas moedas virtuais estarão em risco de serem furtadas.

3.6 O IMPACTO DA BITCOIN SOBRE POLÍTICAS DE BANCOS CENTRAIS

A discussão a respeito dos impactos que a tecnologia promovida pelo protocolo Bitcoin poderá causar na economia ainda é muito recente e não foi abordada na literatura convencional dentro da teoria econômica até o momento, muito pelo fato de ainda ser um conhecimento de nicho e devido aos seus efeitos reais na economia ainda serem pequenos. Porém, algumas teorias em relação à competição monetária que a bitcoin poderá causar em relação a outras moedas nacionais já estão sendo discutidas. Krawisz (2014) definiu o efeito que a bitcoin poderá ocasionar com o nome de *hyperbitcoinization*, uma analogia com certo grau de ironia ao fenômeno da *hyperinflation* (hiperinflação). Segundo o autor, pelo fato de a bitcoin ser uma moeda transacionada pela internet de forma descentralizada, o controle sobre capitais por parte do governo se torna muito difícil neste ativo, logo a bitcoin consegue facilmente penetrar em qualquer país sem passar por qualquer câmara de compensação do sistema financeiro. Tendo em vista um cenário futuro onde a bitcoin terá atingido níveis de estabilidade, a migração por parte de indivíduos que possuam uma moeda em crise para a bitcoin pode se tornar muito mais fácil e preferível a uma migração, por exemplo, para o dólar como acontece nos dias de hoje.

Segundo Rochard (2014), o fenômeno de uma possível *hyperbitcoinization* seria alcançado através de ataques especulativos utilizando a bitcoin como instrumento. O exemplo utilizado pelo autor ilustra um país onde houvesse um crescimento da demanda por bitcoins, seja por causa de uma crise cambial na moeda nacional ou outras motivações, que levariam desse modo a um aumento do preço doméstico da bitcoin em relação a outros países no mundo. Por exemplo, se a demanda por bitcoins aumentasse na Índia fazendo com que o seu preço subisse para 600\$ enquanto nos Estados Unidos o preço fosse de 500\$ por bitcoin, existiria um incentivo de realizar um ganho de arbitragem, ou seja, comprar bitcoin nos Estados Unidos e vender na Índia realizando um lucro de 100\$. Em seguida, os especuladores venderiam as Rúpias indianas para dólar e reiniciariam o processo, fator que levaria a um gradativo enfraquecimento da Rúpia indiana frente ao dólar e demais moedas nacionais. Logo, existiriam dois fenômenos ocorrendo e colaborando para o enfraquecimento da Rúpia: de um lado uma demanda interna com indivíduos convertendo suas Rúpias para bitcoin; e de outro, especuladores procurando obter ganhos de arbitragem devido à diferença entre o preço doméstico e o estrangeiro, intensificando a desvalorização da Rúpia indiana. Porém, como identificado por Rochard (2014),

Bitcoins will have to reach certain threshold of liquidity, indicated by a solid exchange in every financial center and a real money supply – i.e. market cap – of at least \$50 billion, before they can be used as an instrument in a speculative attack. This will either coincide with or cause a currency crisis.

A elaboração de estratégias de controle se mostram importantes pelo fato de a bitcoin poder vir a se tornar uma moeda transacionada em grandes magnitudes por outras moedas no mercado internacional. Como discutido anteriormente, o FMI possui entre seus objetivos, prezar pela estabilidade da taxa de câmbio entre nações, através dos acordos advindos do *Articles of Agreement* (PLASSARAS, 2013). Porém, o sistema de quotas do FMI compete somente aos países membros, logo o FMI não possuiria reservas em bitcoin para salvar bancos centrais que estivessem sofrendo um futuro ataque especulativo que utilizasse a bitcoin como instrumento. Os bancos centrais sozinhos também não conseguiriam resolver o problema, a menos que possuíssem bitcoin em

suas reservas de moeda estrangeira, mas caso a sua quantidade de reserva não fosse suficiente para conter o ataque especulativo, não haveria a quem recorrer. A questão se torna ainda mais complicada ao se analisar as regras atuais do FMI, pois mesmo se fosse realmente necessário, a bitcoin não poderia se tornar um membro no sistema de quotas, pois este sistema é limitado apenas para nações. Como colocado por Plassaras (2013, p. 19),

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.

Dada a inabilidade dos países em adquirir bitcoins para contrapor um ataque especulativo, a única alternativa seria a elevação da taxa de juros, tentando elevar os custos dos especuladores além do que havia sido previsto, forçando-os a diminuir suas posições. Porém, a elevação da taxa de juros é uma política contracionista podendo levar a economia a uma recessão e baixo crescimento. Desse modo, os efeitos da competição monetária ocasionada pela bitcoin se mostram diferentes, de um lado devido às suas especificidades como meio de pagamento que tem gradativamente atraído demanda, e do outro por ser uma unidade monetária que possui uma infraestrutura tecnológica diferente das moedas nacionais.

In an extreme case, virtual currencies could have a substitution effect on central bank money if they become widely accepted. The increase in the use of virtual money might lead to a decrease in the use of “real” money, thereby also reducing the cash needed to conduct the transactions generated by nominal income. In this regard, a widespread substitution of central bank money by privately issued virtual currency could significantly reduce the size of central banks’ balance sheets, and thus also their ability to influence the short-term interest rates (EUROPEAN CENTRAL BANK, 2012, p. 35).

A possibilidade de moedas virtuais competirem com moedas nacionais é um risco real, que inevitavelmente ocorrerá caso moedas como a bitcoin gradativamente ganhem espaço nas transações. Por ser um formato monetário ainda novo, a utilização do protocolo Bitcoin perante o público ainda é relativamente baixo quando comparado com outros métodos de transações eletrônicas. Apesar disso, como ilustrado anteriormente pelo Gráfico 5, as transações realizadas em bitcoin estão crescendo, levando a intensas suposições de como moedas virtuais influenciarão o futuro.

Em relatório emitido pelo *Bank of England*, Ali et al. (2014b) enfatizam que as moedas virtuais não possuem no momento o poder de afetar a estabilidade monetária e financeira da região. “At present, digital currencies do not pose a material risk to monetary or financial stability in the United Kingdom” (ALI et al., 2014b, p. 8). Mesmo assim, os autores destacam que a partir do momento em que um grupo de pessoas começar a transacionar em grande quantidade uma moeda alternativa, onde dependendo da conexão que estas pessoas possuam em relação a toda a população, isto poderá levar a diminuição do poder do banco central em influenciar a demanda por moeda nacional.

if digital currency payments were concentrated among a small number of people that sought to transact as far as possible in that currency, then that would amount to a fragmentation of the UK economy. Depending on the trade links between those people and the rest of the population, the Bank’s ability to influence demand within that subset of people may potentially be reduced. (ALI et al., 2014b, p. 9)

Os impactos que as moedas virtuais podem causar sobre a estabilidade econômica abrangem vários aspectos. Por um lado uma moeda alternativa, que opera fora do sistema bancário convencional, oferece à população de países em crise financeira a capacidade de proteger capital contra medidas inesperadas de austeridade, ou mesmo a continuidade de uma crise financeira com o surgimento de uma política insustentável, evitando, por exemplo, uma “corrida aos bancos” frente ao medo de seus fundos ficarem presos ou serem comprometidos em caso de falências. Por outro lado, no caso de aumento massivo da sua utilização dentro de um país, existe o risco de as moedas virtuais diminuir a habilidade dos bancos centrais em influenciar a economia

através de políticas monetárias, apesar de este fenômeno ainda não ter sido verificado em nenhuma economia empiricamente.

A Bitcoin tem o potencial de aumentar e transformar o comércio de uma maneira diferente, pelo fato de ser o primeiro sistema de pagamentos descentralizado em formato de protocolo para funcionar pela internet. No mesmo sentido, por facilitar o comércio eletrônico, as moedas virtuais também foram utilizadas para mercados ilegais, dando origem a websites como o *Silk Road* por exemplo, demonstrando que esta tecnologia independe de leis, funcionando como um papel-moeda em meio eletrônico.

O uso de bancos de dados descentralizados através da tecnologia da *block chain*, pode promover uma redução nos custos de transações, o que tende a aumentar a eficiência dos mercados financeiros, uma vez que as transações não mais precisam ser compensadas por terceiros e passar por bancos de dados centralizados de várias organizações e empresas, além de fomentar a concorrência neste segmento. A redução dos custos de transação e a possibilidade de a bitcoin poder ser aceita independentemente de qualquer discricção, faz com que a moeda virtual possa atingir lugares e povos que normalmente estiveram à margem do sistema bancário internacional. A classe dos *unbanked*²⁵ pode se beneficiar desta inovação tecnológica devido à facilidade de uso e baixa burocracia necessária para aceitá-la, fazendo com que os custos sobre remessas internacionais para países subdesenvolvidos seja reduzido.

Muitos autores, como Coletti (2015) e Evans (2014) e Kosner (2015), tem apontado que talvez a verdadeira inovação gerada pelas *cryptocurrencies* não seja a característica de moeda em si, mas sim a tecnologia da *block chain* por trás disso, que através de bancos de dados descentralizados e força computacional consegue permitir o consenso sobre dados sem a necessidade de intermediadores. A possibilidade de utilizar a *block chain* para a transferência de outros valores que não apenas monetários, como contratos ou títulos mobiliários e imobiliários, pode fornecer um novo paradigma para as negociações.

The fast-changing technological infrastructure of financial transactions, including nonbank finance, digital currencies, peer-to-peer lending and crowd-funding present a challenge to the monetary policies of the Federal Reserve and

²⁵ Veja Chaia (2009).

other top central banks, says Randall Kroszner, a former Fed board governor (COSTA, 2015).

O aprimoramento da tecnologia poderá afetar o comportamento de bancos comerciais e bancos centrais no futuro. Costa (2015) descreve que existe um crescente aumento no número de empresas não-bancárias ofertando serviços financeiros nos Estados Unidos, principalmente empresas de tecnologia que têm desenvolvido sistemas, programas e aplicativos que pretendem facilitar transações financeiras. Segundo Kroszner (2015) os avanços na computação em conjunto com a internet desempenham um papel cada vez mais importante na economia, podendo levar a mudanças significativas nos tradicionais canais de transmissão de políticas monetárias. O termo *FinTech*, derivado do conceito em inglês denominado *Financial Technology*, começa a ganhar espaço ao representar esta nova linha de negócios focados no desenvolvimento de *softwares* para serviços financeiros. Uma vez que mais empresas desenvolvam produtos e serviços que visem aumentar a eficiência do sistema financeiro, a fatia de mercado que por muito tempo esteve sob domínio dos bancos comerciais começará a se tornar mais diversificada, levando possivelmente a alterações na transmissão de políticas monetárias. Um sistema de *peer-to-peer lending*, onde uma pessoa pode emprestar dinheiro para a outra diretamente cobrando uma taxa juros acordada entre as partes, poderá um dia modificar os efeitos sobre o canal de transmissão do crédito por exemplo.

With the potential for disruptive innovation in banking and payments, regulators and central banks will need to understand how these changes affect the cost-benefit trade-offs of their micro- and macro- prudential regimes – possibly driving activity out of the traditional banking sector – and disrupting the traditional channels of impact of monetary policy on the economy (KROSZNER, 2015, p. 15).

As colocações de Kroszner (2015) são apenas especulações sobre o futuro, mas que possuem implicações reais. O poder que a tecnologia possui em modificar as relações econômicas é verdadeira, dessa forma, as suposições do autor se mostram realistas. Além disso, por virem de alguém que possuiu cargos importantes no *Federal Reserve*, tais suposições possuem certa credibilidade.

I think we will see a transformation of many banking firms from being seen as primarily “financial” to being primarily about technology/data analytics, that is, a technology and data analytics firm engaged in financial services rather than a financial services firm engaged in using technology and data analytics (KROZNER, 2015, p. 15).

Os processos de dolarização que acometeram economias durante o século XX poderão ser substituídos por um processo de substituição monetária para moedas virtuais. Se em algum momento a bitcoin atingir um menor nível de volatilidade, além de uma maior aceitação perante o público e uma regulação mais clara por parte dos bancos centrais, indivíduos poderão, em momentos de incerteza econômica, migrar para este formato de moeda. Além disso, as possíveis inovações a serem criadas a partir do protocolo Bitcoin, poderão um dia aumentar a demanda pela moeda, não frente a uma necessidade de proteger capital devido a uma crise financeira, mas sim pelas características de redução de custos e rapidez na execução de transações.

A interpretação de que a bitcoin não pertence a nenhuma nação ou empresa específica, e que seu funcionamento está distribuído pelo mundo, pode fortalecer o conceito de que a bitcoin é uma moeda global ou que pelo menos independe dos resultados de determinada economia em questão. Pelo fato de a moeda virtual não estar atrelada a uma região específica, as variáveis econômicas que afetam o seu valor ficam menos claras. Uma crise econômica no Brasil afetaria diretamente a moeda utilizada em solo nacional, no caso o Real, pelo fato de a moeda nacional estar diretamente ligada aos acontecimentos econômicos que afetam a nação, principalmente através das políticas monetárias adotadas. Porém, os efeitos sobre a bitcoin seriam menos diretos, pois a moeda está distribuída entre várias regiões, logo os impactos econômicos aconteceriam de forma indireta. A bitcoin está sujeita a risco sistêmico e não a risco idiossincrático, ou seja, somente fatores globais afetariam a moeda virtual, uma vez que acontecimentos de países periféricos não a influenciaram.

Além das características digitais da moeda, o seu desprendimento de uma nação específica, fazem com que a bitcoin possa vir a se tornar um ativo de referência, uma *commodity* sintética utilizada como base para diversas situações (SELGIN, 2013). A fuga para o ouro, um caso comum em momentos de incerteza econômica,

poderá no futuro ser substituída para a uma fuga para moedas virtuais, em decorrência da facilidade que tais meios de pagamentos possuem para serem transferidos ou acumulados. A emissão monetária predefinida pelo código do protocolo Bitcoin faz com que a moeda seja imune a decisões políticas, ou seja, a sua oferta monetária segue uma regra matemática que possivelmente nunca será modificada. Como a regra é predefinida e de conhecimento de todos, os riscos envolvidos com informação assimétrica em relação ao comportamento da oferta monetária perante o público são reduzidos, pois todos sabem exatamente quantas bitcoins existirão no futuro, e este comportamento não poderá ser modificado por uma mudança de governo, ajuste econômico ou crise financeira.

As implicações a respeito do futuro da competição monetária entre moedas nacionais e virtuais começam a evoluir de um ambiente puramente teórico para se tornarem gradativamente passíveis de ocorrer. Porém, apesar de o protocolo Bitcoin possuir um funcionamento e infraestrutura diferentes dos sistemas de pagamentos utilizados para moedas nacionais, os impactos da bitcoin contra uma moeda nacional se dará pela sua função como moeda e não por sua tecnologia ser diferente. Tanto Ali et al. (2014b), quanto Kroszner (2015) e Plassaras (2013) explicam que a bitcoin ainda não foi utilizada em larga escala em nenhum país a ponto de oferecer riscos de diminuição do poder de execução de políticas monetárias de um banco central, mas que esta possibilidade não pode ser descartada no futuro, pois não se sabe até que ponto a bitcoin será incorporada pela população, empresas ou governos na execução de transações.

Como colocado pelo Bank for International Settlements (2015), a tecnologia por trás do protocolo Bitcoin pode desafiar os bancos centrais não por causa da emissão de unidades monetárias alternativas, mas sim porque o protocolo torna a necessidade de existir um banco central redundante.

The emergence of distributed ledger technology could present a hypothetical challenge to central banks, not through replacing a central bank with some other kind of central body but mainly because it reduces the functions of a central body and, in an extreme case, may obviate the need for a central body entirely for certain functions (BANK FOR INTERNATIONAL SETTLEMENTS, 2015, p. 17).

Pelo fato do protocolo Bitcoin através da tecnologia da *block chain* gerenciar todas as transações, emitir moedas e manter o sistema seguro, tudo por código de programação; a necessidade de existir um corpo central que controle o sistema bancário e financeiro, hoje representado pelo banco central, pode até mesmo deixar de existir. Isto levanta a questão de como os bancos centrais responderão com o crescente aumento de sistemas de pagamentos descentralizados para a execução de transações. Os bancos centrais poderiam até mesmo utilizar desta nova tecnologia para a emissão de moedas dentro de seus próprios sistemas, pois as reservas dos bancos centrais já são eletrônicas, ou seja, são dígitos em um banco de dados, logo, utilizar um sistema distribuído inspirado no protocolo Bitcoin poderia reduzir custos e aumentar a eficiência dos mercados financeiros.

A redução de custos e rapidez na execução de transações são características que podem atrair e fortalecer a demanda pela moeda virtual, mas os impactos que a bitcoin poderá causar na economia prevalecem por ela executar as mesmas funções de uma moeda nacional, funcionando desse modo como uma moeda concorrente. A questão principal em torno da bitcoin, que tem gerado debates a nível mundial, é se este novo formato monetário poderá um dia se tornar forte o suficiente a ponto de interferir em políticas econômicas, ou seja, que a sua utilização pelo público cresça em uma magnitude grande o suficiente de forma que a moeda nacional de determinado país não seja mais uma referência na determinação dos preços dentro desta economia. Em um cenário extremo como este, a habilidade do banco central em influenciar a economia através de políticas monetárias também poderá ser afetada.

4 ANÁLISE EMPÍRICA UTILIZANDO MODELO BASEADO EM AGENTES

A utilização de modelagem computacional baseada em agentes, mais conhecida pelo termo em inglês *agent-based model* (ABM), é uma ferramenta utilizada por diversas áreas da ciência e que permite explorar características e detalhes de sistemas complexos. Este tipo de análise é um fenômeno relativamente recente, que tem se desenvolvido junto com o avanço computacional das últimas décadas. A modelagem com agentes se difere em alguns aspectos da modelagem tradicional baseada em equações, pois algumas variáveis dependem da interação entre os agentes que compõem este sistema, ao invés de serem estabelecidas por uma regra ou planejamento central expressa na forma de equação.

Autores como Macal e North (2010), descrevem que uma das principais características que define um modelo baseado em agentes é o fato de os agentes possuírem a capacidade de agir de forma autônoma, ou seja, tomar decisões independentes para atingir o objetivo para o qual foram programados. Assim, o agente é um indivíduo que pode ser unicamente identificável, que possui regras para o seu comportamento e toma decisões com base em informações próprias ou que tenham origem na interação com outros agentes. O agente possui um *estado* que muda no decorrer do tempo, este estado representa as variáveis que caracterizam este agente em particular, ou seja, no modelo exposto nesta pesquisa, o estado de um agente pode ser a escolha por moeda que este define: moeda nacional, moeda estrangeira ou bitcoin.

Os modelos baseados em agentes são muito importantes para testar hipóteses e situações que são difíceis de testar com modelos baseados em equações. A possibilidade de criar um ambiente onde vários agentes com estados diferentes interagem e trocam informações, permite uma análise mais profunda sobre determinados fenômenos, pois em modelos baseados em equações normalmente é utilizado um agente representativo, o que limita possíveis resultados. As diferentes simulações que podem ser realizadas com modelos baseados em agentes, dadas as diferentes calibrações e condições iniciais, permitem explorar vários resultados e obter conclusões para cenários com características diferentes.

Para analisar mais profundamente os possíveis impactos que uma moeda virtual com as características da bitcoin poderia causar na economia e mais precisamente em relação às políticas monetárias de bancos centrais, foi desenvolvido nesta dissertação um modelo

computacional baseado em agentes que interpreta tal fenômeno. Utilizando como metodologia um modelo de propensão à escolhas com motivações sociais, no qual agentes heterogêneos ao tomarem decisões sobre sua escolha de moeda impactam a economia em um nível macro.

Apesar de definidas as preferências, incentivos e escolhas dos agentes econômicos, os mesmos não possuem absoluta previsibilidade sobre os possíveis efeitos das suas atitudes. De maneira que se faz necessariamente uma análise estocástica do seu comportamento. Pelo fato de variáveis aleatórias fazerem parte na determinação da escolha dos agentes de forma individual, o resultado é uma teoria probabilística de escolha. Contudo, os agentes em nenhum momento são irracionais em suas decisões, estes escolhem coerentemente dadas suas preferências.

Modelos que exploram a auto-organização tiveram origem em estudos sobre Física Estatística do Paramagnetismo, que procuravam explicar como a propriedade magnética de partículas inicialmente heterogêneas podiam emergir espontaneamente ao interagirem localmente. Estudos aplicados à Economia foram desenvolvidos por Durlauf (1997) e Brock e Durlauf (2001), que desenvolveram uma nova perspectiva e ferramenta em relação à interação de agentes com motivações sociais e institucionais. Train (2003) explorou ao fundo modelos de escolhas discretas com carácter probabilístico, como uma forma de analisar simulações econômicas. Assim, agentes econômicos ao combinarem os seus incentivos pessoais ou idiossincráticos com os incentivos coletivos de uma vizinhança, levam à auto-organização daquela sociedade, fornecendo um arcabouço teórico para análises macroeconômicas que envolvem dinâmicas sociais de escolha.

A necessidade do agente em se adequar aos incentivos coletivos da sua vizinhança socioeconômica, ao levar em consideração as estratégias e escolha dos demais agentes, faz com que esta abordagem seja ideal para a análise da competição monetária. A decisão do agente sobre qual moeda utilizar, dada a sua escolha individual, variáveis macroeconômicas e a escolha dos demais agentes da sociedade, faz com que este modelo consiga representar a dinâmica de escolha em que os indivíduos se deparam no mundo real.

O modelo a seguir possui inspirações em Brock e Durlauf (2001), mas também em Freitas (2003), Veloso (2011), Silva (2012) e Giovannini (2014) que aplicaram esta metodologia em suas análises. Nas próximas seções será apresentado como se dá o funcionamento de um modelo de escolhas ternárias com carácter probabilístico que representará o bloco microeconômico. Em seguida será explorado um modelo

macroeconômico com origem em Silveira e Lima (2013) que representa um banco central ao realizar política monetária. A interação entre o bloco microeconômico e o macroeconômico gera uma dinâmica que representa o funcionamento de uma economia.

4.1 MODELO DE ESCOLHA TERNÁRIA SEM EFEITO DE REDE

De forma a interpretar a escolha dos agentes, utiliza-se um modelo de escolha discreta com campo de escolha ternário, a fim de definir a escolha de moeda que cada um destes agentes possui. Cada agente, a cada período, pode escolher entre três alternativas mutuamente excludentes: a moeda nacional, a moeda estrangeira ou a moeda virtual bitcoin. Os agentes escolhem qual moeda utilizar para transação de acordo com o custo que esta moeda possui para ele. Uma moeda nacional, por exemplo, que esteja sofrendo de um processo inflacionário, eleva os custos de utiliza-la, fazendo os agentes escolherem outra opção disponível que possua um menor custo de transação. Assim, para entender a propensão com que um agente i se defronta ao ter que escolher entre três opções alternativas definidas por -1 , 0 e 1 , é estabelecida a seguinte função:

$$V(w_i) = u(w_i) + \varphi_i(w_i), \quad (4.1)$$

com o termo $u(w_i)$ representando a parte dos determinantes identificáveis da escolha do agente i quando este escolhe w_i e $\varphi_i(w_i)$ uma parte aleatória.

No presente modelo $w_i = -1$ representará a escolha pela moeda nacional, $w_i = 0$ a escolha pela moeda estrangeira e $w_i = 1$ a escolha pela moeda virtual bitcoin. Dessa forma, o termo $u(w_i)$ representa a parte totalmente mensurável da escolha do agente, representando especificamente o custo de transação envolvido pela utilização daquela moeda. O cálculo do custo de transação por sua vez é definido levando em consideração variáveis mensuráveis como inflação e custos de obtenção da moeda (impostos, corretagens e taxas). Logo, o termo $u(w_i)$ define valores onde não há incerteza por parte do agente, ou seja, valores que são devidamente mensuráveis. Por outro lado, o termo $\varphi_i(w_i)$ representa a decisão pessoal ou idiossincrática do agente em relação a w_i , caracterizando assim a parte probabilística da decisão de escolha.

Dado o campo de escolha e a função utilidade do agente, a tomada de decisão de um agente i maximizador de utilidade $w_i \in \{-1, 0, 1\}$ será ótima caso:

$$V(w_i) \geq V(w'_i), \forall w'_i \in \{-1, 0, 1\}. \quad (4.2)$$

Usando (4.1), o critério de escolha (4.2) pode ser reescrito da seguinte forma,

$$u(w_i) + \varphi_i(w_i) \geq u(w'_i) + \varphi_i(w'_i), \forall w'_i \in \{-1, 0, 1\}, \quad (4.3)$$

ou seja,

$$u(w_i) - u(w'_i) \geq \varphi_i(w'_i) - \varphi_i(w_i), \forall w'_i \in \{-1, 0, 1\}. \quad (4.4)$$

Conseqüentemente, a opção w_i será uma escolha ótima para todos os agentes caso o benefício líquido da parcela observável da função utilidade relacionada a esta escolha, dado por $u(w_i) - u(w'_i)$, não seja menor que o benefício líquido não observado que o agente associa às demais escolhas $w'_i \in \{-1, 0, 1\}$. Através desta análise, mesmo que a utilidade observada de uma estratégia w_i seja maior que as utilidades observadas das outras duas estratégias, não segue necessariamente que a estratégia w_i será escolhida pelo agente i , uma vez que os incentivos não observáveis de pelo menos uma das outras duas alternativas pode ser forte o suficiente de tal forma que a torne mais atrativa do que a estratégia w_i . Assim utilizando (4.2) e (4.4), dado o componente aleatório presente na decisão do i -nésimo agente, é possível estabelecer a probabilidade com que este agente escolha a estratégia $w_i \in \{-1, 0, 1\}$:

$$\begin{aligned} Prob(w_i) &= Prob(V(w_i) \geq V(w'_i) \forall w'_i), \\ &= Prob(\varphi_i(w'_i) - \varphi_i(w_i) \leq u(w_i) - u(w'_i) \forall w'_i), \\ &= \int_{-\infty}^{\infty} I[\varphi_i(w'_i) - \varphi_i(w_i) \leq u(w_i) - u(w'_i) \forall w'_i] f(\vec{\varphi}_i) d\vec{\varphi}_i, \end{aligned} \quad (4.5)$$

em que $f(\vec{\varphi}_i)$ é a função densidade de probabilidade conjunta do vetor de variáveis aleatórias, sendo $\vec{\varphi}_i = (\varphi_i(w_i = -1), \varphi_i(w_i = 0), \varphi_i(w_i = 1))$ e $I[\cdot]$ uma função indicadora, igual a 1 se a desigualdade entre colchetes for verdadeira e zero caso contrário.

Uma forma de interpretar a expressão (4.5) é supor que um determinado agente i tenha escolhido $w_i = -1$ por mais que aparentemente sua parte determinística indicasse que $w_i = 0$ fosse “melhor”, ou seja, $u(0) > u(-1)$. Isto indica que os incentivos não-observáveis foram mais fortes a ponto de levar à escolha de $w_i = -1$ ao invés de $w_i = 0$. Em termos líquidos os incentivos implícitos do agente $\varphi_i(-1) - \varphi_i(0)$ se inclinaram para a opção $w_i = -1$, na qual este seria um caso, por exemplo, em que um agente escolhesse uma moeda por mais que o seu custo de transação fosse mais elevado do que as outras disponíveis. A escolha pessoal ou idiossincrática do agente prevaleceu, por mais que a parte determinística indicasse o contrário.

A função exposta em (4.5) é uma função de distribuição acumulada do componente aleatório da função utilidade definida em (4.1). Assim, esta função não determina efetivamente a escolha assumida pelo agente, mas somente a sua propensão à escolha em relação à estratégia $w_i \in \{-1, 0, 1\}$. Contudo, é possível dizer que a propensão à escolha da estratégia w_i torna-se maior à medida que o diferencial dos incentivos observados a favor desta alternativa aumenta, ou seja, as motivações idiossincráticas dos agentes tendem a perder relevância quanto maior o diferencial observado. Em outras palavras, quanto maior forem os incentivos determinísticos, menor será a incerteza a respeito da decisão do agente, de forma que a parte não observável ou idiossincrática $\varphi_i(w_i)$ perde relevância no processo de escolha.

Os diferentes modelos de escolha discreta têm origem a partir de distintas especificações de $f(\vec{\varphi}_i)$. Train (2003), estabelece que a especificação mais simples e amplamente especificada é a que dá origem ao modelo *logit*.

O modelo aqui proposto é derivado supondo-se que os componentes aleatórios da função utilidade (4.1) associados às alternativas $\{-1, 0, 1\}$ são variáveis aleatórias independentes e com a mesma distribuição de probabilidades de valores extremos, de forma que a função de densidade de probabilidade para cada componente aleatório $\varphi_i(w_i)$ é conhecida como uma distribuição do tipo Gumbel (ou de valor extremo tipo I) definida por:²⁶

²⁶ O termo β pode assumir valores distintos dependendo do modelo em análise, Silva (2012) assume um valor qualquer desde que $\beta > 0$, outros autores como Giovanini (2014) utilizam $\beta = 2,5$.

$$f(\varphi_i(w_i)) = \beta e^{-\beta\varphi_i(w_i)} e^{-e^{-\beta\varphi_i(w_i)}}, \quad (4.6)$$

sendo $\beta > 0$ uma constante real.

A função de distribuição acumulada associada à função (4.6) é dada por:

$$F(\varphi_i(w_i)) = e^{-e^{-\beta\varphi_i(w_i)}}. \quad (4.7)$$

Assim, com base nas equações (4.6) e (4.7), a integral anteriormente definida em (4.5) torna-se uma função de distribuição acumulada logística, como explorado por Train (2003):

$$Prob(w_i) = \frac{e^{\beta u(w_i)}}{e^{\beta u(w_i)} + e^{\beta u(w'_i)} + e^{\beta u(w''_i)}} = \frac{1}{1 + e^{-\beta[u(w_i) - u(w'_i)]} + e^{-\beta[u(w_i) - u(w''_i)]}}, \quad (4.8)$$

na qual as variáveis w_i , w'_i e w''_i representam as três alternativas distintas de opções de moeda.

Quanto menor o valor assumido pelo parâmetro β , maior será o peso dos incentivos não observáveis sobre a propensão à escolha da alternativa w_i pelo agente, ou seja, mais incerta será a decisão do agente i do ponto de vista do observador. Em outros termos, quando $\beta \rightarrow 0$ tem-se que $Prob(w_i) \rightarrow \frac{1}{3}$, ou seja, a probabilidade torna-se igual para todas as três escolhas, independente dos valores observados das utilidades determinísticas. Da mesma forma, quando $\beta \rightarrow \infty$, $Prob(w_i) \rightarrow 1$ se $u(w_i) > u(w'_i), \forall(w'_i) \neq w_i$, em outras palavras, a alternativa que apresentar a maior utilidade determinística será quase certamente a escolhida caso β seja suficientemente grande.

4.2 MODELO DE ESCOLHA TERNÁRIA COM EFEITO DE REDE

O agente ao definir qual será sua escolha de moeda para a realização de uma transação deve levar em consideração o ambiente social em que esse agente se encontra, ou seja, é necessário calcular a externalidade de rede que envolve a decisão de todos os agentes dentro daquela sociedade. Um agente que escolheu uma moeda em particular,

que apenas poucos agentes estariam inclinados a utilizá-la, raramente conseguiria realizar uma transação, dessa forma os agentes procuram definir sua escolha de moeda levando também em consideração a decisão dos demais agentes.²⁷

Seguindo a metodologia exposta por Durlauf (1997) e Brock e Durlauf (2001), que utilizaram estratégias de modelagem oriundas da Física Estatística, o comportamento dos agentes depende da sua vizinhança. O agentes que compõem o modelo possuem interações comportamentais, de maneira que a tomada de decisão por um indivíduo pode apresentar algum tipo de vínculo com a decisão dos outros agentes que interagem naquela sociedade.

Como forma de capturar tal externalidade de rede, desagrega-se o componente definido na função utilidade (4.1), de forma que

$$V_i(w_i; \vec{w}_i^e) = u(w_i) + S(w_i, \vec{w}_i^e) + \varphi_i(w_i). \quad (4.9)$$

A inclusão da nova variável $S(w_i, \vec{w}_i^e)$, que representa o efeito da externalidade de rede sobre a decisão de escolha, permite analisar a decisão do agente em relação à sociedade que o engloba, onde o termo \vec{w}_i^e representa a percepção que o agente i possui em relação aos demais agentes que o influenciam em relação à alternativa $w_i \in \{-1, 0, 1\}$. Desse modo, a escolha de um agente i por uma moeda leva em consideração a escolha dos demais agentes I , de forma que $\vec{w}_i^e \equiv \{w_j^e\}$, sendo $w_j^e \in \{-1, 0, 1\}$ a escolha de moeda de um agente j . Assim, a probabilidade que um agente i escolha a opção w_i é dada pela função de distribuição acumulada da variável aleatória φ_i :

$$Prob_i(w_i) = \int_{-\infty}^{u^d(w_i) - u^d(w_i') \vee w_i'} f(\varphi_i) d\varphi_i, \quad (4.10)$$

sendo $u^d(w_i) = u(w_i) + S(w_i, \vec{w}_i^e)$.

Levando em consideração que as utilidades $\varphi_i(w_i)$ e $\varphi_i(w_i')$ são independentes e apresentam a mesma distribuição de probabilidade de valores extremos, obtém-se que a propensão à escolha da alternativa w_i pelo indivíduo i é dada por:

²⁷ Lembrando que $w_i = -1$ representa a escolha pela moeda nacional, $w_i = 0$ a escolha pela moeda estrangeira e $w_i = 1$ a escolha pela moeda bitcoin.

$$Prob_i(w_i|\vec{w}_i^e) = \frac{1}{1 + e^{-\beta[u^d(w_i)-u^d(w_i')]} + e^{-\beta[u^d(w_i)-u^d(w_i')]'}}. \quad (4.11)$$

4.3 UM MODELO DE ESCOLHA TERNÁRIA POR MOEDA EM UMA SOCIEDADE

Cada agente possui uma função de utilidade aleatória diferente, logo, a parte determinística $u(w_i)$, a externalidade de rede $S(w_i, \vec{w}_i^e)$ e a parte idiossincrática $\varphi_i(w_i)$ são os componentes que cada agente utiliza para definir sua escolha de moeda. Os termos $u(w_i)$ e $S(w_i, \vec{w}_i^e)$ são observáveis e, conseqüentemente, são iguais para todos os agentes que estejam definindo as suas escolhas no mesmo período t . Porém, o termo $\varphi_i(w_i)$, que simboliza a escolha pessoal e não-observável, é diferente para cada agente i .

Cada agente i em um período t estabelece através de sua função de utilidade aleatória as suas escolhas. Dada a parte determinística $u(w_i)$, que representa os custos de transação observáveis da moeda; e a externalidade de rede $S(w_i, \vec{w}_i^e)$, que representa a magnitude de agentes que estão utilizando cada moeda; os agente tendem a se conformar ao comportamento predominante em sua vizinhança, ou seja, procuram definir suas escolhas de acordo com os outros agentes. Porém, o termo $\varphi_i(w_i)$, que representa a parte idiossincrática da escolha do agente, faz com que sua decisão nem sempre siga a maioria.

Uma das formas de interpretar a interação dos agentes é através da representação de uma rede quadrática ou matricial, a qual representa as interconexões entre os agentes I de uma economia. A rede quadrática permite a divisão dos espaços em células individuais, onde os agentes circulam e interagem uns com os outros. A rede quadrática representa um cenário geográfico simplificado, que permite o pareamento de agentes onde ambos trocam informações, o que fomenta a dinâmica da simulação. No presente modelo, os agentes nesta rede quadrática interagem realizando transações econômicas ao serem pareados com outros agentes que compartilhem da mesma escolha de moeda.

A disposição dos agentes em uma rede quadrática procura representar um cenário onde transações potenciais podem ocorrer. O termo potenciais, decorre do fato de que uma transação somente irá ocorrer caso dois agentes estejam localizados na mesma posição e, além disso, ambos possuam a mesma escolha de moeda. Para definir a posição e conseqüentemente a interação entre os agentes, as matrizes A

e B são criadas, as quais ambas seguem uma ordem quadrática igual a L . Porém, nem todas as células possuem agentes, um pressuposto utilizado para deixar o modelo mais realista. Logo, para cada célula das matrizes A e B existe uma probabilidade P de existir um agente localizado naquela célula e $1 - P$ de não existir agente algum. Assim, as matrizes A e B são criadas com células que possuem valores binários $\{0,1\}$.

Uma matriz C , que representa a soma de $A + B$, cria um ambiente onde existe a possibilidade de intersecções entre agentes, também chamados de *nós* da rede, de forma que suas células possuam valores iguais a 0 onde não há agentes, valores iguais a 1 onde há apenas um agente e valores iguais a 2 nas intersecções que representam dois agentes pareados. Nesta matriz $c_{i,j} = c_{j,i} = 0$ indica que não existe ligação entre i e j , não existindo agentes localizados nestes nós; $c_{i,j} = c_{j,i} = 1$ indica também que não há ligação entre os nós uma vez que existe apenas um agente nesta localização; e $c_{i,j} = c_{j,i} = 2$ indica que os nós i e j possuem conexão, ou seja, dois agentes estão conectados e interagindo.

O pareamento de agentes indica uma possível interação econômica entre as partes. Se ocorre o pareamento, ou seja, dois agentes se encontram no mesmo local; e suas escolhas ternárias por moedas previamente estabelecidas são iguais, então uma transação econômica ocorre. Se um agente i que escolheu a moeda nacional, com sua função de utilidade aleatória pela moeda nacional dada por $V(w_i = -1; \vec{w}_i^e)$; se encontra com um agente j que também escolheu a moeda nacional, logo, ocorre negociação entre as partes. Por outro lado, se um agente i e um agente j que possuem escolhas divergentes são pareados, de forma que $V(w_i = -1; \vec{w}_i^e)$ e $V(w_j = 0; \vec{w}_j^e)$; não ocorrerá negociação entre eles, uma vez que as suas escolhas de moedas não correspondem.

A quantidade de nós na rede que estão conectados indicam quantos agentes possuem ligação, ou seja, indicam exatamente os agentes que dividem a mesma escolha por determinada moeda e no contexto do modelo estão realizando transações.

A cada período t , os agentes atualizam as suas escolhas em relação a cada moeda, trocam de posição na rede quadrática e realizam novas ligações com outros agentes. A rede quadrática em questão pode ser considerada uma *rede aleatória* por possuir ligações que são estabelecidas aleatoriamente. Como a ligação entre os nós da rede acontece de forma completamente aleatória, a rede se caracteriza por possuir um elevado grau de desordem.

O termo $S(w_i)$, que representa o efeito causado pela externalidade de rede sobre a decisão de escolha dos agentes para cada moeda $w_i \in \{-1, 0, 1\}$, denotadas simplesmente por j , é dado por:

$$S(w_i = j) = \frac{\delta}{T} \sum_{\ell=1}^I c_{\ell,j}, \quad (4.12)$$

onde $c_{\ell,j}$ será igual a 1 se o agente $\ell \in \{1, 2, \dots, I\}$ escolheu a moeda j e conseguiu utilizá-la para transação em um determinado período, e 0 caso contrário. Em outras palavras, $c_{\ell,j}$ representa cada agente que escolheu e negociou com a moeda j em um determinado período; δ é uma variável que determina o impacto da externalidade de rede na decisão do agente sendo $0 < \delta < 1$; e a variável T representa o total de transações realizadas pelos agentes incluindo todas as moedas em um determinado período. Assim, a quantidade total de transações realizadas com determinada moeda é definida através da soma de todos os agentes que a utilizaram para transação em um determinado período. Para cada transação, ou agentes pareados na matriz C que possuam ambos a mesma escolha por uma moeda j , o total de transações realizadas com a moeda pode ser definida por,

$$T_j = \sum_{\ell=1}^I c_{\ell,j}. \quad (4.13)$$

O total de transações da economia em simulação é simplesmente a soma de todas as transações realizadas pelos agentes com cada uma das n moedas disponíveis, de forma que,

$$T = \sum_{i=1}^n T_{n,i}. \quad (4.14)$$

Lembrando que nesta economia estão presentes a moeda nacional, moeda estrangeira e a moeda bitcoin, logo o nível de transações totais definido por T é a soma das transações realizadas com cada uma das três moedas disponíveis.

A introdução do termo $S(w_i, \vec{w}_i^\ell)$ em (4.1) permite ao mesmo tempo uma evolução do modelo para algo mais próximo da realidade com uma diminuição da significância dos resíduos. Em termos econométricos, como apontado por Greene (2000), a introdução de

$S(w_i, \vec{w}_i^e)$ equivale a diminuição da autocorrelação dos erros pela inclusão de uma variável anteriormente não observada.

A interação dos agentes a cada período, gera uma dinâmica econômica. A atualização das escolhas de moedas, em conjunto com a troca de posição dos agentes na rede e a incidência aleatória de transações entre as partes a cada período t , simula o funcionamento de uma economia. As utilidades privadas ou a parte determinística de escolha dos agentes são definidas por:²⁸

$$u(w_i = -1) = -\pi_{t-1} - c^N, \quad (4.15)$$

$$u(w_i = 0) = \pi_{t-1} - c^F, \quad (4.16)$$

$$u(w_i = 1) = \pi_{t-1} - c^B, \quad (4.17)$$

onde (4.15), (4.16) e (4.17), representam a utilidade privada da moeda nacional, moeda estrangeira e bitcoin respectivamente. Desse modo, um aumento da inflação em π_{t-1} , com origem na curva de Phillips do modelo macroeconômico que será exposto em seguida, leva a uma diminuição na utilidade da moeda nacional e a um aumento na utilidade das demais moedas em t . Um aumento da inflação em moeda nacional, eleva os custos de reter moeda, ao mesmo tempo em que fornece um incentivo para os agentes utilizarem moedas alternativas. Os parâmetros c^N , c^F e c^B , representam custos fixos, ou seja, possíveis impostos, corretagens ou taxas a serem pagas para transacionar cada moeda.

4.4 MODELO MACROECONÔMICO

Como forma de analisar o comportamento de um banco central ao realizar políticas monetárias em uma economia com bitcoins, a simulação utiliza um modelo macroeconômico de três equações com origem em Silveira e Lima (2013):

$$y_t - y_n = -\varepsilon_t(i_{t-1} - \pi_t^e - r_n), \quad (4.18)$$

$$\pi_t = \pi_t^e + \vartheta(y_t - y_n), \quad (4.19)$$

²⁸ A utilização das siglas N, F e B foram utilizadas quando em referência à alguma variável própria da moeda nacional, estrangeira ou bitcoin respectivamente.

$$\dot{i}_{t-1} = \pi_t^e + r_n + \gamma(\pi_{t-1} - \pi^T). \quad (4.20)$$

Apesar de se tratar de um modelo simples e estilizado, ele possui uma lógica robusta para interpretar o problema em questão. O modelo proposto segue fortes fundamentos microeconômicos e parte da pressuposição de que o banco central segue uma regra para a taxa de juros (4.20) ao levar em conta o comportamento da curva IS (4.18) e de uma curva de Phillips (4.19). Em relação à curva IS, $\varepsilon_t > 0$ é a elasticidade do hiato do produto com relação ao hiato da taxa de juros real esperada, \dot{i}_{t-1} a taxa nominal de juros no período $t - 1$, $\pi_t^e = E_{t-1}[\pi_t]$ a expectativa de inflação em $t - 1$ que vigora no período t e r_n a taxa de juros real natural. A dependência da elasticidade com relação ao tempo será explicada mais adiante. Assim, se a taxa real de juros esperada no período $t - 1$ (que vigorará em t), definida pela diferença $\dot{i}_{t-1} - \pi_t^e$, superar a (ou for superada pela) taxa natural de juros, o produto no período seguinte ficara abaixo (acima) do seu nível natural. Na curva de Phillips, π_t é a inflação observada em t e $\vartheta > 0$ uma constante paramétrica. Já na regra da taxa de juros, $\gamma > 0$ representa uma constante paramétrica e π^T a meta de inflação pré-anunciada pela autoridade monetária.

Algumas simplificações foram realizadas por Silveira e Lima (2013) neste modelo macroeconômico em relação a outros modelos de meta de inflação. Por exemplo, a curva IS não inclui o hiato do produto passado nem o hiato do produto esperado. A curva de Phillips, por sua vez, não inclui a inflação passada. E a regra para a taxa de juros não inclui o hiato do produto (corrente ou esperado) nem a taxa de juros passada, em outras palavras, não ocorre suavização de juros.

A conexão entre a interação microeconômica dos agentes com o modelo macroeconômico acontece através do impacto do juro real no produto, dado pela elasticidade ε_t . Desse modo, quanto menor a demanda real por moeda (e o seu estoque real), menor a potência da política monetária, o que exigiria uma maior oscilação dos juros para estabilizar o produto. Em outras palavras, quanto menor a fração de agentes que fazem uso da moeda nacional, maior deverá ser as mudanças nos juros para impactar o produto. Este fenômeno é explicado pela literatura de transmissão da política monetária, principalmente em relação ao canal de transmissão por intermédio das taxas de juros. Mishkin (1996) e Ireland (2005) abordam esta questão de forma mais detalhada. Além disso, em Kumamoto e Kumamoto (2014) os autores utilizaram de metodologia parecida ao explorar os efeitos da

substituição de moeda na política monetária em mercados financeiros incompletos: “We can see that the higher the degree of currency substitution, the less effect the home nominal interest rate, has on the marginal utility of consumption.” (KUMAMOTO; KUMAMOTO, 2014, p. 28).

Considerando a argumentação anterior, a elasticidade $\varepsilon_t > 0$ pode ser tomada como uma função estritamente crescente da fração de indivíduos que optaram pelo uso da moeda nacional para realizar suas transações em t , denotada por $x_t \in [0, 1] \subset \mathbb{R}$. De forma mais precisa, é assumido a seguinte forma funcional sigmoide para esta função:

$$\varepsilon_t = \frac{2\alpha}{1+e^{-\theta(x_t-\mu)}}, \quad (4.21)$$

na qual $\alpha > 0$ é o valor da elasticidade caso a fração de indivíduos usando a moeda nacional em t atingisse seu valor de inflexão $0 < \mu < 1$, tomado como exogenamente determinado. Em outras palavras, $\varepsilon_t = \alpha$ se $x_t = \mu$. O parâmetro $\theta > 0$ determina a taxa na qual a elasticidade em questão varia com o crescimento da fração x_t .

Ao inserir (4.20) em (4.18) e a função resultante em (4.19) e usando (4.21), o sistema (4.18)-(4.21) pode ser reduzido a:

$$\pi_t = \pi_t^e - \frac{2\alpha\vartheta\gamma}{1+e^{-\theta(x_t-\mu)}} (\pi_{t-1} - \pi^T). \quad (4.22)$$

Assim, além da meta de inflação fixada pela autoridade monetária e da taxa de inflação passada, a taxa de inflação no presente depende diretamente da inflação esperada.

Ao considerar que as expectativas dos agentes possam ser heterogêneas em um período qualquer, a variável π_t^e representa o agregado dessas expectativas. Em um período t qualquer, uma fração $\lambda \in [0, 1] \subset \mathbb{R}$ dos agentes, confia plenamente que a inflação observada será a mesma que a meta anunciada pela autoridade monetária para aquele período. Este agente é denominado de *crédulo*. A fração restante dos agentes $1 - \lambda$, representa os agentes que não acreditam na efetividade da política anunciada pela autoridade monetária, ou seja, são agentes *céticos*, que formam suas expectativas considerando que a inflação observada será diferente da meta de inflação pré-fixada pela autoridade monetária. Formalmente, supomos que a inflação média esperada do grupo de agentes céticos será dada por um desvio em torno

da meta de inflação, ou seja, $\pi^T + (1 - \lambda)e_t$, sendo e_t , uma variável aleatória com distribuição uniforme e média zero. A expectativa de inflação para t , definida no final do período $t - 1$, é uma média ponderada da distribuição de expectativas $(\lambda, 1 - \lambda)$, ou seja:

$$\pi_t^e = \lambda\pi^T + (1 - \lambda)(\pi^T + e_t) = \pi^T + (1 - \lambda)e_t, \quad (4.23)$$

Assim, ao inserir (4.23) em (4.22), define-se o desvio da inflação observada com relação à meta no período t como uma função do respectivo desvio no período anterior e do grau de credibilidade da política monetária:

$$\pi_t - \pi^T = \frac{-2\alpha\theta\gamma}{1 + e^{-\theta(x_t - \mu)}} (\pi_{t-1} - \pi^T) + (1 - \lambda)e_t. \quad (4.24)$$

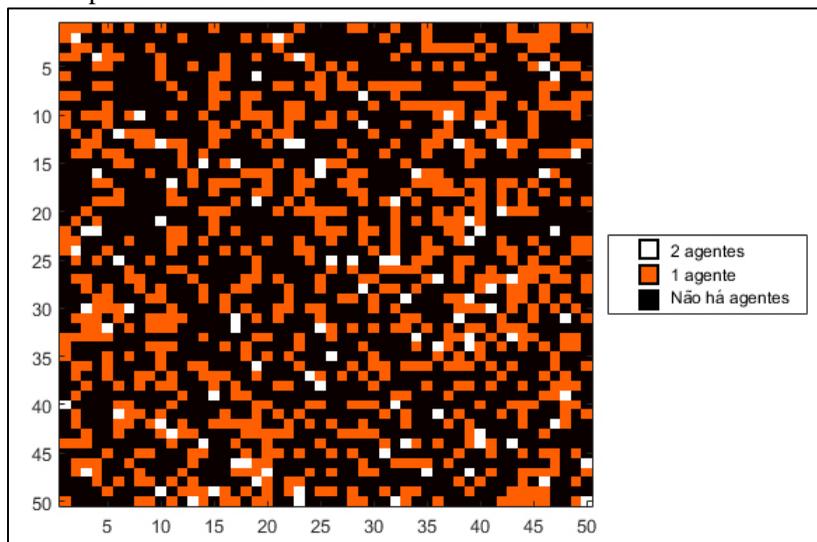
Esta equação em diferenças finitas estocástica sintetiza o bloco macroeconômico, a qual ao interagir com a dinâmica de escolha de moeda e externalidade de rede dos agentes no modelo microeconômico define a evolução da economia. Na seção seguinte está detalhada a implementação computacional do modelo.

4.5 IMPLEMENTAÇÃO COMPUTACIONAL

De forma a simular o modelo proposto nas seções anteriores, foi realizada a programação deste modelo no *software* Matlab, com a motivação de simular um ambiente econômico onde fosse possível entender a interação entre agentes em cenários onde há a possibilidade de substituição monetária. As simulações realizadas tiveram um número de períodos fixado em 500 iterações.

O ambiente da simulação é representado por uma grade bidimensional com lado igual a 50, $L = 50$, dessa forma a dimensão total é dada por 2500 células. Como a quantidade de agentes é definida aleatoriamente dado o valor limitador P , o número de gentes pode ser maior ou menor a cada período. Com $P = 0,2$, o número aproximado é de 1000 agentes dentro do ambiente em simulação a cada período t . A Figura 8 ilustra a disposição de agentes em um período aleatório t , onde os pontos pretos indicam locais onde não há agentes, os pontos laranja indicam a presença de apenas um agente e os pontos brancos onde dois agentes estão conectados e interagindo.

Figura 8: Mapa de calor indicando a disposição e quantidade de agentes em um período aleatório t .



Fonte: Elaborado pelo autor.

As principais variáveis aleatórias que mudam a cada período e poderiam influenciar os resultados do modelo compreendem: a decisão idiossincrática dos agentes $\varphi_i(w_i)$ em (4.9), a disposição dos agentes na matriz C condicionada pela probabilidade P e o ruído branco e_t que compõem a expectativa de inflação dos agentes céticos. Porém, foi utilizada a mesma semente de aleatoriedade para todas as simulações, de forma que as variáveis geradas aleatoriamente não influenciassem na interpretação dos resultados do modelo. A semente de aleatoriedade escolhida foi a gerada pelo termo $rng(1274158994)$ do *software* Matlab, o qual forneceu uma série de dados que permitiu a calibração da variável λ de acordo com a série empírica utilizada.

Como o objetivo do modelo é analisar o impacto que uma moeda virtual ocasiona em relação à economia e políticas monetárias no decorrer do tempo, no período $t = 1$ a moeda nacional N possui inflação inicial calibrada em $\pi_0 = 0,1$, ou seja, uma inflação de 10%. Nos períodos $t \in \{1, 2, \dots, 500\}$ subsequentes, o comportamento da inflação da moeda nacional dada a calibragem das demais variáveis em soma à externalidade de rede, guiam a possibilidade de uma substituição monetária entre os agentes.

A cada passo de simulação os agentes mudam de posição e atualizam suas escolhas de acordo com (4.9). Os parâmetros do modelo indicam em qual magnitude as interações dos agentes afetam a economia em simulação, além de condicionar o comportamento de variáveis. Os parâmetros λ , c^N , c^F , c^B , β , α , ϑ , γ , μ , θ , π^T , δ são fixados para a simulação do modelo computacional.

4.6 CALIBRAGEM

De forma a transformar o modelo computacional em uma simulação adequada, ou seja, uma simulação que se aproxime de um evento possível de ocorrer e com implicações plausíveis, faz-se necessária a calibragem dos parâmetros utilizados. Em alguns parâmetros foi utilizado o teste Kolmogorov-Smirnov para duas amostras (*two-sample Kolmogorov-Smirnov goodness-of-fit measure*), um teste estatístico que permite considerar se duas amostras diferentes são provenientes de uma mesma distribuição de probabilidade. O método de calibragem consistiu em gerar valores aleatórios para determinado parâmetro através do comando *rand* do *software* Matlab durante 50000 períodos, em seguida aplicou-se tais valores à dinâmica da simulação e foi realizado o teste Kolmogorov-Smirnov comparando tais valores com os dados empíricos. O parâmetro calibrado adquire portanto um valor adequado que pode ser utilizado como forma de produzir dados que sejam aceitos pelo teste estatístico e consequentemente sejam dados que representem uma situação realista.

Em termos técnicos, o teste Kolmogorov-Smirnov, consiste em comparar a diferença absoluta máxima entre uma função de distribuição de probabilidade acumulada de uma série empírica com a função de distribuição acumulada com origem na simulação do modelo. Um valor crítico é utilizado para definir um dado nível de significância. O teste pode ser definido por:

$$D_{n,n'} = \sup_x |F_{1,n}(x) - F_{2,n'}(x)|, \quad (4.25)$$

onde $F_{1,n}$ representa a série simulada e $F_{2,n'}$ a série empírica. Um valor retornado $h = 0$ indica que o teste rejeita a hipótese alternativa $h = 1$ com um nível de significância de 5%, indicando que os dados simulados e os dados empíricos podem ter origem na mesma distribuição de probabilidade.

Não foi possível encontrar parâmetros calibrados em relação à economia brasileira que representassem adequadamente os parâmetros α , ϑ e γ do modelo. Assim, o método de calibragem utilizado para o modelo macroeconômico foi a utilização dos valores sugeridos por Galí (2008) e Romer (2012), valores que representam de forma aproximada o comportamento da economia norte americana durante a era Greenspan 1987-2006, ou seja, representam o comportamento adotado pelo FED para o período. Tais valores são utilizados comumente na literatura sobre ciclos econômicos e não mudam drasticamente entre países. Logo, as calibragens foram definidas como: $\alpha = 0,99$, $\vartheta = 0,1275$ e $\gamma = 1,5$.

O parâmetro λ , que mede a credibilidade do banco central, foi calibrado utilizando o teste Kolmogorov-Smirnov para duas amostras exposto anteriormente. A calibragem de λ consistiu em encontrar um valor para o parâmetro que melhor se ajustasse a situação da economia brasileira dado o comportamento da expectativa de inflação definida em (4.23). As diversas séries simuladas foram comparadas com uma série empírica como forma de encontrar o valor que minimizasse (4.25). Os dados contidos no relatório *Focus* de expectativa de inflação entre o período de março de 2014 até dezembro de 2015 com projeção para o mês seguinte foram utilizados como a série empírica a ser reproduzida pela simulação.

Os custos fixos das moedas foram definidos arbitrariamente, de forma que o custo fixo da moeda nacional c^N foi calibrado em zero, o custo fixo da moeda bitcoin foi calibrado em $c^B = 0,01$ e o custo fixo da moeda estrangeira em $c^F = 0,1$. Em outras palavras, o custo de fazer uma transação em moeda estrangeira é dez vezes superior ao custo da mesma transação em bitcoin. Tais valores representam aproximadamente a diferença de custo despendido na compra de dólares e bitcoins no Brasil, porém são valores que podem mudar de um país para o outro ou mesmo de uma situação econômica para outra. O valor para a meta de inflação foi definido utilizando como referência o cenário brasileiro em um período recente, de forma que o *target* foi estabelecido em $\pi^T = 0,045$ e a inflação inicial foi estabelecida em $\pi_0 = 0,1$. A variação do erro e_t que compõem a expectativa de inflação dos agentes céticos foi definida em 0,02, representando a margem de tolerância de 2% em torno da meta de inflação, ou seja, o limite máximo de 6,5% e o limite mínimo de 2,5% em torno do centro da meta de 4,5%.

Na tabela abaixo estão dispostos os valores dos parâmetros calibrados e utilizados como referência durante a simulação:

Quadro 4: Valor dos parâmetros utilizados no modelo.

Parâmetro	Valor
λ	0,74
c^N	0
c^F	0,1
c^B	0,01
β	2,5
α	0,99
ϑ	0,1275
γ	1,5
μ	0.5
θ	1
π^T	0,045
δ	0,1

O processo de definição da escolha de moeda dos agentes no modelo, como descrito nas seções anteriores, envolve a escolha de uma moeda entre as três possíveis possibilidades (nacional, estrangeira e bitcoin). Dessa forma, somente duas moedas possuem relevância dentro da simulação, ou seja, a moeda que possuir o custo de transação mais elevado terá uma probabilidade muito baixa de ser utilizada pelos agentes e conseqüentemente não irá impactar na dinâmica da simulação. Logo, como forma de interpretar os efeitos que uma moeda virtual, com características diferentes da moeda nacional e da moeda estrangeira, ocasiona em relação à economia e política monetária do banco central, faz-se necessário a simulação de dois cenários diferentes: o primeiro, denominado de *cenário sem bitcoin*, no qual a moeda nacional e a moeda estrangeira são as únicas moedas disponíveis para serem utilizadas pelos agentes, ou seja, este cenário compreende apenas a dinâmica entre duas moedas, de forma que a bitcoin não existe; e um segundo cenário, denominado de *cenário com bitcoin*, onde as três moedas participam da decisão de escolha dos agentes. A comparação destes dois cenários amplia o entendimento dos resultados, pois permite isolar o efeito que o menor custo de transação da moeda bitcoin pode ocasionar na economia em comparação com um cenário onde apenas a moeda estrangeira seria a alternativa monetária para a moeda nacional.

4.7 RESULTADOS DO MODELO

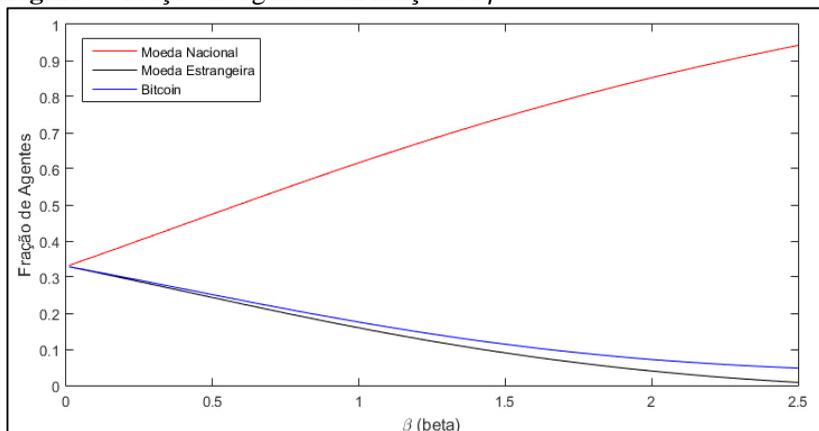
O objetivo do modelo é simular um cenário econômico onde agentes podem definir livremente sua escolha de moeda para negociação. Os diferentes custos de transação de cada moeda definem a parte determinística de escolha dos agentes, logo, as simulações do modelo utilizando a calibragem indicada na seção 4.6 geram os resultados mostrados a seguir. Caso algum parâmetro tenha sido alterado para a realização de algum teste, o valor assumido pelo parâmetro foi devidamente informado. Uma calibração diferente das variáveis, irá gerar resultados também diferentes. Se uma outra semente de aleatoriedade for utilizada nas simulações, isto também poderá levar a uma outra trajetória das variáveis. As simulações para o *cenário sem bitcoin* e *cenário com bitcoin* foram realizadas utilizando a mesma semente de aleatoriedade para a análise de resultados.

No *cenário sem bitcoin*, notoriamente a moeda bitcoin não existe, ou seja, representa um cenário onde apenas duas moedas, a moeda nacional e a moeda estrangeira, fazem parte do campo de escolha dos agentes. Enquanto no *cenário com bitcoin*, as três moedas fazem parte deste campo. A divisão entre dois cenários foi utilizada pois facilita a comparação entre as diferentes características de cada moeda, sendo possível comparar uma economia em que a moeda estrangeira fosse a única alternativa monetária à moeda nacional em relação a esta mesma economia caso a moeda bitcoin estivesse presente.

O primeiro teste do modelo consistiu em analisar os impactos de variações na intenção de escolha identificado pelo parâmetro β em (4.11), pois o mesmo possui interpretações interessantes como apontado por Freitas (2003) e Veloso (2012). Para um dado diferencial de utilidade determinística, a função (4.11) é estritamente crescente em β , de forma que quanto menor for este parâmetro maior será o peso dos incentivos não observados e idiossincráticos nas decisões dos agentes, ou seja, mais incerta será a decisão dos mesmos. No limite, quando β torna-se nulo, as escolhas de moedas por parte dos agentes passam a ser equiprováveis. Por outro lado, se β assume um valor elevado isto reduz o peso dos fatores idiossincráticos sobre o processo de escolha dos agentes, fazendo com que as decisões dos agentes respondam de forma predominante aos incentivos observados. Assim, o modelo foi executado 250 vezes aumentando o valor β em 0,01 a cada passo de simulação, de forma a mostrar a fração de agentes que utilizam cada moeda. A Figura

9 mostra os resultados obtidos utilizando a média dos últimos 50 períodos simulados para o *cenário com bitcoin*:

Figura 9: Fração de agentes em função de β .

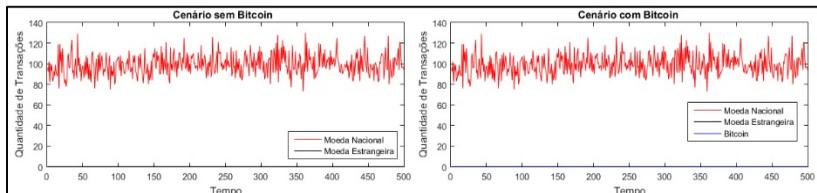


Fonte: Elaborado pelo autor.

Como pode ser observado, quando o valor de β é elevado, o grau de heterogeneidade dos agentes diminui de forma que a parte determinística de escolha influencia mais a decisão de escolha dos agentes. As moedas passam de uma situação de utilização equiprovável quando β é baixo, para uma situação onde a fração de agentes utilizando cada moeda é bem definida quando β é elevado. No caso, a moeda nacional é a mais utilizada pelos agentes quando β é alto considerando os parâmetros do Quadro 4. A fração de utilização das demais moedas, estrangeira e bitcoin, diminuem gradativamente com o aumento de β .

Ao rodar as simulações para ambos os cenários utilizando os parâmetros do Quadro 4 a quantidade de transações realizadas com cada moeda está apresentada na Figura 10 logo abaixo:

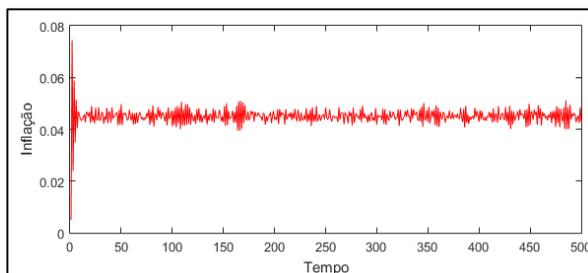
Figura 10: Quantidade de transações realizadas com cada moeda para o *cenário sem bitcoin* e *cenário com bitcoin*.



Fonte: Elaborado pelo autor.

O parâmetro x_t varia endogenamente, representando a fração de agentes que utilizam a moeda nacional. Dessa forma, a inflação foi mantida sob controle, pois o banco central conseguiu impactar o produto através do juro real e pela curva de Phillips estabilizar a inflação. Como a inflação convergiu para a meta $\pi^T = 0,045$, o custo de transação da moeda nacional se manteve baixo, ou seja, os agentes não possuem incentivos em escolher alguma das outras moedas para transação. Logo, não ocorre uma substituição monetária. A Figura 11 mostra o comportamento da inflação e a sua rápida convergência para a meta:

Figura 11: Comportamento da inflação em ambos os cenários simulados.

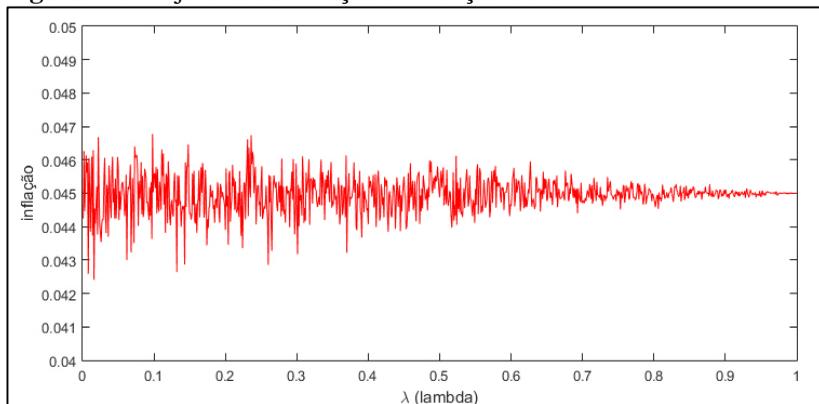


Fonte: Elaborado pelo autor.

A Figura 10 e a Figura 11 indicam que dado o arranjo institucional da economia brasileira, guiado pela calibragem dos parâmetros, não existem riscos para o banco central que levem a inflação sair do controle. Desse modo, caso a regra para a formação das expectativas de inflação dos agentes não mude, uma substituição da moeda nacional para uma moeda alternativa não ocorrerá.

Para analisar o comportamento de credibilidade do banco central sobre o comportamento da inflação, a Figura 12 mostra a média dos últimos 50 períodos simulados da trajetória da inflação em função λ .

Figura 12: Trajetória da inflação em função de λ .



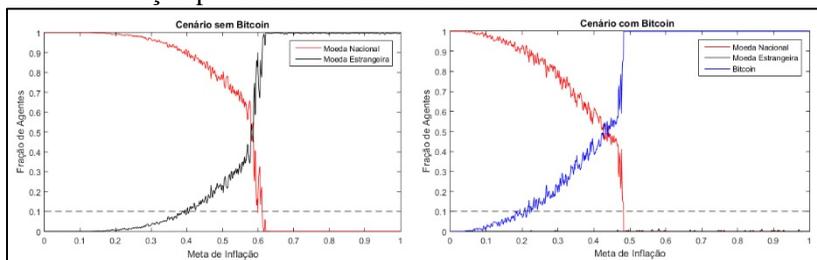
Fonte: Elaborado pelo autor.

Como pode ser observado na Figura 12, quanto menor a credibilidade do banco central, de forma que menor o valor de λ , maior será a volatilidade da inflação em torno da meta dado o erro aleatório e_t dos agentes céticos. Por outro lado, quando maior a credibilidade do banco central, ou seja, maior o valor de λ , menor será a volatilidade, fazendo com que a inflação convirja para a meta mais rapidamente dada a maior fração de agentes crédulos.

Apesar do banco central conseguir fazer a inflação convergir para a meta, mesmo assim a meta de inflação é um valor positivo, o que representa uma perda de utilidade da moeda nacional. Portanto, dependendo do nível para o qual a inflação converge, este pode ser suficientemente elevado de forma que uma fração considerável de agentes utilizem uma moeda alternativa para transação. Por este motivo, foi realizado o teste de aumentar gradativamente os valores de π^T , *ceteris paribus*, e verificar o comportamento dos agentes. Os valores de π^T foram elevados em um centésimo para cada simulação de 500 períodos, verificando qual a fração de utilização das moedas pelos agentes utilizando a média dos últimos 50 períodos simulados. O nível de 10% de utilização da moeda estrangeira ou bitcoin foi adotado como um limite crítico para o teste, ou seja, se ao menos 10% das transações sendo realizadas pelos agentes estiverem acontecendo com uma das

moedas alternativas, isto indica que apesar da inflação estar convergindo para a meta, mesmo assim uma quantidade relevante de agentes estão tendo incentivos de utilizar outra opção monetária. A Figura 13 ilustra os resultados do teste:

Figura 13: Fração de agentes utilizando cada moeda para cada nível de meta de inflação para o *cenário sem bitcoin* e *cenário com bitcoin*.

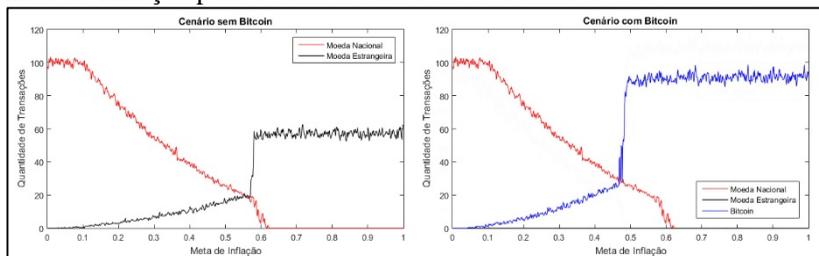


Fonte: Elaborado pelo autor.

Como pode ser observado pela Figura 13, um aumento da meta de inflação π^T leva consequentemente a um aumento do custo de transação da moeda nacional. Quanto maior a meta de inflação, maior a fração de agentes utilizando a moeda estrangeira no *cenário sem bitcoin* e a bitcoin no *cenário com bitcoin*. Mesmo que a inflação esteja convergindo para a meta, uma *target* de inflação que seja alto faz com que parte dos agentes transacionem utilizando moedas alternativas. Apesar da meta de inflação ser historicamente definida pela autoridade monetária em um valor que condiz com o crescimento do produto de forma a manter a estabilidade dos preços, a inflação em alguns casos supera o estipulado para a meta. No caso do modelo proposto, no *cenário sem bitcoin*, a meta de inflação que fez com que pelo menos 10% dos agentes estivessem utilizando a moeda estrangeira para transação foi de $\pi^T = 0,374$ ou 37,4%. Já para o *cenário com bitcoin* o nível da meta inflação foi de $\pi^T = 0,175$, ou seja, uma inflação que se mantenha em um nível de 17,5% irá levar aproximadamente 10% dos agentes a utilizarem a moeda bitcoin. Desse modo, é possível dizer que a diferença entre o custo fixo de transação da moeda estrangeira c^F e bitcoin c^B levam a uma diferença significativa em relação ao valor π^T para que pelo menos 10% dos agentes utilizassem uma das duas moedas. Entretanto, dado o aumento gradativo de π^T , mais relevante se tornam os custos fixos sobre a fração de agentes que estão utilizando cada moeda. A partir de $\pi^T = 0,613$ no *cenário sem bitcoin*, a demanda real

por moeda nacional se torna tão baixa que o banco central não consegue estabilizar a inflação, devido ao comportamento da elasticidade definido em (4.21). Isto faz com que a função (4.24) se torne explosiva e a totalidade dos agentes escolha a moeda estrangeira para transação. No caso do *cenário com bitcoin*, a partir de $\pi^T = 0,481$ o mesmo fenômeno acontece, porém a bitcoin é a moeda escolhida pelos agentes. Assim, um *target* ou meta de inflação que seja muito alto, pode levar a uma situação de substituição monetária. Mesmo que a inflação convirja para a meta, se a meta estiver em um nível que mantenha o custo de transação da moeda nacional elevado, os agentes terão incentivos em escolher alguma das outras moedas para transação. Os custos fixos c^F e c^B , apesar de possuírem efeitos diferentes mesmo quando uma fração pequena de agentes estão utilizando as moedas alternativas, os seus impactos ficam melhor definidos quando uma substituição monetária ocorre. A Figura 14 abaixo, mostra a quantidade de transações utilizando a média dos últimos 50 períodos simulados para cada nível de meta de inflação:

Figura 14: Quantidade de transações em cada moeda para cada nível de meta de inflação para o *cenário sem bitcoin* e *cenário com bitcoin*.



Fonte: Elaborado pelo autor.

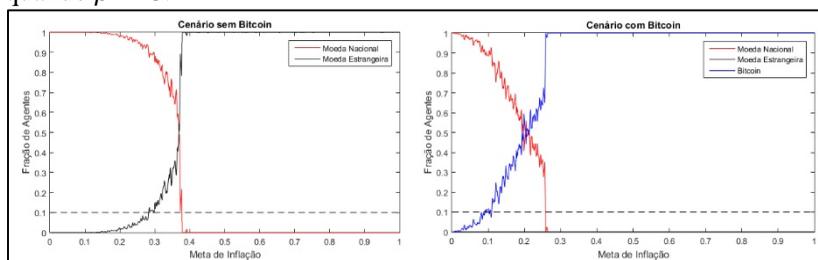
A Figura 14 indica que quanto mais alto o valor para o qual a inflação está convergindo, maior a quantidade de transações sendo realizadas com as moedas alternativas. O custo fixo c^B menor da moeda bitcoin, faz com que uma quantidade maior de transações seja realizada com a moeda virtual no *cenário com bitcoin* em relação à moeda estrangeira no *cenário sem bitcoin* para cada nível de π^T , e que uma completa substituição monetária aconteça mais rapidamente.

Como o custo fixo de transação da moeda estrangeira c^F é superior ao custo fixo da bitcoin c^B , isto implica que o nível de inflação para levar uma fração significativa de agentes a utilizar uma moeda

estrangeira é relativamente alto. Por outro lado, dado o menor custo de transação da moeda bitcoin em comparação à moeda estrangeira, a inflação *target* ou o nível para o qual a inflação convergir é menor. Logo, em economias onde a bitcoin está presente, o banco central deve colocar um peso maior no controle sobre a inflação, caso queira evitar uma diminuição da demanda por moeda nacional em favor da moeda virtual, do que em economias onde somente a moeda estrangeira é a alternativa monetária disponível.

Variações no parâmetro β em (4.11), levam a efeitos importantes em relação ao grau de substituição monetária. Dependendo do valor assumido por β , o nível de meta de inflação para que ocorra uma substituição entre moedas será diferente. A Figura 13 e Figura 14 foram simuladas utilizando um valor para β de 2,5. Porém, se o valor estabelecido para β for elevado, maior será o peso colocado pelos agentes sobre a parte determinística de escolha. Logo, uma substituição entre moedas pode ocorrer a um nível mais baixo de meta de inflação. A Figura 15 ilustra a fração de agentes em função da meta de inflação quando $\beta = 5$.

Figura 15: Fração de agentes utilizando cada moeda para cada nível de meta de inflação para o *cenário sem bitcoin* e *cenário com bitcoin* quando $\beta = 5$.

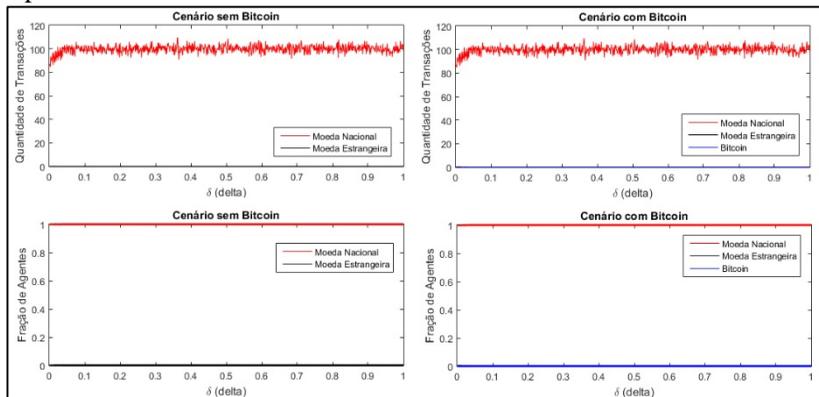


Fonte: Elaborado pelo autor.

Como pode ser observado na Figura 15 em comparação com a Figura 13, quanto maior o valor assumido por β , menor será o nível de meta de inflação que levará a uma substituição entre moedas. Assim, quanto maior o peso que os agentes colocam sobre a utilidade determinística na decisão de escolha, menor será o nível de meta de inflação para que a maioria dos agentes substituam a moeda nacional por uma das moedas alternativas.

Outro teste realizado foi em relação ao parâmetro δ que determina o peso da externalidade de rede sobre a decisão de escolha dos agentes apresentada em (4.12). Quanto maior o valor de δ , maior a influência de todos os agentes sobre a decisão de um agente i , ou seja, maior o efeito da externalidade global sobre a decisão individual. Analogamente, quanto menor o valor de δ , menor o efeito da externalidade de rede sobre a decisão dos agentes. Um valor para $\delta = 0$, indica que a externalidade de rede não tem impacto algum, em outras palavras, seria um modelo sem efeito de rede. Já um valor onde $\delta = 1$, o efeito de rede é pleno, fazendo com que o benefício social de utilizar a mesma moeda que os demais agentes seja muito alto. Porém, os efeitos do parâmetro δ são difíceis de capturar de forma intuitiva em uma economia estável, onde os agentes em sua maioria estão em uma situação de equilíbrio e utilizam apenas uma moeda. Neste caso um aumento da externalidade de rede, por exemplo, somente reforça a escolha dos mesmos. A Figura 16 mostra os efeitos da variação de δ mantendo fixos os demais parâmetros do Quadro 4:

Figura 16: Quantidade de transações e fração de agentes em função de δ para o *cenário sem bitcoin* e *cenário com bitcoin*.

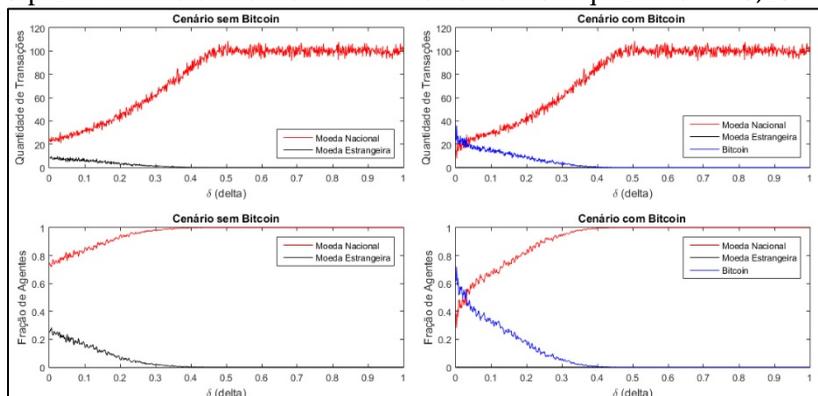


Fonte: Elaborado pelo autor.

Como pode ser observado na Figura 16, a variação de δ aparentemente não influencia na decisão de escolha dos agentes, pois como explicado anteriormente um aumento do efeito da externalidade de rede somente reforça a escolha pela moeda com o menor custo de transação. Logo, para mostrar os efeitos que uma mudança no parâmetro δ causa na dinâmica da simulação, foi realizado um segundo teste onde

a meta de inflação foi calibrada em $\pi^T = 0,45$, ou seja, um valor alto para a inflação de forma a causar uma substituição monetária parcial na economia. Ao fazer o modelo convergir para uma inflação alta, os efeitos de uma variação no parâmetro δ ficam mais facilmente observáveis. A Figura 17 mostra os resultados encontrados:

Figura 17: Quantidade de transações e fração de agentes em função de δ para o *cenário sem bitcoin* e *cenário com bitcoin* quando $\pi^T = 0,45$.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Na Figura 17, um valor baixo para o parâmetro δ leva a um efeito de rede também baixo em ambos os cenários. Se a externalidade de rede é baixa, os agentes tomam a decisão sobre a sua escolha de moeda olhando somente para os custos de transação e para sua decisão idiossincrática. Assim, uma fração significativa de agentes utiliza a moeda alternativa em detrimento da moeda nacional quando o valor de δ é baixo e a inflação é alta. Porém, se o impacto da externalidade de rede é maior na decisão de escolha dos agentes, ou seja, quanto maior o valor de δ , mais favorecida será a moeda que estiver sendo utilizada pela maioria dos agentes dentre as demais. Os resultados indicam que mesmo em uma situação onde a inflação está convergindo para um valor alto, caso os efeitos da externalidade de rede sejam elevados, a moeda nacional continuará sendo utilizada pela maioria dos agentes. Em outras palavras, um agente não irá substituir a sua escolha pela moeda nacional por outra moeda tão facilmente, pois o peso da decisão dos demais agentes sobre a sua escolha individual é muito grande.

Por fim, o modelo apresentado conseguiu simular uma situação onde o aumento do custo de transação da moeda nacional pode levar a

adoção de uma moeda alternativa pelos agentes. Apesar de no momento a moeda bitcoin não ser utilizada em larga escala por uma sociedade em um país em específico, o fenômeno da substituição monetária poderá ocorrer caso haja um colapso de confiança em uma determinada moeda nacional. Além disso, dado o baixo custo de transação da moeda bitcoin em relação à moeda estrangeira, o impacto de uma moeda alternativa pode acontecer mais rapidamente e a níveis mais baixos de inflação em economias onde a moeda virtual está presente.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A presente dissertação tratou sobre um tema ainda recente dentro da literatura acadêmica da ciência econômica, com o objetivo de analisar os possíveis impactos que moedas virtuais podem causar na economia. A moeda bitcoin transacionada através do sistema de pagamentos controlado pelo protocolo Bitcoin possui uma tecnologia inovadora e que tem se mostrado robusta ao possibilitar transações através da internet sem a necessidade de um intermediador central.

Motivado por estudos recentes de bancos centrais e instituições financeiras pelo mundo sobre o tema, com destaque para European Central Bank (2012), Ali et al (2014b) e Bank for International Settlements (2015), a dissertação buscou ampliar a pesquisa sobre a participação de moedas virtuais nas transações econômicas. Grande parte dos bancos centrais concordam que a tecnologia por trás da moeda virtual bitcoin pode aumentar a eficiência de mercados financeiros devido à redução de custos e confiabilidade das transações sem a necessidade de intermediadores. Além disso, os bancos centrais apontam para a possibilidade de a moeda bitcoin interferir no efeito de suas políticas, caso a moeda fosse utilizada por uma grande parte da população.

No capítulo 4 foi desenvolvido um modelo baseado em agentes, utilizando metodologia exposta por Durlauf (1997), Brock e Durlauf (2001) e Train (2003), autores que desenvolveram modelos onde agentes interagem através de motivações sociais e fazem escolhas discretas com carácter probabilístico. Com a utilização de um modelo macroeconômico de três equações elaborado por Silveira e Lima (2013), é possível interpretar o comportamento de um banco central que procura controlar a inflação e produto da economia. Logo, o modelo baseado em agentes elaborado nesta dissertação permite analisar possíveis impactos que diferentes moedas podem causar sobre a política monetária.

Os resultados desta dissertação mostram que a existência da moeda virtual bitcoin na economia representa uma nova variável que deve ser levada em consideração por parte dos bancos centrais quando os mesmos estão a definir a sua estratégia de política monetária. O custo de transação reduzido que a moeda bitcoin possibilita, faz com que os efeitos de uma substituição monetária aconteçam mais rapidamente e a níveis mais baixos de meta de inflação em comparação com um cenário onde apenas uma moeda estrangeira é a alternativa monetária disponível para os indivíduos. Em algumas situações, mesmo que o nível de meta de inflação seja baixo, uma fração considerável de indivíduos podem

optar por utilizar a moeda bitcoin para transação. Desse modo, caso este novo formato de moeda seja de conhecimento dos indivíduos e esteja presente em determinada economia, isto pode ter influência sobre o nível de meta de inflação que levará à uma substituição entre moedas.

Apesar de o modelo ter obtido sucesso em interpretar a decisão de escolha dos agentes e identificar a reação de um banco central, este possui limitações. A principal limitação do modelo está em relação à complexidade dos canais de transmissão pelos quais a política monetária afeta a economia. O modelo apresentado abordou apenas uma forma de analisar os efeitos sobre a política monetária, porém outros estudos sobre outros canais de transmissão poderão obter resultados diferentes e talvez mais profundos sobre este fenômeno. Outra limitação do modelo está em relação ao tamanho da amostra. Tendo em vista a existência de uma externalidade de rede que afeta a decisão de escolha dos agentes, simulações com um número maior de agentes poderiam fornecer resultados interessantes, porém necessitam de uma energia computacional maior para rodar as simulações. A evolução do modelo proposto para modelos mais complexos, que utilizem outros fatores que influenciem a escolha dos agentes e um modelo macroeconômico mais realista, é uma possibilidade para trabalhos futuros a serem realizados nesta área.

Os resultados indicaram que o modelo baseado em agentes conseguiu cumprir com os seus objetivos ao fornecer dados sobre o impacto que moedas virtuais corporificadas pela bitcoin podem causar sobre políticas monetárias. Porém, dada a complexidade dos canais de transmissão pelos quais a política monetária afeta a economia, diferentes óticas sobre como analisar o problema podem levar a conclusões também diferentes. Por um lado, a bitcoin pode um dia reduzir a demanda dos agentes pela base monetária de um banco central (ou seja, a moeda nacional) e fazer essa demanda mais elástica, como apresentado pelo modelo baseado em agentes. Porém, dados os diferentes canais de transmissão, isso não necessariamente importa para a política monetária. Muito provavelmente, a resposta depende do modelo no qual a política monetária afeta a economia. Ao utilizar um modelo tradicional IS/LM, no qual a troca entre a moeda nacional e outras moedas é o único motivo que influencia o banco central a mover as taxas de juros, a inovação financeira da moeda bitcoin pode, sem dúvida, ter um grande impacto. Mas, ao analisar o mesmo problema através de uma ótica centrada no setor bancário do mecanismo de transmissão da política monetária, os impactos da bitcoin podem ser menos significativos.

Olhando para o setor bancário, o monopólio do banco central e sua habilidade em influenciar as taxas de juros e conseqüentemente a atividade real da economia, não depende da demanda de agentes pela moeda nacional, mas sim pela demanda dos bancos comerciais por reservas. Os bancos comerciais têm interesse na moeda nacional, pois por manterem reservas ao captar depósitos à vista eles podem tornar-se associados a seguros de depósitos federais. Assim, este acaba sendo um monopólio mais fácil para o banco central manter seu controle.

O banco central pode não conseguir prevenir que a população de um país utilize outras moedas, ou até mesmo que abandonem totalmente o uso da moeda nacional como representado pelo modelo baseado em agentes. Porém, o banco central pode manter o controle sobre bancos comerciais ao fornecer seguros sobre depósitos somente se os bancos mantiverem reservas em moedas nacionais, neste caso o monopólio tradicional do banco central pode não ser significativamente corroído.

O protocolo Bitcoin é um sistema de pagamentos que ainda se encontra em desenvolvimento e experimentação, assim este continuará sendo um tema que demandará outras pesquisas e estudos a fim de entender todos os seus possíveis impactos e possibilidades. O modelo baseado em agentes apresentado no capítulo 4 procurou achar respostas para o impacto da bitcoin na economia através da decisão de agentes frente à possibilidade de utilizar diferentes tipos de moedas. Futuros trabalhos podem ampliar o modelo a fim de analisar outros canais de transmissão da política monetária, principalmente em relação aos bancos comerciais que possuem grande dependência nas decisões de bancos centrais.

Outra questão importante que deve ser analisada mais a fundo e abre possibilidade para novas pesquisas e futuros trabalhos, está em relação à substituição, não apenas da moeda, mas sim dos sistemas de pagamentos e câmaras de compensação tradicionais para mecanismos que utilizem de sistemas descentralizados inspirados na *block chain*. A redução de custos na realização de transações promovido pelo protocolo Bitcoin, abre uma nova possibilidade para a liquidação de operações sem a necessidade de utilizar câmaras de compensação. Análises empíricas que verifiquem o impacto desta tecnologia na eficiência dos mercados financeiros ainda não foram realizadas, abrindo assim oportunidade de novas pesquisas.

A questão fiscal, em relação à perda de senhoriação do governo dada a utilização da moeda bitcoin pelos indivíduos, ainda é um tema que deve ser aprofundado. Principalmente pelo fato do protocolo

Bitcoin ser um programa de código aberto, o que possibilitaria que países desenvolvessem suas próprias moedas através deste sistema, ou mesmo contribuíssem com energia computacional gerando bitcoins para o próprio Estado.

Enfim, a presente dissertação procurou ampliar os estudos sobre as moedas virtuais, analisando o comportamento da moeda bitcoin e seus possíveis impactos na economia e políticas monetárias. Os resultados deste estudo servem de motivação para outras possíveis pesquisas sobre o tema, que ampliem os resultados, corrijam limitações e façam novas descobertas.

REFERÊNCIAS

ALESINA, Alberto; SUMMERS, Lawrence H.. Central Bank Independence and Macroeconomic Performance: Some Comparative Evidence. **Journal of Money, Credit and Banking**. Chicago, p. 151-162. maio 1993. Disponível em: <<http://www.jstor.org/stable/2077833>>. Acesso em: 07 maio 2015.

ALI, Robleh et al. **Innovations in payment technologies and the emergence of digital currencies**. Londres: Bank of England, 2014a. (Quarterly Bulletin Q3). Disponível em: <<http://www.bankofengland.co.uk/publications/Documents/quarterlybulletin/2014/qb14q3digitalcurrenciesbitcoin1.pdf>>. Acesso em: 02 jul. 2015.

ALI, Robleh et al. **The economics of digital currencies**. Londres: Bank of England, 2014b. (Quarterly Bulletin Q3). Disponível em: <<http://www.bankofengland.co.uk/publications/Documents/quarterlybulletin/2014/qb14q3digitalcurrenciesbitcoin2.pdf>>. Acesso em: 29 out. 2014.

AKERLOF, George A.. The Market for "Lemons": Quality Uncertainty and the Market Mechanism. **The Quarterly Journal of Economics**. p. 488-500. ago. 1970.

BAGEHOT, Walter. **Lombard Street: A description of the Money Market**. Londres: Henry S. King, 1873. Disponível em: <<http://oll.libertyfund.org/titles/128>>. Acesso em: 26 jul. 2015.

BANCO CENTRAL DO BRASIL. **BC esclarece sobre os riscos decorrentes da aquisição das chamadas “moedas virtuais” ou “moedas criptografadas”**. 2014. Disponível em: <<http://www.bcb.gov.br/pt-br/Paginas/bc-esclarece-sobre-os-riscos-decorrentes-da-aquisicao-das-chamadas-moedas-virtuais-ou-moedas-criptografadas.aspx>>. Acesso em: 15 jun. 2015.

BAILEY, Martin J.. The Welfare Cost of Inflationary Finance. **The Journal of Political Economy**. Chicago, p. 93-110. abr. 1956.

BACK, Adam. **Hash cash postage implementation**. 1997. Disponível em: <<http://www.hashcash.org/papers/announce.txt>>. Acesso em: 15 jun. 2015.

BAEK, C.; ELBECK, M.. Bitcoins as an investment or speculative vehicle? A first look. **Applied Economics Letters**, 2014. 5 p.

BANK FOR INTERNATIONAL SETTLEMENTS. **Digital currencies**. Basel, 2015. 21 p. Disponível em: <<https://www.bis.org/cpmi/publ/d137.pdf>>. Acesso em: 08 Dez. 2015.

BERNANKE, Ben S.; GERTLER, Mark. Inside the Black Box: The Credit Channel of Monetary Policy Transmission. **Journal of Economic Perspectives**. p. 27-48. abr. 1995. Disponível em: <<https://ideas.repec.org/a/aea/jecper/v9y1995i4p27-48.html>>. Acesso em: 07 maio 2015.

BERNHOLZ, Peter. **Monetary Regimes and Inflation: History, Economic and Political Relationships**. Northampton: Edward Elgar, 2003. 210 p.

BRADBURY, Danny. **Czech bitcoin exchange Bitcash.cz hacked and up to 4,000 user wallets emptied**. 2013. Disponível em: <<http://www.coindesk.com/czech-bitcoin-exchange-bitcash-cz-hacked-4000-user-wallets-emptied/>>. Acesso em: 10 jul. 2015.

BROCK, W.A.; DURLAUF, S. N. Discrete choice with social interactions. In: **Review of Economic Studies Limited**, vol. 68, p. 235-260, mai., 2001.

BUCHANAN, James M.. Predictability: The Criterion of Monetary Constitutions. In: YEAGER, Leland B.. **In Search of a Monetary Constitution**. Cambridge: Harvard University Press, 1962. p. 155-183.

CASEY, Michael J. **Europeans Seek Shelter in Gold and Bitcoin**. The Wall Street Journal, 2015. Disponível em: <<http://www.wsj.com/articles/europeans-seek-shelter-in-gold-and-bitcoin-1435708290>>. Acesso em: 07 jul. 2015.

CLARIDA, Richard; GALÍ, Jordi; GERTLER, Mark. Monetary Policy Rules and Macroeconomic Stability: Evidence and Some Theory.

Quarterly Journal of Economics. p. 147-180. fev. 2000. Disponível em: <<http://www.nber.org/papers/w6442>>. Acesso em: 08 maio 2015.

CHAIA, Alberto et al. Half the World is Unbanked. **Financial Access Initiative.** p. 17. out. 2009. Disponível em: <http://mckinseysociety.com/downloads/reports/Economic-Development/Half_the_world_is_unbanked.pdf>. Acesso em: 10 jul. 2015.

CHRISTIN, Nicolas. **Traveling the Silk Road:** A measurement analysis of a large anonymous online marketplace. Carnegie Mellon University. 2012, 26 p. Disponível em: <<http://arxiv.org/pdf/1207.7139v2.pdf>>. Acesso em: 26 fev. 2013.

COHEN, Benjamin J.. Electronic money: new day or false dawn?. **Review of International Political Economy.** p. 197-225. 2001.

COLETTI, Paul. **Bitcoin's baby:** Blockchain's 'tamper-proof' revolution. 2014. Disponível em: <<http://www.bbc.com/news/technology-32781244>>. Acesso em: 16 jul. 2015.

DAI, Wei. **B-money.** 1998. Disponível em: <<http://www.weidai.com/bmoney.txt>>. Acesso em: 16 fev. 2013.

DEBELLE, Guy; FISCHER, Stanley. How Independent Should a Central Bank Be? In: **Goals, Guidelines, and Constraints Facing Monetary Policymakers**, 38, 1994, Boston. Proceedings. Boston: Federal Reserve Bank of Boston, 1994. p. 195 - 222.

DOWD, Kevin; GREENAWAY, David. Currency Competition, Network Externalities and Switching Costs: Towards an Alternative View of Optimum Currency Areas. **The Economic Journal.** p. 1180-1189. set. 1993. Disponível em: <<http://www.jstor.org/stable/2234244>>. Acesso em: 19 maio 2015.

DURLAUF, S. N. Statistical mechanics approaches to socioeconomic behavior. In: ARTHUR, W. B.; DURLAUF, S. N., LANE, D. A. **The economy as an evolving complex system II.** Santa Fe Institute Studies in the Sciences of Complexity. Medwood City: Addison-Wesley, vol. 27, p. 81-104, 1997.

ENGINEER, Merwan. Currency transactions costs and competing fiat currencies. **Journal of International Economics**, Victoria, n. 52, p.113-136, nov. 2000.

EUROPEAN CENTRAL BANK. **Virtual Currency Schemes**. Frankfurt, 2012. 53 p. Disponível em: <<http://www.ecb.int/pub/pdf/other/virtualcurrencyschemes201210en.pdf>>. Acesso em: 27 jul. 2015.

EVANS, Jon. **Enter The Blockchain: How Bitcoin Can Turn The Cloud Inside Out**. 2014. Disponível em: <<http://techcrunch.com/2014/03/22/enter-the-blockchain-how-bitcoin-can-turn-the-cloud-inside-out/>>. Acesso em: 16 jul. 2015.

FREITAS, Gustavo Gomes de. **Economia e Sistemas Complexos: Interações Sociais, Dinâmicas Emergentes e uma Análise da Difusão da Internet na Cidade de São Paulo**. 2003. 147 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Economia, Departamento de Economia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003.

FREIXAS, Xavier; ROCHET, Jean-charles. **Microeconomics of Banking**. 2. ed. Cambridge: Mit Press, 2008. 363 p.

FRIEDMAN, Milton. A Program for Monetary Stability. In: KETCHUM, Marshall D.; KENDALL, Leon T.. **Readings in Financial Institutions**. Boston: Houghton Mifflin, 1965. p. 189-209.

FRIEDMAN, Milton. **An Interview with Milton Friedman**. 2006. Entrevista concedida a Russ Roberts. Disponível em: <<http://www.econlib.org/library/Columns/y2006/Friedmantranscript.html>>. Acesso em: 07 maio 2015.

GERSON, Michael. **Dying Silently In Zimbabwe**. 2008. Disponível em: <<http://www.washingtonpost.com/wp-dyn/content/article/2008/02/19/AR2008021902337.html>>.

GERSTEIN, Irving R.; HERVIEUX-PAYETTE, Céline. **Digital Currency: You can't flip this coin!**. Ottawa: Report of the Standing Senate Committee on Banking, Trade and Commerce, 2015. 64 p. Disponível em:

<<http://www.parl.gc.ca/Content/SEN/Committee/412/banc/rep/rep12jun15-e.pdf>>. Acesso em: 02 jul. 2015.

GIOVANINI, Adilson. **Remuneração Variável e Instabilidade Financeira**. 2014. 68 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Economia, Departamento de Economia e Relações Internacionais, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2014.

GUIDOTTI, Pablo E.; RODRIGUEZ, Carlos A.. Dollarization in Latin America: Gresham's Law in Reverse? **IMF Staff Papers**, Buenos Aires, v. 39, n. 3, p.518-544, fev. 1992. Palgrave Macmillan.

GREENBERG, Andy. **Major Bitcoin Exchange Bitstamp Goes Offline After Possible Hack**. 2015. Disponível em: <<http://www.wired.com/2015/01/bitstamp-offline/>>. Acesso em: 10 jul. 2015.

GREENE, W. **Econometric analysis**. New Jersey: Prentice Hall, 4^a ed., 2000.

GRINBERG, Reuben. Bitcoin: An Innovative Alternative Digital Currency. **Hastings Science & Technology Law Journal**. p. 160-206. 09 dez. 2011. Disponível em: <http://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=1817857>. Acesso em: 15 jun. 2015.

HAYEK, Friedrich. **Denationalisation of Money: An Analysis of the Theory and Practice of Concurrent Currencies**. 3. ed. London: The Institute of Economic Affairs, 1990.

HOENIG, Thomas M.. **The Evolution of the Payments System: A U.S. Perspective**. 1995. Discurso realizado na conferência do *National Bank of Austria* em Viena. Disponível em: <<http://www.kansascityfed.com/PUBLICAT/ECONREV/pdf/3q95hnig.pdf>>. Acesso em: 03 mar. 2015.

IRELAND, Peter N.. The Monetary Transmission Mechanism. **Federal Reserve Bank of Boston: Working Papers**. Boston, p. 13. nov. 2005.

JACOB, Katy; MANTEL, Brian J.; WELLS, Kirstin E.. Developing a roadmap to improve the U.S. payment system. **Chicago Fed Letter**. p. 4. fev. 2013.

KAREKEN, John; WALLACE, Neil. On the Indeterminacy of Equilibrium Exchange Rates. **The Quarterly Journal of Economics**. p. 207-222. maio 1981. Disponível em: <<http://www.jstor.org/stable/1882388>>. Acesso em: 20 maio 2015.

KASHYAP, Anil K.; STEIN, Jeremy C.. What Do a Million Observations on Banks Say about the Transmission of Monetary Policy? **The American Economic Review**. Washington, Dc, p. 407-428. jun. 2000. Disponível em: <<http://www.jstor.org/stable/117336>>. Acesso em: 07 maio 2015.

KOSNER, Anthony W.. **Tech 2015: Block Chain Will Break Free From Bitcoin To Power Distributed Apps**. 2015. Disponível em: <<http://www.forbes.com/sites/anthonykosner/2014/12/31/tech-2015-block-chain-will-break-free-from-bitcoin-to-power-distributed-apps/>>. Acesso em: 16 jul. 2015.

KRAWISZ, Daniel. **Hyperbitcoinization**. 2014. Disponível em: <<http://nakamotoinstitute.org/mempool/hyperbitcoinization/>>. Acesso em: 31 dez. 2014.

KROSZNER, Randall S.. The Future of Bank: Will Commercial Banks Remain Central to the Financial System?. In: **Central Banking in the Shadows: Monetary Policy and Financial Stability Postcrisis**, 2015, Atlanta. p. 28.

KRUGMAN, Paul. **Golden Cyberfettters**. Apresentada por The New York Times. Disponível em: <<http://krugman.blogs.nytimes.com/2011/09/07/golden-cyberfettters/>>. Acesso em: 02 jul. 2015.

KUMAMOTO, Masao; KUMAMOTO, Hisao. Currency Substitution and Monetary Policy under the Incomplete Financial Market. **Japanese Journal of Monetary and Financial Economics**. p. 16-45. maio 2014.

LEE, Timothy B.. **Bitcoin prices plummet on hacked exchange**. 2011. Disponível em: <<http://arstechnica.com/tech-policy/2011/06/bitcoin-price-plummets-on-compromised-exchange/>>. Acesso em: 10 jul. 2015.

LERNER, Josh; TIROLE, Jean. **The Simple Economics of Open Source**. National Bureau Of Economic Research: Working Paper 7600. Cambridge, p. 40. mar. 2000. Disponível em: <<http://www.nber.org/papers/w7600.pdf>>. Acesso em: 05 mar. 2015.

LIMA, F. C. G. de C.. Bimetalismo, Ouro, Prata e Gresham: Uma Contribuição para o Estudo da Circulação de Moeda-Metálica no Brasil no Século XVIII. **Estudos Econômicos**. São Paulo, p. 595-616. set. 2013. Disponível em: <<http://www.revistas.usp.br/ee/article/viewFile/48201/65082>>. Acesso em: 31 out. 2014.

MACAL, C. M.; NORTH, M. J.. Tutorial on agent-based modelling and simulation. **Journal of Simulation**. p. 151-162. abr. 2010.

MCCALLUM, Bennett T.. **Monetary Economics: Theory and Policy**. New York: Macmillan Publishing Company, 1989. 480 p.

MCCULLOCH, J. Huston. **Money and Inflation: A Monetarist Approach**. 2. ed. New York: Academic Press Inc, 1982. 133 p.

MCMILLAN, Robert. **The Inside Story of Mt. Gox, Bitcoin's \$460 Million Disaster**. 2014. Disponível em: <<http://www.wired.com/2014/03/bitcoin-exchange/>>. Acesso em: 11 jul. 2015.

MILES, Marc A.. Currency Substitution, Flexible Exchange Rates, and Monetary Independence. **The American Economic Review**. p. 428-436. jun. 1978. Disponível em: <<http://www.jstor.org/stable/1805277>>. Acesso em: 19 maio 2015.

MIMS, Christopher. **How Future Bitcoin Can Prevent a Future Greece**. The Wall Street Journal, 2015. Disponível em: <<http://www.wsj.com/articles/how-future-bitcoin-can-prevent-a-future-greece-1436744064>>. Acesso em: 07 jul. 2015.

MISHKIN, Frederic S.. The Channels of Monetary Transmission: Lessons for Monetary Policy. **Banque de France**. p. 33-44. mar. 1996. Disponível em: <<http://www.nber.org/papers/w5464>>. Acesso em: 07 maio 2015.

MUNDELL, Robert. Uses and Abuses of Gresham's Law in the History of Money. 2. ed. **Zagreb Journal of Economics**, 1998. 30 p.

NAKAMOTO, Satoshi. **Bitcoin: A Peer-to-Peer Electronic Cash System**. 2008. Disponível em: <<http://bitcoin.org/bitcoin.pdf>>. Acesso em: 15 fev. 2015.

PERRY, Guillermo; SERVÉN, Luis. **The Anatomy of a Multiple Crisis: Why was Argentina Special and What Can We Learn from It?**. The World Bank, 2003. 68 p. Disponível em: <<http://elibrary.worldbank.org/doi/book/10.1596/1813-9450-3081>>. Acesso em: 07 out. 2014.

PLASSARAS, Nicholas A.. Regulating Digital Currencies: Bringing Bitcoin within the Reach of the IMF. **Chicago Journal of International Law**. Chicago, abr. 2013. 26 p. Disponível em: <<http://ssrn.com/abstract=2248419>>. Acesso em: 31 out. 2014.

ROCHARD, Pierre. **Speculative Attack**. 2014. Disponível em: <<http://nakamotoinstitute.org/mempool/speculative-attack/>>. Acesso em: 31 out. 2014.

ROCHET, Jean-charles; TIROLE, Jean. Controlling Risk in Payment Systems. **Journal of Money, Credit and Banking**. Part 2: Payment Systems Research and Public Policy Risk, Efficiency, and Innovation. Columbus, p. 832-862, vol. 28, no. 4, nov. 1996. Disponível em: <<http://www.jstor.org/stable/2077924>>. Acesso em: 03 mar. 2015.

ROLNICK, Arthur J.; WEBER, Warren E. Gresham's Law or Gresham's Fallacy?. **Quarterly Review**, Minneapolis, v. 10, n. 1, p.17-24, winter 1986. Trimestral. Publicado por Federal Reserve Bank of Minneapolis.

ROMER, David. **Advanced Macroeconomics**. 4. ed. New York: Mcgraw-hill, 2012. 716 p.

SELGIN, George. **Synthetic Commodity Money**. 2013, p. 29.
Disponível em: <<http://ssrn.com/abstract=2000118>>. Acesso em: 03 mar. 2015.

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

SILVA, Rebbeka. C. F. M.. **Análise do processo de ajustamento nominal em uma economia com concorrência monopolística**: uma abordagem de jogos computacionais em redes. 2012. 85 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Economia, Departamento de Economia e Relações Internacionais, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2012.

SILVEIRA, Jaylson J. da; LIMA, Gilberto T.. Regime monetário de meta de inflação em um ambiente de heterogeneidade de estratégias de formação de expectativas de inflação. **Estudos Econômicos**. São Paulo, p. 213-239. jun. 2013.

SMITH, Vera C. **The Rationale of Central Banking and the Free Banking Alternative**. 1990. Library of Economics and Liberty.
Disponível em:
<<http://www.econlib.org/library/LFBooks/SmithV/smvRCB12.html>>.
Acesso em: 20 maio 2015.

SZABO, Nicholas. **Bit gold**. 2005. Disponível em:
<<http://unenumerated.blogspot.com.br/2005/12/bit-gold.html>>. Acesso em: 15 jun. 2015.

TULLOCK, Gordon. Competing Monies. **Journal of Money, Credit and Banking**. p. 491-497. nov. 1975. Disponível em:
<<http://www.jstor.org/stable/1991757>>. Acesso em: 19 maio 2015.

TRAIN, K. (2003), **Discrete choice models with simulation**, Cambridge University Press.

TRIVOLI, George. **The Suffolk Bank**: A Study of a Free-enterprise Clearing System. London: The Adam Smith Institute, 1979. 21 p.
Disponível em:
<<http://www.adamsmith.org/sites/default/files/images/uploads/publications/suffolkbank.pdf>>. Acesso em: 08 maio 2015.

VAUBEL, Roland. Free currency competition. **Review of World Economics**. p. 435-461. 1977.

VAUBEL, Roland. Currency Competition and European Monetary Integration. **The Economic Journal**. p. 936-946. set. 1990. Disponível em: <<http://www.jstor.org/stable/2233670>>. Acesso em: 19 maio 2015.

VELOSO, Artur A. R.. **Remuneração Variável como Fator para a Instabilidade dos Mercados Financeiros**. 2011. 83 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Economia, Departamento de Economia e Relações Internacionais, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2011.

VISA. **Annual Report 2013**. Visa, 2013. 150 p. Disponível em: <[http://investor.visa.com/files/doc_downloads/annual meeting/Visa Annual Report 2013 final website.pdf](http://investor.visa.com/files/doc_downloads/annual%20meeting/Visa%20Annual%20Report%202013%20final%20website.pdf)>. Acesso em: 31 out. 2014.

WHITE, Lawrence H.. **The Theory of Monetary Institutions**. Oxford: Blackwell Publishers, 1999. 269 p.

WOOLF, Nicky. **Bitcoin 'exit scam'**: deep-web market operators disappear with \$12m. 2015. Disponível em: <<http://www.theguardian.com/technology/2015/mar/18/bitcoin-deep-web-evolution-exit-scam-12-million-dollars/>>. Acesso em: 11 jul. 2015.