



UNIVERSIDADE DE
COIMBRA



Francisco Miguel Duarte da Silva

***BITCOIN E ETHEREUM: A DINÂMICA INFORMACIONAL ENTRE
PREÇO, VOLUME E CAPITALIZAÇÃO***

Trabalho de Projeto no âmbito do Mestrado em Economia, na especialidade em Economia Financeira orientado pelo Professor Doutor António Manuel Portugal Duarte e pelo Professor Doutor Hélder Miguel Correia Virtuoso Sebastião, apresentado à Faculdade de Economia da Universidade de Coimbra

Julho de 2018



FEUC FACULDADE DE ECONOMIA
UNIVERSIDADE DE COIMBRA

Francisco Miguel Duarte da Silva

Bitcoin e Ethereum: A dinâmica informacional entre preço, volume e capitalização

Trabalho de Projeto do Mestrado em Economia, na especialidade em Economia
Financeira, apresentado à Faculdade de Economia da Universidade de Coimbra para
obtenção do grau de Mestre

Orientadores:

Prof. Doutor António Manuel Portugal Duarte

Prof. Doutor Helder Miguel Correia Virtuoso Sebastião

Coimbra, 2018

Dedicatória

*Ao meu pai, à minha mãe e ao meu irmão,
Por serem os meus melhores amigos...*

Agradecimentos

A minha gratidão a todos aqueles que, direta e indiretamente, me foram apoiando ao longo deste trabalho de projeto e ao longo de todo este percurso na Universidade de Coimbra.

Ao Professor Doutor António Manuel Portugal Duarte e ao Professor Doutor Helder Miguel Correia Virtuoso Sebastião, meus orientadores, agradeço o profissionalismo, disponibilidade, sabedoria, paciência e o apoio que sempre me prestaram.

À Faculdade de Economia da Universidade de Coimbra, pela formação fundamental que levarei comigo para o próximo percurso da minha vida.

Aos bons amigos que fiz cá, um obrigado pela vossa amizade.

Aos meus pais e irmão por todo o amor, apoio, encorajamento, disponibilidade, amizade que sempre me deram. Nada disto era possível sem vocês.

Resumo

Com a introdução do protocolo *Bitcoin*, as moedas digitais têm vindo a ganhar importância ao longo dos últimos anos. Esta moeda digital conseguiu resolver problemas como o *double-spending*, o que se revelou fulcral para a sua grande popularidade. Do sucesso da *Bitcoin*, outras moedas digitais surgiram, oferecendo cada vez mais alternativas e utilidade à noção de moeda digital. Uma das moedas digitais que mais se aproximou da *Bitcoin* foi a *Ethereum*, uma moeda digital que introduziu conceitos novos à tecnologia por detrás desta forma de moeda. Atualmente, estas duas moedas apresentam uma relevância significativa no universo das moedas digitais. Neste estudo é analisada a transmissão de informação entre os mercados destas duas moedas digitais. Para esse feito, são utilizados modelos VAR, os quais permitem a análise da causalidade “à Granger”. Essa análise é dividida em duas abordagens: i) uma mais simples, sobre a relação de dependência linear e ii) uma mais complexa, com a tentativa de captação de eventuais relações não lineares entre as variáveis, considerando uma variável de *threshold* que divide a amostra em dois regimes consoante a atividade relativa. São utilizadas três dimensões para analisar os dois mercados: preço, volume de transação e capitalização, com dados diários entre 1 de janeiro de 2017 até 31 de janeiro de 2018. As conclusões apontam, na primeira abordagem e para o volume de transação, para uma transmissão marginal de informação entre mercados. Na segunda abordagem, existe transmissão de informação quando a atividade é superior no mercado da *Bitcoin* do que no mercado da *Ethereum*, e que a causalidade ocorre de forma bidirecional em termos de preço e capitalização. Os resultados podem indicar que quando o mercado *Bitcoin* está menos ativo, os *traders* repartem-se pelos dois mercados passando informação que é relevante, demonstrando que a observação dum determinado mercado revela assim informação relevante para as transações no outro mercado.

Palavras-chave: *Bitcoin*, *Ethereum*, Preço, Volume, Capitalização, VAR

Classificação JEL: G10, G14, G15.

Abstract

With the introduction of the *Bitcoin* protocol, digital coins have gained great importance over the last few years. This digital currency was able to solve problems like *double-spending*, which proved to be central to its great popularity. From *Bitcoin's* success, other digital currencies have emerged, offering more and more alternatives and utility to the notion of digital currency. One of the closest digital coins to *Bitcoin* was *Ethereum*, a digital currency that introduced new concepts to the technology behind this form of currency. Currently, these two currencies present significant relevance in the universe of digital currencies. This study analyzes the information transmission between the markets of these two digital currencies. For this purpose, VAR models are used, which allow “Granger” causality tests. This analysis is divided into two approaches: i) a simpler one, on the relation of linear dependence and ii) a more complex one, with the attempt to capture possible non-linear relations between the variables. Three dimensions are used to analyze the two markets: price, transaction volume and capitalization, with daily data between January 1, 2017 and January 31, 2018. The conclusions point, in the first approach and to the transaction volume, to a marginal information transmission between markets. In the second approach, there is information transmission when the activity is higher in the *Bitcoin* market than in the *Ethereum* market, and that causality occurs in a bidirectional way in terms of price and capitalization. The results may indicate that when the *Bitcoin* market is less active, traders spread across the two markets passing information that is relevant, demonstrating that the observation of a particular market reveals information that is relevant to transactions in the other market.

Keywords: *Bitcoin*, *Ethereum*, Price, Volume, Capitalization, VAR

Classificação JEL: G10, G14, G15.

Lista de figuras

Figura 1 - Preço da Bitcoin em USD, na MT. Gox.	5
Figura 2 - Blockchain	6
Figura 3 - Oferta de bitcoins ao longo do tempo (milhões).....	8
Figura 4 - Evolução do preço da bitcoin em USD.....	14
Figura 5 - Evolução do preço da ethereum em USD.....	14
Figura 6 - Volume de transação da bitcoin.....	15
Figura 7 - Volume de transação da ethereum.....	15
Figura 8 - Capitalização da bitcoin em USD.....	16
Figura 9 - Capitalização da ethereum em USD.....	16

Lista de tabelas

Tabela 1 - Estatísticas descritivas das variáveis em níveis.....	16
Tabela 2 - Estatísticas descritivas das taxas de crescimento instantâneas.....	17
Tabela 3 - Testes ADF de raiz unitária.....	21
Tabela 4 - Modelos VAR para os preços, volumes e capitalizações.....	22
Tabela 5 - Modelo VAR com regimes para os preços.....	23
Tabela 6 - Versão restrita do VAR com regimes para os preços.....	24
Tabela 7 - Modelo VAR com regimes para os volumes de transação.....	25
Tabela 8 - Versão restrita do VAR com regimes para os volumes de transação.....	26
Tabela 9 - Modelo VAR com regimes para as capitalizações.....	27

Índice

1. Introdução	1
2. Moedas digitais: Bitcoin e Ethereum	2
2.1 A Bitcoin.....	3
2.1.1 Primeiros anos da Bitcoin	4
2.1.2 A Blockchain.....	5
2.1.3 A transação e a “mineração” (mining) de bitcoins.....	7
2.2 A Ethereum	8
2.3 Vantagens e desvantagens das moedas digitais	11
2.4 A moeda digital: Instrumento monetário ou ativo especulativo?	11
3. Análise descritiva dos dados.....	13
4. Metodologia e resultados.....	18
4.1 Testes de raiz unitária	20
4.2 Análise linear. Aplicação de modelos VAR simples.....	21
4.3 Análise não linear. Modelos VAR com regimes	22
5. Conclusão	28
Bibliografia.....	30

1. Introdução

A moeda digital, também denominada de criptomoeda ou moeda virtual, é um meio de pagamento “alternativo” que tem vindo a ganhar importância ao longo dos últimos anos. Por detrás da sua criação está o objetivo de criar um meio de pagamento conveniente, barato, acessível e descentralizado, isto é sem qualquer intervenção de governos ou bancos. Anteriormente existiram várias tentativas de criação de moedas digitais, que, apesar de goradas, se revelaram fundamentais para o sucesso do protocolo associado ao funcionamento da *Bitcoin*, o qual, pela primeira vez resolveu os problemas de *double-spending* e falta de popularidade.

Desde a introdução da *Bitcoin*, em 2008, por Satoshi Nakamoto,¹ tem-se assistido a um crescimento sem precedentes da popularidade das moedas digitais. Segundo uma proposta de diretiva do Parlamento Europeu e do Conselho, moeda digital significa “*uma representação digital de valor que não tenha sido emitida por um banco central ou uma autoridade pública, nem esteja necessariamente ligada a uma moeda fiduciária, mas que é aceite por pessoas singulares ou coletivas como meio de pagamento e possa ser transferida, armazenada ou comercializada por via eletrónica*”.²

Antes da introdução das moedas digitais, o comércio *online* era inteiramente efetuado com a presença de instituições financeiras intermediárias, que funcionavam como uma terceira parte que garantia a prossecução fidedigna das transações. Este sistema acarreta algumas desvantagens, tais como a morosidade e elevados custos de transação em prol da privacidade, confidencialidade e segurança. A *Bitcoin* mudou este paradigma, pois trata-se de um protocolo aberto (*open source*), controlado por todos os utilizadores, sem requerer os serviços de um intermediário “confiável”.

Com a crescente popularidade da *Bitcoin*, outras moedas digitais surgiram, oferecendo cada vez mais alternativas e utilidade à noção de moeda digital. Uma dessas

¹ Satoshi Nakamoto é um pseudónimo de um indivíduo ou conjunto de indivíduos. Apesar de vários esforços, é ainda hoje desconhecida a sua verdadeira identidade.

² Artigo 1.º, n.º 2, alínea c), da diretiva proposta. A definição tem por base aquela que é proposta no ponto 19 do parecer sobre moedas virtuais da Autoridade Bancária Europeia (EBA), de 4 de julho de 2014, (EBA/Op/2014/08), disponível no sítio web da EBA em www.eba.europa.eu. Esta proposta de diretiva foi objeto de parecer do Banco Central Europeu denominado “Parecer do Banco Central Europeu de 12 de outubro de 2016 sobre uma proposta de diretiva do Parlamento Europeu e do Conselho que altera a Diretiva (UE) 2015/849 relativa à prevenção da utilização do sistema financeiro para efeitos de branqueamento de capitais ou de financiamento do terrorismo e que altera a Diretiva 2009/101/CE (CON/2016/49)”, constante do Jornal Oficial da União Europeia, Comunicações e Informações, C459, III Atos Preparatórios, 2016/C 459/05, 3-6.

moedas digitais foi a *Ethereum* (Omohundro, 2014). A *Ethereum* não trouxe consigo apenas mais uma moeda digital, mas também avanços na tecnologia *blockchain*, que se traduzem na possibilidade de aplicações completamente novas. Atualmente, estas duas moedas digitais concorrem numa crescente capitalização, sendo que, a capitalização da *Bitcoin* cifra-se em cerca de cento e sete mil milhões de dólares americanos, enquanto a capitalização da *Ethereum* encontra-se em cerca de quarenta e quatro mil milhões dólares americanos.³

O presente trabalho pretende analisar a transmissão de informação não só entre preços mas também entre volumes, sendo que essa transmissão também é analisada conjuntamente através da capitalização das duas moedas. O estudo é efetuado utilizando dados diários para o período de maior frenesim de transação, entre 1 de janeiro de 2017 e 31 de janeiro de 2018. Neste período, mais especificamente de meio de setembro de 2017 a final de janeiro de 2018 houve um comportamento explosivo dos preços destas moedas virtuais.

Apesar de já existir na literatura económica alguns estudos sobre a transmissão de informação entre moedas virtuais, (vide por exemplo Bação *et al.*, 2018), este é, segundo nos é dado a crer, o primeiro estudo que aborda a transmissão de informação entre as duas moedas condicional a vários atributos. Além disso, não se cinge apenas nos preços, efetuando também a análise de transmissão de informação entre volumes e capitalizações. Trata-se, assim, de um estudo exploratório sobre as relações não lineares entre preço, volume de transação e capitalização das duas das principais moedas digitais, a *Bitcoin* e a *Ethereum*.

O que restante Trabalho de Projeto encontra-se estruturado da seguinte forma. A Secção 2 apresenta as duas moedas digitais objeto de estudo, analisa as vantagens e desvantagens das moedas virtuais enquanto meio de pagamento e procede à discussão sobre se estas moedas virtuais são efetivamente moeda ou ativos especulativos. A Secção 3 apresenta uma análise descritiva dos dados. A Secção 4 descreve a metodologia utilizada e interpreta os principais resultados empíricos. A Secção 5 conclui este Trabalho de Projeto.

2. Moedas digitais: *Bitcoin* e *Ethereum*

Nesta secção são explicados os principais aspetos técnicos da *Bitcoin* e da *Ethereum*, não esquecendo o seu enquadramento histórico. As últimas duas subsecções são dedicadas

³ De acordo com o site <https://coinmarketcap.com/>, consultado em 13/07/2018.

à análise das vantagens e desvantagens das moedas virtuais enquanto meio de pagamento e à discussão sobre se estas moedas virtuais são efetivamente moeda ou ativos especulativos.

2.1 A *Bitcoin*

Apesar de a referência às moedas digitais estarem comumente associadas especificamente à *Bitcoin*, atualmente circulam na economia mundial mais de 1500 moedas digitais. Ulrich (2017, pp. 15) define a *bitcoin* como “(...) *uma forma de dinheiro, assim como o real, o dólar ou o euro, com a diferença de ser puramente digital e não ser emitido por nenhum governo. O seu valor é determinado livremente pelos indivíduos no mercado.*” Desta definição fica implícito que a *bitcoin* é uma moeda como as moedas convencionais, com a diferença de não ter um carácter físico e não ser controlada por nenhuma instituição monetária. No entanto, esta definição não é suficientemente precisa, havendo dúvidas de que a *bitcoin* cumpra as funções necessárias para ser considerada moeda. Especificamente, a *Bitcoin* é um protocolo (código) *peer-to-peer* (ponto-a-ponto) apresentado por Satoshi Nakamoto, em 2008, com a publicação *online* do seu *white-paper* intitulado: “*Bitcoin: A peer-to-peer electronic cash system*” (Nakamoto, 2008). Este protocolo descreve um algoritmo matemático que pode ser usado para produzir e gerir uma moeda digital, nomeadamente quando destinado a transações *online* (Sebastião *et al.*, 2017; Böhme *et al.*, 2015). As características mais originais da *Bitcoin* é que este sistema é descentralizado (Yermack, 2015) e anónimo (Böhme *et al.*, 2015), e, obviamente, resolve o problema de *double-spending*, ou seja, impede que uma entidade realize várias transações eletrónicas sobre o mesmo registo de valor, sem a necessidade de intervenção de um intermediário (Sebastião *et al.*, 2017).⁴

Tradicionalmente, o problema do *double-spending* foi resolvido através da intervenção de terceiros na transação, ou seja, através da atuação do intermediário financeiro. Isto justifica-se pelo facto de que não existe presunção de que os intervenientes se conheçam mutuamente, logo não tendo estabelecido entre eles uma relação de confiança, é necessária a existência de um intermediário, que pode ser um governo, um banco ou outra instituição financeira. O problema é resolvido na *Bitcoin*, através do requisito de que cada transação

⁴ Portanto a palavra *bitcoin* pode referir quer o protocolo que cria e gere a moeda virtual quer a moeda digital propriamente dita. No caso da *ethereum* existe a mesma duplicidade de sentidos. Se bem que em bom rigor, *Ethereum* designe o protocolo e *Ether* designe a moeda virtual, essa moeda virtual tem sido usualmente designada por *ethereum*. De forma a evitarmos alguma confusão no leitor, quando nos referimos ao protocolo utilizamos a palavra iniciada por maiúscula.

tem que ser ratificada por todos os utilizadores registados no protocolo, e o registo é ratificado desde a primeira transação, encontrando-se todas as transações publicamente disponíveis no *Blockchain* (Sebastião *et al.*, 2017).

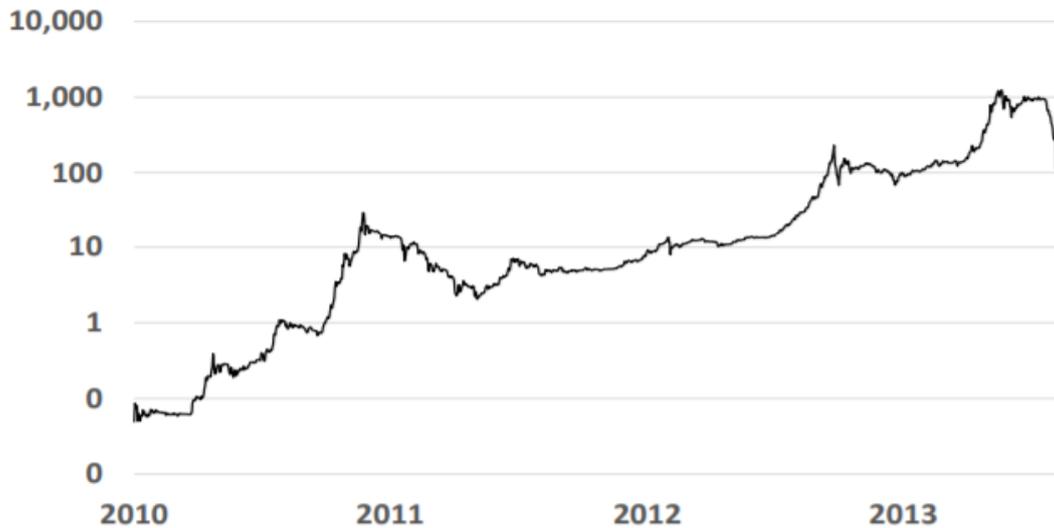
2.1.1 Primeiros anos da *Bitcoin*

O objetivo fundamental da *Bitcoin*, de acordo com os seus defensores, é servir como alternativa ao sistema de pagamentos existente e permitir transações transfronteiriças, sem a interferência de entidades soberanas, bancos centrais ou outras instituições financeiras intermediárias (Lo e Wang, 2014, Yermack, 2015). À data da publicação do documento do protocolo *Bitcoin*, a crise financeira mundial encontrava-se no seu auge, havendo um clima de falta de confiança nos governos e bancos para administrar oferta de moeda a resolver os problemas económicos. Neste ambiente a popularidade da *Bitcoin* floresceu.

Satoshi Nakamoto minerou as primeiras 50 *bitcoins*, agrupadas no “bloco génese”, em 3 de janeiro de 2009. Durante cerca de um ano, a existência da *Bitcoin* permaneceu relativamente desconhecida. Mais tarde, a noção de *Bitcoin* alastrou-se para lá do mundo da criptografia (Wallace, 2011). A partir daí, o interesse na *Bitcoin* cresceu de tal forma que esta começou a ser negociada, em 2010, numa casa de câmbio *online*, a Mt. Gox (Yermack, 2015).

A Mt. Gox assumiu a liderança do mercado, mantendo uma quota de mercado de mais de 80% durante os dois anos que se seguiram (Sebastião *et al.*, 2017). Com entrada em funcionamento da Mt. Gox, o preço da *Bitcoin* teve cerca de quatro aumentos abruptos, entre o período de 2010 e 2014, como mostra a Figura 1. O primeiro aumento abrupto ocorreu em finais de 2010 e janeiro de 2011, quando a *Bitcoin* atingiu a paridade com o dólar americano (USD). O segundo aumento ocorreu na primavera de 2011, com a *Bitcoin* a passar de 1USD para 10USD. O terceiro aumento aconteceu no primeiro quadrimestre de 2013, com a subida do preço da *Bitcoin* de 10USD para 100USD. Finalmente, o quarto aumento ocorreu em outubro e novembro de 2013, com a *Bitcoin* a valorizar de 100 USD para cerca de 1000 USD (Brandvold *et al.*, 2015).

Figura 1 - Preço da Bitcoin em USD, na Mt. Gox.



Fonte: Brandvold *et al.* (2015).

Mais tarde, no primeiro trimestre de 2014, a Mt. Gox revelou que 850 mil *bitcoins* tinham desaparecido. Com esta grave violação de segurança, a Mt. Gox declarou falência, suspendendo todas as transações (Sebastião *et al.*, 2017). Com a falência da Mt. Gox, o preço da *Bitcoin* entrou em queda nos meses seguintes, passando de 1151 USD para menos de 500 USD (Chuen, 2015). Este comportamento do preço levantou suspeitas sobre a existência de uma bolha especulativa no mercado de *bitcoins*. Com a falência da Mt. Gox, outras casas de câmbio, entre as quais a Bitstamp, BTC-e e a Bitfinex, foram aumentando os seus volumes de transação, conseguindo mais de 50% da quota de mercado das trocas em USD/BTC, e ainda em 2014, o número de utilizadores de *Bitcoin* atingiu os dois milhões (Pires, 2017). Os utilizadores, nesse período, eram classificados em quatro tipos: programadores, investidores, anarquistas e *hackers* ou criminosos (Yelowitz e Wilson, 2015; Pires, 2017).

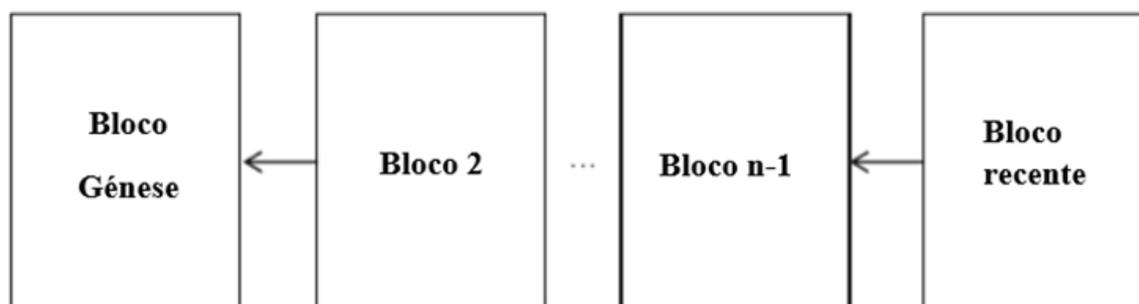
2.1.2 A *Blockchain*

Com a invenção da *Bitcoin*, o problema do *double-spending* foi solucionado, passando todos os registos históricos a serem partilhados por todos os utilizadores do sistema de rede *peer-to-peer* (Ulrich, 2017). A rede *peer-to-peer* (ponto-a-ponto) é um sistema de arquitetura de rede de computadores, com a partilha de informação entre todos os utilizadores, não havendo diferenciação entre eles, e sem a utilização de um servidor central (Kamienski *et al.*, 2005). Todas as transações são guardadas e distribuídas num livro-razão

público, chamado de *Blockchain*, que nesse sentido pode ser simplesmente definido como uma base de dados pública que tem guardadas todas as transações efetuadas desde a criação da *Bitcoin* (Sebastião *et al.*, 2017). Para assegurar que não existe *double-spending*, os intermediários de cada transação da *Bitcoin* são, na prática, todos os utilizadores da rede global da *Bitcoin*.

A *Blockchain* é a “verdadeira protagonista” de toda esta rede de moedas digitais, consistindo num conjunto de blocos, sendo que cada bloco desse conjunto constituído por todas as transações que foram ocorrendo ao longo do tempo (vide Figura 2).

Figura 2 - Blockchain



Fonte: Elaboração própria adaptado de Chuen (2015).

O conjunto de blocos vai crescendo continuamente à medida que novas transações vão ocorrendo. A interligação entre os blocos, sequenciados ao longo do tempo, foi tornada possível através de uma “prova de trabalho” (*proof-of-work*). O processo de *proof-of-work* é como um jogo, onde existe competição para decodificar e analisar as transações, havendo incentivos para quem participa (Chuen, 2015).

Sendo a *Blockchain* um livro-razão publicamente distribuído, este não pode ser controlado por nenhuma entidade individual e é imune a ataques informáticos, pois um eventual ataque apenas pode ter como alvo algumas componentes e não põe em causa a integridade do sistema como um todo (Prathyusha *et al.*, 2018). A rede *Blockchain* vive em “estado de consenso”, isto é, automaticamente, a cada dez minutos, a rede verifica todas as transações que ocorreram nesse intervalo e reverifica todas as transações passadas, funcionando como uma espécie de “sistema de auditoria própria”. Coletti (2015) e Derose (2015) vão mais longe, afirmando que a *Blockchain* é inerentemente imutável, e este é o atributo que confere valor intrínseco às moedas digitais.

Como será analisado na secção da *Ethereum*, a tecnologia *Blockchain* pode não se limitar à aplicação a moedas digitais, podendo ser utilizada em diversas operações, tais como

contratos ou aplicações. Há, contudo, várias similaridades entre as *Blockchains* da *Bitcoin* e da *Ethereum* que importa reforçar. Ambas são *peer-to-peer*, descentralizadas, transparentes e possuem um sistema de transações irreversível (Chuen, 2015).

2.1.3 A transação e a “mineração” (*mining*) de *bitcoins*

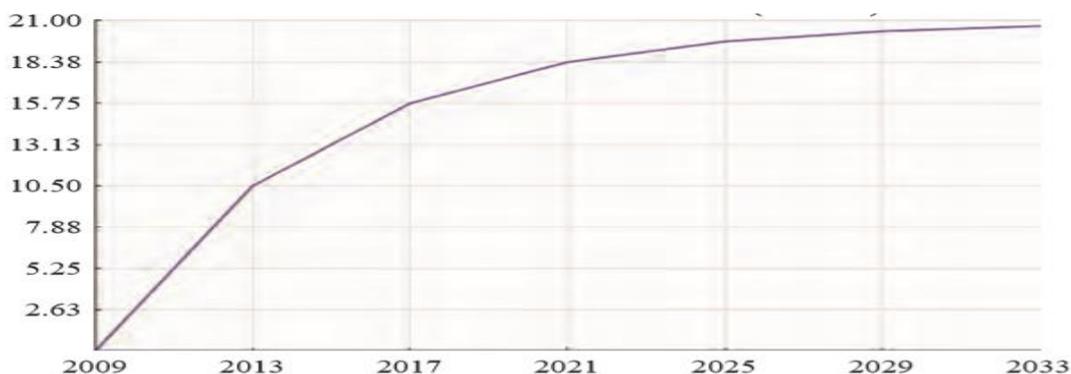
As *bitcoins* são enviadas e recebidas através de uma aplicação instalada no telemóvel, *software* do computador que cria e gere a carteira de *bitcoins*. Esta carteira gera um endereço, que é uma sequência de caracteres únicos, onde o utilizador pode efetuar recebimentos e pagamentos. As *bitcoins* podem ser obtidas através de uma casa de câmbio de *bitcoins*, máquina de venda ou simplesmente através de um pagamento de um qualquer bem ou serviço. Todos os utilizadores verificam as transações através do uso de criptografia inteligente a partir de uma chave pública (Ulrich, 2017). Para este efeito, cada utilizador tem na sua posse duas chaves, uma pública e uma privada. A chave privada consiste num código apenas acessível pelo próprio utilizador, enquanto a chave pública trata-se de uma chave partilhada com todos os outros utilizadores. Assim, através da chave pública de cada utilizador, a rede *Bitcoin* consegue prevenir qualquer tipo de fraude, além de evitar o já referido problema do *double-spending*.

O processo de verificação das transações e, portanto, de manutenção da integridade da *blockchain* é chamado de *mining* (mineração), no qual todos os utilizadores podem participar. No entanto, nem todos os utilizadores o fazem, visto que necessitam de ferramentas computacionais avançadas. Os utilizadores que participam no *mining* são chamados de “mineradores”, os quais são recompensados pelo seu trabalho através da atribuição de novas *bitcoins*. Portanto é precisamente a atividade de mineração que cria novas *bitcoins* (Ulrich, 2017). O processo de *mining* exige tempo e consumo de energia elétrica, e o seu grau de dificuldade aumenta à medida que o número de *bitcoins* no sistema vai aumentando. A crescente complexidade do problema matemático cuja solução é necessária para a *proof-of-work* leva a maiores custos em tempo e energia, enquanto, por outro lado, a recompensa em *bitcoins* também vão diminuindo à medida que mais *bitcoins* vão sendo introduzidas no sistema.

O protocolo *Bitcoin* foi projetado de modo a que no máximo sejam criadas 21 milhões de *bitcoins* (vide Figura 3). Até 2017, a cada dez minutos, foram criadas 25 *bitcoins*. Após esta data, o número de novas *bitcoins* criadas em cada dez minutos reduziu-se para metade, e a cada quatro anos o procedimento de redução da recompensa para metade repete-

se (Dodd, 2018). Todas estas crescentes adversidades na mineração de *bitcoins* fazem com que a oferta de *bitcoins* cresça de forma controlada. Segundo Ulrich (2017), a mineração de *bitcoins* pode ser comparada ao processo de descoberta de números primos, onde a dificuldade acresce exponencialmente à medida que novos números vão sendo encontrados.

Figura 3 - Oferta de *bitcoins* ao longo do tempo (milhões)



Fonte: Chuen (2015).

O processo de mineração de *bitcoins* tem um fim anunciado, estimando-se que a última partícula de *Bitcoin*, chamada de *Satoshi*, correspondente a 10^{-8} de uma *bitcoin*, seja minerada no ano de 2140. A questão do limite na oferta de *bitcoins* é abordada por Iavorschi (2013), que refere que o aumento da oferta de dinheiro não tem as mesmas consequências que um aumento da oferta de outro produto, pois o aumento da quantidade de dinheiro não consegue resolver o problema de afetação de recursos limitados a necessidades ilimitadas. Deste modo, o algoritmo que prevê a oferta limitada de *bitcoins* confere estabilidade ao sistema, mas simultaneamente pode gerar um processo deflacionista. Isto é, se a oferta aumenta a uma taxa muito menor que a taxa de aumento da procura, o preço da *bitcoin* tem uma tendência marcadamente positiva, resultando num aumento assinalável do poder de compra da *Bitcoin*. Este processo deflacionário da *Bitcoin* já tinha sido previsto pelo seu criador (Nakamoto, 2008).

2.2 A *Ethereum*

O projeto *Ethereum* foi introduzido, em 2013, por Vitalik Buterin. Este projeto foi financiado, em 2014, através de um *crowdfunding* e, em 2015, entrou definitivamente em

funcionamento. O objetivo da *Ethereum* foi melhorar o sistema da *Bitcoin*, acabando por ser uma extensão deste. Tal como a *Bitcoin*, a *Ethereum* utiliza a tecnologia *Blockchain* para armazenar todas as transações, sendo estas verificadas e validadas por todos os utilizadores do sistema através do processo de *mining*, que tal como na *Bitcoin*, é feito através do *proof-of-work*.

Vitalik Buterin, um programador anteriormente envolvido na *Bitcoin*, constatou que a tecnologia *Blockchain* da *Bitcoin* estava a ter uma utilização limitada, sendo unicamente utilizada para a transação de *bitcoins*. O protocolo *Ethereum* foi então criado, marcando o início da tecnologia *Blockchain* de segunda geração, uma plataforma descentralizada que além de permitir um sistema de pagamentos, com a criação da moeda *ethereum*, permite igualmente executar e ativar contratos inteligentes (*smart contracts*). Assim, a diferença fundamental da *Ethereum* é que esta também é uma plataforma programável, onde contratos ou aplicações podem ser construídos de forma descentralizada (Wood, 2014).

Uma definição precisa é fornecida por Paralkar *et al.* (2018), que refere a *Ethereum* como um protocolo aberto e público, baseado na tecnologia *Blockchain*, sendo uma plataforma de programação descentralizada destinada a *smart contracts*. A plataforma digital, chamada de máquina virtual *Ethereum* (EVM), com um sistema *Turing*-completo, que permite que a cadeia de blocos do protocolo *Ethereum* seja programável.

A *ethereum* é a moeda digital do protocolo *Ethereum* e é “o combustível” de todo este protocolo *Ethereum*. A *ethereum* serve como meio de troca nas transações efetuadas, mas serve também para ativar contratos inteligentes e outros serviços, e portanto é algo redutor considerar que a *ethereum* é apenas uma moeda digital (Jain *et al.*, 2018). Esta moeda digital, tal como a *Bitcoin*, é obtida a partir do processo de *mining*, ou por troca com outras moedas digitais.

Da definição do protocolo *Ethereum* surge a questão da definição de *smart contract*. Um *smart contract*, ou contrato inteligente, é um contrato que se executa a si mesmo, tendo incorporado os seus termos a partir de um acordo entre as duas partes (Paralkar *et al.*, 2018). Este termo foi introduzido por Szabo (1997), onde se descreve que o objetivo de um *smart contract* é fornecer segurança, com soluções suportadas pelo *hardware* e *software* do computador, de forma a formalizar as relações entre as duas partes do contrato. Deste modo, os custos de transação decrescem substancialmente, devido à instrução do contrato por relação direta entre as partes, sem a necessidade de qualquer intermediário.

A *ethereum* é atualmente a segunda moeda digital com maior capitalização de mercado. Até 2015, a *Bitcoin* era, com uma grande distância, a moeda mais utilizada do

mercado das moedas digitais, detendo 91,3% do mercado. Esse panorama mudou com a entrada do protocolo *Ethereum*, havendo a partir de 2015 uma maior repartição de mercado entre a *Bitcoin* e a *Ethereum*, correspondendo a 39,8% e 28,5%, respectivamente (Mascarenhas *et al.*, 2018).

Ao contrário do que se verifica no protocolo da *Bitcoin*, o protocolo *Ethereum* não tem delineado um limite de oferta de moeda. No entanto, haverá eventualmente uma altura em que o processo de mineração de *ethereums* se torne cada vez mais complicado. Bação *et al.* (2018) vão de encontro a este problema, referindo que o protocolo *Ethereum* entrará numa espécie de “idade do gelo”, onde a mineração é extremamente difícil. Deste modo, embora não esteja teoricamente prevista uma oferta limite de *ethereums* no protocolo *Ethereum*, na prática este limite existe, estando fixado em 100 milhões de *ethereums*.

O processo de *mining* de moedas digitais, nomeadamente de *bitcoins*, baseado no *proof-of-work*, tem sido alvo de uma forte concentração (Pires, 2017). Com a crescente complexidade dos problemas matemáticos e com a correspondente necessidade de maior capacidade computacional, o número de mineradores tem vindo a diminuir, pois uma forma de ultrapassar o aumento dos custos de mineração é a junção de mineradores entre si, fenómeno conhecido como agrupamentos de mineração (*mining pools*). De acordo com Jain *et al.* (2018), se os mineradores destas *mining pools* forem mal-intencionados, estes podem validar transações incorretas, se forem responsáveis por 51% de todo o processo de *mining* do sistema, ou seja, se dominarem mais de metade de todo o processo de validação das transações e criação de moeda digital.

Deste modo, o sistema da *Blockchain* fica centralizado, contrariando os objetivos fundamentais preconizados por Nakamoto, colocando por outro lado em evidência uma falha fundamental, que coloca em causa a integridade do sistema *Blockchain*. Esta falha foi identificada por outros criadores de moedas digitais, com destaque para a *Ethereum*. A *Ethereum* planeou desenvolver o seu algoritmo de modo a ultrapassar este problema principal do “*proof-of-work*”, com a introdução do chamado “*proof-of-stake*”. Este processo é descrito, por exemplo, por Mascarenhas *et al.* (2018), como um processo de validação de transações e acordos, podendo este processo de validação ser efetuado por qualquer utilizador participante no sistema. No entanto, a validação é feita por turnos e votação, sendo que os votos dos utilizadores não têm o mesmo peso, dependendo este do tamanho do seu depósito em moeda digital. As vantagens que advêm do *proof-of-stake* são o aumento da segurança, a redução do risco de centralização e o aumento da eficiência energética.

2.3 Vantagens e desvantagens das moedas digitais

Uma das vantagens potenciais da *Bitcoin* advém de uma das suas características originais, a de ser um sistema descentralizado. Daqui decorre que, sem a existência de intermediários financeiros, as transações efetuadas com *bitcoins* são menos dispendiosas que as efetuadas através da moeda fiduciária. Segundo Nakamoto (2008), a total automatização das transações faz com que estas sejam menos dispendiosas do que as transações que ocorrem num sistema centralizado. Isto trará potenciais benefícios aos pequenos comerciantes, estimulará as remessas de dinheiro a nível global, e facilitará o acesso ao capital (Ulrich, 2017). No entanto, Kaskaloglu (2014) antecipa que um aumento dos custos de transação será inevitável, já que a queda do número de novas *bitcoins* vai acarretar um aumento dos custos de transação como recompensa para os “mineradores”, independentemente da valorização da *Bitcoin*.

Os países menos desenvolvidos, que se caracterizam por um clima de falta de confiança nas suas instituições, nomeadamente no que diz respeito ao seu banco central ou governo, são os países que poderão retirar maiores dividendos com o uso da *Bitcoin*. Nomeadamente, os utilizadores de *bitcoins*, residentes nos países menos desenvolvidos, podem evitar as políticas de restrição ao crédito comuns neste tipo de países, conseguindo, deste modo, uma maior liberdade económica. No entanto, estes países têm também maiores dificuldades de adoção da moeda digital, resultantes da existência de barreiras tecnológicas e informáticas (Brandvold *et al.*, 2015).

A maior desvantagem da *Bitcoin* é a grande volatilidade do seu preço, uma vez que quer a oferta quer a procura de *bitcoins* advêm, não de fatores fundamentais, mas sim de fatores comportamentais, e nomeadamente da atenção que os meios de comunicação social têm dado a esta temática (Fobe, 2016).

2.4 A moeda digital: Instrumento monetário ou ativo especulativo?

A comunidade académica tem sido, pouco a pouco, particularmente atraída para a discussão sobre se as moedas digitais podem ser efetivamente consideradas moeda. Esta discussão tem-se focado sobretudo na *Bitcoin*, mas pode facilmente ser transposta para outras moedas digitais. Basicamente, a discussão tem assumido duas vertentes: o

enquadramento regulatório, ou antes a sua inexistência, e a análise das características do preço.

Sonderegger (2015) destaca que a *Bitcoin* apenas existe na *internet*, fazendo com que a única maneira desta poder ser regulada de forma efetiva seria através de cooperação internacional, algo que, no entanto, seria complicado e dispendioso. Outra perspectiva é dada por Brito e Castillo (2016) que argumentam que não é difícil para os governos ou outras autoridades descobrir a identidade de um utilizador *Bitcoin* através do pseudónimo da sua conta. Estes autores referem que um utilizador da rede *Bitcoin* é pseudoanónimo e não anónimo e que, por isso, é possível, até um certo ponto, rastrear as transações desse utilizador. Todavia, a *Bitcoin* e outras moedas digitais encontram-se comumente associadas a operações de lavagem de capitais, financiamento de atividades ilícitas e fugas de capitais à margem das regulações financeiras nacionais e internacionais (Lu, 2018).

Yermack (2015) destaca três atributos tradicionais dos instrumentos monetários: meio de troca, unidade de conta e reserva de valor. Para servir como meio de troca, a moeda digital tem de ser aceite como pagamento para um número suficientemente grande de agentes económicos. Neste sentido, um utilizador está disposto a aceitar um determinado instrumento como pagamento por bens ou serviços se tiver a confiança que outros utilizadores estão dispostos a aceitar esse instrumento (Lo e Wang, 2014). Yermack (2015) considera que a *Bitcoin* consegue cumprir o requisito de meio de troca, devido ao número crescente de utilizadores que parecem estar dispostos a aceitá-la como forma de pagamento. No entanto, o desempenho da *Bitcoin* como unidade de conta é fraco, pois tal requer que os preços sejam expressos com 5 casas decimais, uma prática pouco usual e confusa. Além disso, a *Bitcoin* exhibe séries temporais com uma volatilidade muito elevada e é negociada a diferentes preços em diferentes casas de câmbio, sem a possibilidade de arbitrar essas diferenças. Todas estas características tendem a diminuir a utilidade da *Bitcoin* como unidade de conta. Como reserva de valor, a *Bitcoin* enfrenta também grandes desafios devido aos excessivos ataques informáticos, roubos e outros problemas relacionados com a sua segurança, além do excesso de volatilidade. Por todos estes fatores, Yermack (2015) conclui que mais do que moeda, a *Bitcoin* comporta-se como um ativo altamente especulativo.

Glaser *et al.* (2014) também concluem que a *Bitcoin* é mais um ativo especulativo do que uma moeda, pois cada vez mais os utilizadores, que adquirem *bitcoins* pela primeira vez, mantêm essas *bitcoins* na sua carteira digital para propósitos de investimento e não para usá-las para pagamento de bens e serviços. Estes autores realçam também a correlação positiva entre os retornos da *Bitcoin* e as notícias públicas, sendo este mais um indicador de que a

Bitcoin é usada como um ativo. Baur *et al.* (2018) também concluem neste sentido, destacando a elevada volatilidade das séries temporais da *Bitcoin* e os seus altos rendimentos, o que reforça a ideia que esta moeda digital é usada mais como um investimento de natureza especulativa. Gandal e Halaburda (2014) corroboram novamente esta ideia, afirmando que a inclusão de *bitcoins* num portefólio diversificado aumenta os retornos em relação ao risco, devido aos seus retornos médios elevados e à baixa correlação existente entre a *Bitcoin* e outros ativos financeiros.

Cheung *et al.* (2015) reforçam igualmente a ideia de que a *Bitcoin* se comporta mais como um investimento especulativo, argumentando que esta moeda digital “está condenada” a ser considerada como uma bolha especulativa, sendo vários os eventos que corroboram esta hipótese, em particular por ocasião da falência da Mt.Gox. Hafner (2018) realizou também testes para averiguar a existência de bolhas explosivas, chegando à conclusão que a *Bitcoin* é a moeda digital que mais se aproxima do comportamento de uma bolha. Este comportamento da *Bitcoin* é explicado pela notoriedade que a *Bitcoin* goza para com o público e a imprensa em geral.

Fobe (2016) é dos poucos autores a contestar esta visão de moeda digital enquanto ativo especulativo, desvalorizando a elevada volatilidade da *bitcoin*, e argumentando que se esta fosse utilizada maioritariamente como um ativo especulativo ou como reserva de valor, já não existiria. Segundo este autor, é a sua circulação ativa que faz com que a volatilidade pouco afete o uso da *bitcoin*, considerando-a, deste modo, como uma moeda paralela.

3. Análise descritiva dos dados

As moedas digitais objeto de estudo são a *bitcoin* e a *ethereum*, sendo a análise efetuada em três dimensões: preço, o volume de transação e a capitalização. Note-se que a capitalização é dada pela multiplicação entre o preço e o volume de transação. As seis variáveis utilizadas são então o preço da *bitcoin*, P_{BTC} , o preço da *ethereum*, P_{ETH} , o volume de transação da *bitcoin*, V_{BTC} , o volume de transação da *ethereum*, V_{ETH} , a capitalização da *bitcoin*, C_{BTC} , e a capitalização da *ethereum*, C_{ETH} .

Os dados foram recolhidos através do site <https://coinmarketcap.com>. Este tem sido o site mais utilizado por académicos para a recolha de dados sobre as moedas virtuais. Os dados têm uma periodicidade diária e foi considerado o período amostral de 1 de janeiro de 2017 até 31 de janeiro de 2018. Os preços e as capitalizações estão expressos em dólares norte-americanos (USD). A evolução das diversas variáveis é apresentada nas Figuras 4 a 9.

Figura 4 - Evolução do preço da *bitcoin* em USD

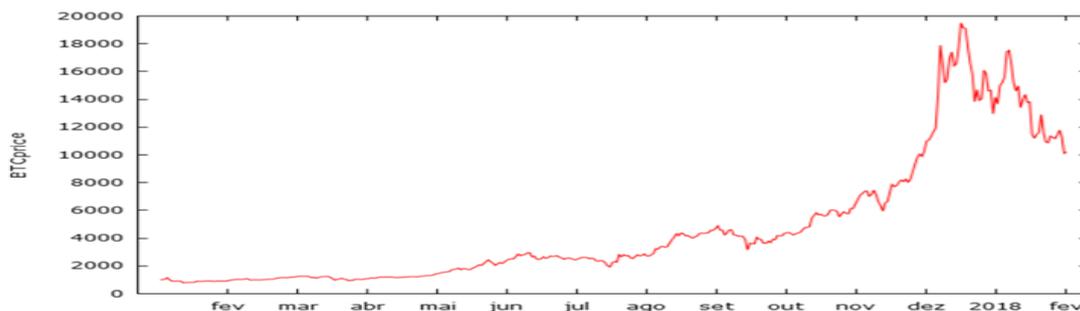
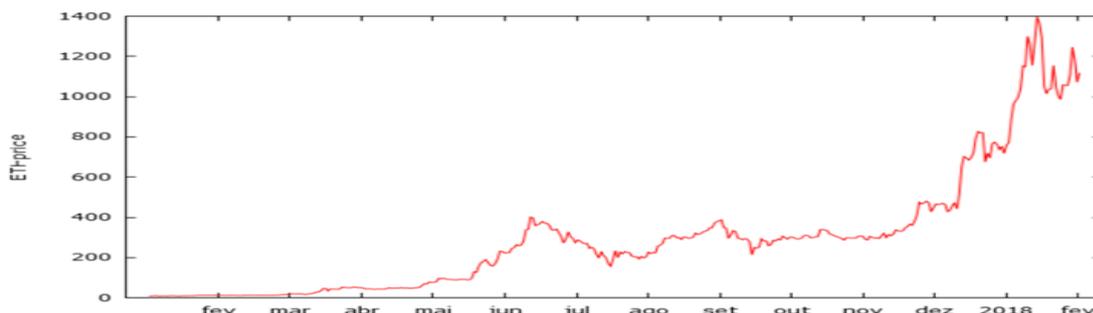


Figura 5 - Evolução do preço da *ethereum* em USD



Como se pode verificar da Figura 4, o preço da *bitcoin* teve na maior parte da amostra um crescimento linear até final de novembro de 2017, atingindo nessa altura o valor de 8000USD. A partir daí, nomeadamente nos primeiros dias de dezembro de 2017, regista-se um crescimento explosivo da *bitcoin*, com o valor de uma *bitcoin* a atingir quase os 20000USD. Esse crescimento explosivo pode ter como justificação a decisão do Japão em reconhecer onze empresas como casas de câmbio desta moeda digital em setembro de 2017. Com esta decisão, o Japão tornou-se o epicentro do mercado das *bitcoins*, reduzindo o papel anteriormente dominante da China. Por seu turno, a segunda metade do mês de dezembro de 2017 caracterizou-se por uma queda acentuada do preço da *bitcoin*, terminando o ano a valer aproximadamente 14000USD. No início de 2018, há novamente um crescimento acentuado do valor da *bitcoin*. No entanto, este crescimento é anulado quase imediatamente, com a

bitcoin a ter uma queda abrupta, com o seu preço a fixar-se nos 10000USD no final de janeiro de 2018. Conforme se pode observar na Figura 5, a evolução do preço da *ethereum*, ao longo de 2017, apresenta maior volatilidade quando comparada com a evolução do preço da *bitcoin*, seguindo no entanto as mesmas tendências. Também a partir do final do mês de Dezembro de 2017 é possível constatar um crescimento explosivo do preço da *ethereum*, verificando-se em seguida, e num curto espaço de tempo, uma inversão de tendência, com uma queda assinalável do seu preço, nomeadamente a partir de meados de Janeiro de 2018.

Figura 7 - Volume de transação da *bitcoin*

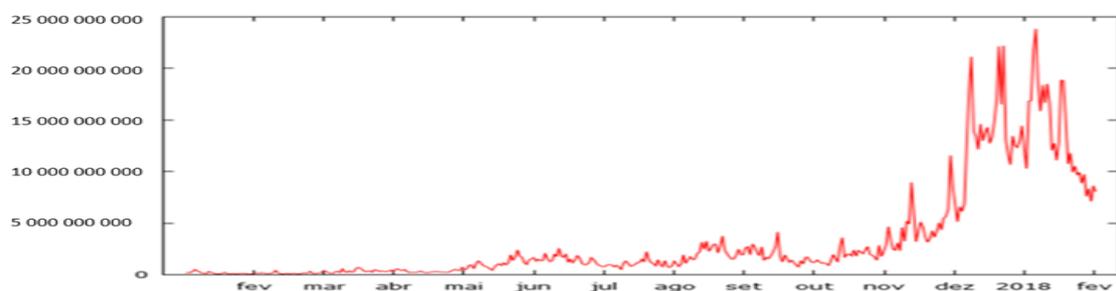
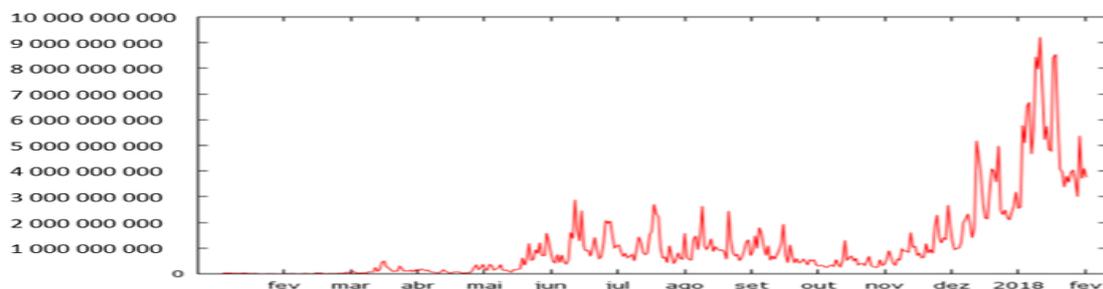


Figura 6 - Volume de transação da *ethereum*



Por seu turno, as Figuras 6 e 7 representam, respetivamente, a evolução do volume de transação da *bitcoin* e da *ethereum* no período em análise. Como se pode constatar, há um grande crescimento do volume de transação da *bitcoin* pela mesma altura em que há um grande aumento do preço. Deste modo, tudo parece indicar para que exista uma relação direta entre as duas variáveis (preço e volume de transação). No que diz respeito à evolução do volume de transação da *ethereum*, tal como no mercado da *bitcoin*, tudo parece indicar para

que o volume de transação da *ethereum* também se desloca no sentido das variações do preço.

Figura 9 - Capitalização da *bitcoin* em USD

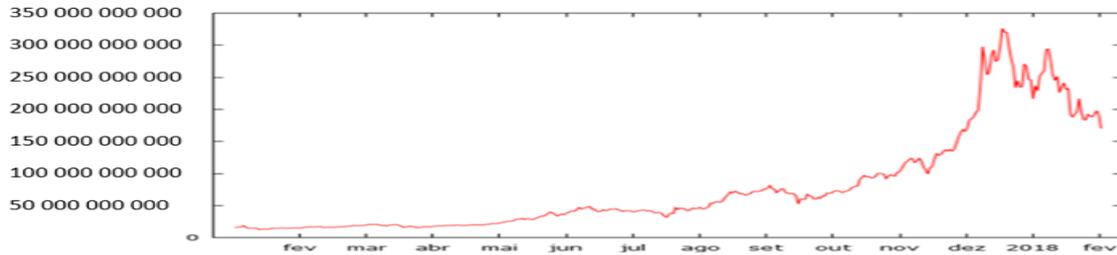
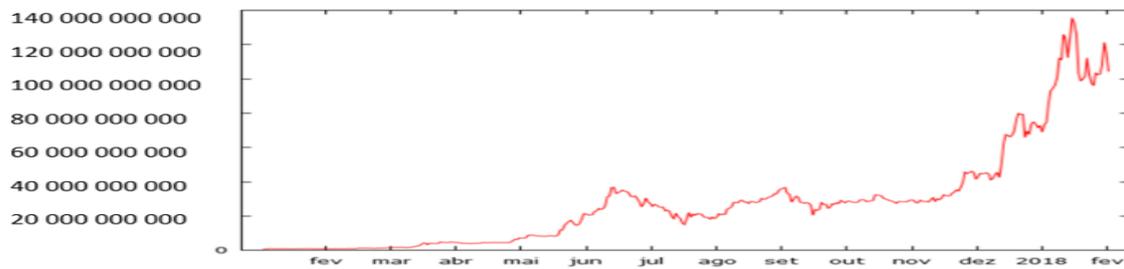


Figura 8 - Capitalização da *ethereum* em USD



Finalmente, as Figuras 8 e 9 representam as capitalizações da *bitcoin* e da *ethereum*, denominadas também em USD, respetivamente. A evolução das capitalizações é muito semelhante à evolução dos preços, o que parece significar, que no processo da capitalização os preços dominam os volumes.

Na Tabela 1 são apresentadas as principais estatísticas descritivas das variáveis.

Tabela 1 - Estatísticas descritivas das variáveis em níveis

Variáveis	Mínimo	Máximo	Mediana	Média
P_{BTC}	777,8	19497	2720	4716,8
P_{ETH}	8,2	1396,4	269,9	292,8
V_{BTC}	60,9	23841	1327	3246
V_{ETH}	4,7	9215	571,4	1098
C_{BTC}	12,48	326,1	44,5	78,1
C_{ETH}	0,70	135,5	25,1	27,6

Nota: Os dados diários dos preços, volumes de transação e capitalizações da *bitcoin* e *ethereum* (396 observações) foram recolhidos do *site* <https://coinmarketcap.com>. Os preços e as capitalizações estão denominados em USD. Os volumes estão expressos em milhões e as capitalizações em milhares de milhões.

Os preços médios da *bitcoin* e da *ethereum* durante o período em análise foram de 4716,8USD e 292,8USD, respetivamente, enquanto a mediana foi de 2720USD para a

bitcoin e de 269,87USD para a *ethereum*. Há uma grande variabilidade nos preços das duas moedas digitais, com os preços a variarem entre 777,8USD e 19497USD para a *bitcoin* e 8,2USD e 1396,4USD para a *ethereum*.

Durante o período em análise, os volumes médios foram de 1098 milhões de USD para a *ethereum* e 3246 milhões de USD para a *bitcoin*. Há também uma grande variabilidade dos volumes de transação das duas moedas digitais, com os volumes de transação a variarem entre 4,7 milhões e 9215 milhões de USD para a *ethereum* e entre 60,9 milhões e 23841 milhões de USD para a *bitcoin*. Os valores das capitalizações diárias são impressionantes: em média, a capitalização da *ethereum* foi de 27,6 mil milhões de USD, tendo atingido o máximo de 135,5 mil milhões de USD; a capitalização da *bitcoin*, em média, foi de 78,1 mil milhões de USD, tendo atingido um máximo de 326,1 mil milhões de USD.

Na Tabela 2, são apresentadas as estatísticas descritivas para as taxas de crescimento instantâneas, isto é, para as primeiras diferenças do logaritmo das variáveis.

Tabela 2 - Estatísticas descritivas das taxas de crescimento instantâneas

Variáveis	Mínimo	Máximo	Mediana	Média	Desvio-padrão	Coefficiente de variação	Assimetria	Excesso Curtose
Δp_{BTC}	-0,2075	0,2251	0,0086	0,0059	0,0510	8,647	-0,091	2,927
Δp_{ETH}	-0,3155	0,2901	0,0039	0,0125	0,0709	5,694	0,3819	3,339
Δv_{BTC}	-0,860	0,9876	0,0015	0,0101	0,3196	31,58	0,1717	-0,0003
Δv_{ETH}	-1,255	1,783	-0,0126	0,0140	0,4536	32,33	0,3717	0,4824
Δc_{BTC}	-0,2019	0,2236	0,0091	0,0061	0,0508	8,376	-0,0766	3,036
Δc_{ETH}	-0,2768	0,2866	0,0055	0,0128	0,0694	5,477	0,4114	2,748

Nota: Os dados diários dos preços, volumes de transação e capitalizações da *bitcoin* e *ethereum* foram recolhidos do site <https://coinmarketcap.com>. As variáveis respeitam às taxas de crescimento instantâneas; por exemplo $\Delta p_{BTC} = \ln(P_{BTC_t}) - \ln(P_{BTC_{t-1}})$, onde t representa o dia.

As estatísticas descritivas dos retornos (1ª diferença do logaritmo dos preços) demonstram que o valor médio foi de 0,59% para a *bitcoin* e 1,25% para a *ethereum*, portanto mais do dobro do que a *bitcoin*. A mediana do retorno da *bitcoin* encontra-se acima do retorno médio, enquanto o inverso verifica-se para a *ethereum*. A variabilidade dos retornos é assinalável. A *bitcoin* teve um retorno mínimo de -20,75% e um retorno máximo de 22,51%, enquanto a *ethereum* teve um retorno mínimo de -31,55% e um retorno máximo de 29,01%. Essa variabilidade também é bastante visível tendo em conta o coeficiente de variação na ordem de 8,6 e 5,7 para a *bitcoin* e *ethereum* respetivamente. A volatilidade é maior nos retornos da *ethereum* do que nos retornos da *bitcoin*, apresentando esta última

menor excesso de curtose. Sobressai ainda, destas estatísticas que enquanto a *bitcoin* apresenta uma assimetria negativa enquanto a *ethereum* apresenta uma assimetria positiva.

As taxas de crescimento dos volumes de transação apresentam uma variabilidade maior do que os retornos, tendo em conta a amplitude entre os valores mínimos e máximos, os desvios-padrão e os coeficientes de variação. Também aqui, nas taxas de variação dos volumes se nota a maior variabilidade da *ethereum* em relação à *bitcoin*. De notar o sinal negativo da mediana da taxa de variação do volume da *ethereum*, que traduz o facto de serem mais os dias com diminuição no volume (em relação ao dia anterior) do que aqueles dias onde o volume aumentou. As distribuições das taxas de variação do volume apresentam, para ambas as moedas digitais, assimetria positiva e curtoses muito próximas da distribuição normal.

Por último, salienta-se a maior proximidade entre as estatísticas a taxa de variação da capitalização e aquelas dos retornos do que entre as primeiras e as taxas de variação do volume, mais uma vez oferecendo indicação que é sobretudo o preço que domina o processo de evolução da capitalização das moedas.

4. Metodologia e resultados

O estudo da transmissão de informação entre os mercados da *bitcoin* e da *ethereum*, é efetuado através de modelos VAR. Numa primeira fase é analisada a transmissão de informação entre os dois mercados sem a imposição de qualquer condição, portanto trata-se de uma análise da dependência linear entre as variáveis. Numa segunda fase, é analisada a transmissão de informação entre os dois mercados distinguindo-se dois regimes na relação entre as variáveis relevantes, portanto trata-se de uma análise condicional onde se impõe a não-linearidade na dependência entre as séries.

Um modelo VAR consiste num conjunto de k equações relativas a k variáveis endógenas, $\mathbf{X} = (X_1, X_2, \dots, X_k)$. Em cada equação, o valor corrente da variável dependente é explicado pelos seus valores desfasados e pelos valores desfasados das restantes variáveis endógenas. Num modelo VAR de ordem p , a ordem p representa o número de desfasamentos a incluir de forma a eliminar a autocorrelação dos resíduos. Ou seja

$$\mathbf{X}_t = \alpha + \beta_1 \mathbf{X}_{t-1} + \beta_2 \mathbf{X}_{t-2} + \dots + \beta_p \mathbf{X}_{t-p} + \boldsymbol{\varepsilon}_t, \quad (1)$$

onde α é um vetor de constantes, ε_t é o vetor de termos de erro e os $\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_p$ são vetores de coeficientes das variáveis explicativas desfasadas.

Portanto, neste estudo, o VAR é aplicado a três vetores (bivariados) X : preços, volume de transação e capitalização, considerando os respetivos elementos para a *bitcoin* e a *ethereum*.

A segunda fase do estudo consiste em analisar a transmissão de informação entre os mercados da *Bitcoin* e da *Ethereum*, dado o valor de uma determinada variável *threshold*. Para isso consideram-se apenas dois regimes: no Regime 1 considera-se que o mercado *Ethereum* evolui mais rapidamente que o mercado *Bitcoin*, no Regime 2 considera-se que o mercado *Ethereum* evolui menos rápido (ou com a mesma rapidez) que o mercado *Bitcoin*. Portanto, existe um VAR para cada regime, e logo o modelo pode ser representado da seguinte forma:

$$\begin{cases} X_t^1 = \alpha^1 + \beta_1^1 X_{t-1}^1 + \dots + \beta_p^1 X_{t-p}^1 + \varepsilon_t, se z < 0 \\ X_t^2 = \alpha^2 + \beta_1^2 X_{t-1}^2 + \dots + \beta_p^2 X_{t-p}^2 + \varepsilon_t, se z \geq 0 \end{cases} \quad (2)$$

A variável *threshold* considerada é a diferença entre a taxa de crescimento absoluta da variável em estudo (preço, volume ou capitalização) durante os k dias anteriores, isto é

$$z = \left| \sum_{i=1}^K BTC_{t-i} \right| - \left| \sum_{i=1}^K ETH_{t-i} \right|, \quad (3)$$

onde *BTC* e *ETH* representam as tendências no mercado *Bitcoin* e *Ethereum*, respetivamente.

Por exemplo, se o estudo é sobre os “preços”, então $z = \left| \sum_{i=1}^K \Delta p_{BTC_{t-i}} \right| - \left| \sum_{i=1}^K \Delta p_{ETH_{t-i}} \right|$.

A expectativa é que o mercado com maior dinâmica seja aquele que transmite mais informação, portanto espera-se que no Regime 1 seja o mercado *Ethereum* a transmitir mais informação ao mercado *Bitcoin*, enquanto no Regime 2 seja o mercado *Bitcoin* a transmitir mais informação ao mercado *Ethereum*.

Estes modelos VAR com regimes são também estimados pelo método dos mínimos quadrados (OLS). Todavia, o problema não é trivial pois além de estimar os valores dos coeficientes β , é necessário determinar a longevidade da variável *threshold*, isto é k , e a memória do processo autoregressivo, isto é p . Portanto é efetuado um *loop* para os valores possíveis de $K = 1, 2, \dots, 20$ e considerando deterministicamente $p = 7$ (possibilidade de transmissão de informação dentro de 1 semana) o modelo escolhido é aquele que minimiza a soma do quadrado dos resíduos das quatro equações.

Como já se referiu, os resíduos dos modelos VAR (simples ou com regimes) são depois utilizados para realizar testes de significância conjunta (teste da estatística F ou teste de Wald), que devidamente especificados correspondem a testes de causalidade “à Granger”. Portanto a hipótese nula do teste é a seguinte: Não existe transmissão de informação de x para y se os parâmetros de x na equação y são todos nulos.

Por último, para cada modelo/variável foi estimado o modelo restrito considerando o procedimento de eliminação sequencial das variáveis explicativas considerando o valor- p .

4.1 Testes de raiz unitária

Previamente à estimação de um modelo VAR, é necessário assegurar que as variáveis utilizadas no modelo são estacionárias. Uma variável é estacionária se a sua média, variância e covariância permanecerem constantes ao longo do tempo. Para a análise das características de estacionaridade das séries são utilizados os testes de raiz unitária de Dickey-Fuller Aumentado (ADF). Contudo, antes da realização dos testes ADF, todas as variáveis foram transformadas aplicando a função logarítmica (os logaritmos das variáveis são denotadas pelas mesmas letras mas em minúsculas, por exemplo o logaritmo do preço da *bitcoin* é denotada por p_{BTC}). Caso uma determinada variável não seja estacionária, então deve ser transformada em primeiras diferenças. Recorde-se que uma série é integrada de ordem p , ou $I(p)$, se for necessária diferenciá-la p vezes até apresentar evidência de estacionaridade. A Tabela 3 apresenta os resultados dos testes ADF, os quais foram efetuados com a presença de uma constante e sem tendência.

Como se pode verificar todas as variáveis em níveis (após logaritmação) são $I(1)$ e portanto as suas primeiras diferenças (taxas instantâneas de variação) são estacionárias.

Em suma, tendo presentes estes resultados dos testes de estacionaridade, os modelos serão todos estimados considerando primeiras diferenças dos logaritmos, ou seja, utilizando taxas instantâneas de variação. A utilização destas variáveis facilita a tarefa de estimação dos modelos VAR com regimes, pois a variável *threshold*, está precisamente definida em função das taxas instantâneas de variação. Por uma questão de simplificação do texto, doravante omitimos as palavras “taxa instantânea de variação”, quando designamos a essas variáveis, i.e., por exemplo Δp_{BTC} é simplesmente retratada por preço da *bitcoin*.

Tabela 3 - Testes ADF de raiz unitária

Variável	Nº desfasamentos	Tau_c(1)	valor p	Ordem de integração
p_{BTC}	1	-0,458	0,8959	I(1)
Δp_{BTC}	1	-19,18	0,0000	I(0)
p_{ETH}	1	-1,526	0,5197	I(1)
Δp_{ETH}	1	-19,23	0,0000	I(0)
v_{BTC}	6	-0,659	0,8550	I(1)
Δv_{BTC}	5	-14,37	0,0000	I(0)
v_{ETH}	3	-1,722	0,4203	I(1)
Δv_{ETH}	2	-19,09	0,0000	I(0)
c_{BTC}	1	-0,493	0,8894	I(1)
Δc_{BTC}	1	-18,96	0,0000	I(0)
c_{ETH}	1	-1,591	0,4863	I(1)
Δc_{ETH}	1	-18,67	0,0000	I(0)

Nota: Os testes ADF consideram uma constante, ausência de tendência, e o número de desfasamentos escolhido de acordo com o Critério de Informação Bayesiano (BIC).

4.2 Análise linear. Aplicação de modelos VAR simples.

A ordem dos VARs foi escolhida de acordo com o Critério de Informação Bayesiano (BIC). Para os preços e capitalizações foi apenas considerado um desfasamento e para os volumes foram utilizados 2 desfasamentos. Os resultados da estimação dos modelos VAR para os preços, volumes e capitalizações estão apresentados na Tabela 4.

Portanto, parece não existir qualquer dependência linear entre o preço da *bitcoin* e o preço da *ethereum* pelo menos para informação desfasada pelo menos um dia. Logo não existe qualquer causalidade “à Granger” entre os preços destas duas moedas digitais. Os resultados do volume são algo diferentes, não existindo transmissão de informação da *ethereum* para a *bitcoin*, mas existindo essa transmissão da *bitcoin* para a *ethereum* (causalidade unidirecional), sobretudo com dois dias de antecedência. Tendo em conta estes resultados, e a ilação anterior de que o processo da capitalização é dominado pelo preço, não é de estranhar que a ausência de causalidade nos preços contagie os resultados para as capitalizações. Efetivamente, também para esta variável não existe causalidade “à Granger”.

Tabela 4 - Modelos VAR para os preços, volumes e capitalizações

Variáveis explicativas	Preços	
	Δp_{BTC}	Δp_{ETH}
Constante	0,0064** (0,0026)	0,0120*** (0,0035)
$\Delta p_{BTC_{t-1}}$	0,0792 (0,0633)	0,0399 (0,0632)
$\Delta p_{ETH_{t-1}}$	-0,0815 (0,0522)	0,0170 (0,0656)
R^2 Ajustado	0,0066	-0,0036
Variáveis explicativas	Volumes	
	Δv_{BTC}	Δv_{ETH}
Constante	0,0138 (0,0118)	0,0186 (0,0184)
$\Delta v_{BTC_{t-1}}$	-0,1783** (0,0711)	0,1049 (0,1010)
$\Delta v_{BTC_{t-2}}$	-0,2951*** (0,0563)	-0,1737** (0,086)
$\Delta v_{ETH_{t-1}}$	-0,0264 (0,0445)	-0,2834*** (0,0624)
$\Delta v_{ETH_{t-2}}$	0,0514 (0,0415)	-0,1300* (0,0693)
R^2 Ajustado	0,0831	0,089
Variáveis explicativas	Capitalizações	
	Δc_{BTC}	Δc_{ETH}
Constante	0,0065** (0,0026)	0,0118*** (0,0034)
$\Delta c_{BTC_{t-1}}$	0,0807 (0,0636)	0,0492 (0,0626)
$\Delta c_{ETH_{t-1}}$	-0,0784 (0,0516)	0,0404 (0,0596)
R^2 Ajustado	0,0058	-0,0010

Nota: O número ótimo de defasamentos foi escolhido de acordo com o Critério de Informação Bayesiano (BIC). Os valores dentro de parênteses respeitam ao desvio-padrão. Os asteriscos denotam o nível de significância dos coeficientes das variáveis explicativas. “*”, “**”, “***” representam significância estatística a 10%, 5% e 1%, respectivamente.

4.3 Análise não linear. Modelos VAR com regimes

Para os preços, a minimização da soma do quadrado dos resíduos determinou que na construção da variável *threshold* fossem incluídos 13 defasamentos das taxas de retorno, $K = 13$. Na Tabela 5 são apresentados os resultados da estimação do modelo VAR com regimes para os preços.

Tabela 5 - Modelo VAR com regimes para os preços

Variáveis explicativas	Regime 1		Regime 2	
	Δp_{BTC}_t	Δp_{ETH}_t	Δp_{BTC}_t	Δp_{ETH}_t
constante	0,0062 (0,0044)	0,0125* (0,0068)	0,0126*** (0,0038)	0,0083** (0,0038)
Δp_{BTC}_{t-1}	0,1260 (0,0862)	0,0494 (0,1363)	0,1602 (0,1101)	0,0358 (0,0803)
Δp_{BTC}_{t-2}	0,0729 (0,0966)	-0,0615 (0,1462)	-0,1986** (0,0946)	0,1365 (0,0913)
Δp_{BTC}_{t-3}	0,0885 (0,0947)	-0,1124 (0,1296)	-0,0093 (0,0863)	-0,2283** (0,0977)
Δp_{BTC}_{t-4}	-0,0442 (0,0874)	0,2264** (0,0931)	-0,2432*** (0,0822)	-0,1533 (0,094)
Δp_{BTC}_{t-5}	0,0074 (0,0848)	0,0445 (0,1188)	0,1639 (0,1116)	0,1660 (0,1533)
Δp_{BTC}_{t-6}	-0,0284 (0,0919)	-0,2384** (0,1103)	-0,1059 (0,0754)	0,0485 (0,0963)
Δp_{BTC}_{t-7}	0,0230 (0,0852)	0,1094 (0,1141)	-0,0641 (0,0845)	0,0123 (0,1026)
Δp_{ETH}_{t-1}	-0,0511 (0,0474)	0,0038 (0,0777)	-0,2206** (0,1063)	0,0861 (0,1028)
Δp_{ETH}_{t-2}	-0,0367 (0,0569)	0,0005 (0,1054)	0,2152** (0,0840)	-0,0002 (0,0944)
Δp_{ETH}_{t-3}	-0,0202 (0,0523)	0,0154 (0,0903)	-0,0579 (0,0723)	0,1311 (0,0946)
Δp_{ETH}_{t-4}	0,0397 (0,0468)	0,0579 (0,0731)	0,0779 (0,0834)	-0,0101 (0,0943)
Δp_{ETH}_{t-5}	-0,0053 (0,0478)	-0,0148 (0,0814)	-0,0769 (0,0806)	0,0266 (0,0903)
Δp_{ETH}_{t-6}	0,0192 (0,0575)	0,1167 (0,0885)	0,1477* (0,0754)	0,0195 (0,0931)
Δp_{ETH}_{t-7}	-0,0773 (0,0500)	-0,0966 (0,0665)	0,0905 (0,0919)	0,0801 (0,1241)
R^2 Ajustado	-0,0303	-0,0203	0,0754	0,0548
Teste F	0,8259 (0,5668)	1,4600 (0,1834)	2,5770** (0,0155)	2,3393** (0,0271)

Nota: Os valores dentro de parênteses respeitam ao desvio-padrão, exceto na última linha que respeita ao valor-p do teste F. Os asteriscos “*”, “**”, “***” denotam significância estatística aos níveis de 10%, 5% e 1%, respectivamente. O teste F corresponde ao teste de significância conjunta ou teste de Wald. Na realização do teste F, as variáveis omitidas correspondem aos valores desfasados da variável x em relação à variável y. Por exemplo, quando a variável dependente é Δp_{BTC}_t , são omitidos os desfasamentos da variável Δp_{ETH}_t .

Os resultados são diferentes do esperado. No Regime 1, parece existir alguma transmissão de informação da *bitcoin* para a *ethereum*, todavia essa transmissão é meramente marginal, e portanto no seu conjunto parece não existir causalidade entre os preços das duas moedas digitais. No Regime 2, quando o preço da *bitcoin* tem uma evolução mais marcada,

existe transmissão de informação da *ethereum* para a *bitcoin* (*lags* 1 e 2, a 5%) e da *bitcoin* para a *ethereum* (*lag* 3, a 5%). Em termos conjuntos existe causalidade à Granger, no período de 1 semana ao nível de significância de 5%.

De seguida, procedeu-se à eliminação sequencial das variáveis explicativas usando o valor-*p* (ver Tabela 6).

Tabela 6 - Versão restrita do VAR com regimes para os preços

Variáveis explicativas	Regime 1		Regime 2	
	Δp_{BTC_t}	Δp_{ETH_t}	Δp_{BTC_t}	Δp_{ETH_t}
constante	0,0066* (0,0034)	0,0135*** (0,0049)	0,0128*** (0,0043)	0,0136*** (0,0044)
$\Delta p_{BTC_{t-2}}$	-	-	-0,1381* (0,0821)	-
$\Delta p_{BTC_{t-3}}$	-	-	-	-0,194** (0,0947)
$\Delta p_{BTC_{t-4}}$	-	0,2017* (0,1046)	-0,1619** (0,0702)	-0,1896** (0,0930)
$\Delta p_{ETH_{t-1}}$	-	-	-0,1901** (0,0830)	-
$\Delta p_{ETH_{t-2}}$	-	-	0,1218* (0,0659)	-
$\Delta p_{ETH_{t-7}}$	-0,0725* (0,0438)	-	-	-
R^2 Ajustado	0,0082	0,0069	0,0600	0,0584

Nota: Os valores dentro de parênteses respeitam ao desvio-padrão. Os asteriscos denotam o nível de significância dos coeficientes das variáveis explicativas. “*”, “**”, “***” representam significância estatística a 10%, 5% e 1%, respetivamente.

Os resultados presentes nesta tabela, reforçam as conclusões anteriores. No Regime 1, quando a *ethereum* é mais ativa apenas existe alguma significância marginal nas variáveis desfasadas, todavia no Regime 2 existe transmissão bidirecional de informação entre a *ethereum* e a *bitcoin*. Esta versão restrita põe também em evidência que leva pelo menos dois dias à informação da *ethereum* ser incorporada no preço da *bitcoin*, enquanto o desfasamento é maior, até 4 dias, para a transmissão de informação da *bitcoin* para a *ethereum*.

Para o volume de transação, a minimização da soma do quadrado dos resíduos determinou que a variável *threshold* deveria incluir 18 desfasamentos. Na Tabela 7 são apresentados os resultados do modelo VAR com regimes para o volume de transação. Para

esta variável, os resultados apontam agora para que a transmissão de informação ocorre apenas no Regime 1 da *bitcoin* para a *ethereum* (teste F de significância conjunta estatisticamente significativo ao nível de 5%)

Tabela 7 - Modelo VAR com regimes para os volumes de transação

Variáveis explicativas	Regime 1		Regime 2	
	Δv_{BTC}_t	Δv_{ETH}_t	Δv_{BTC}_t	Δv_{ETH}_t
constante	0,0171 (0,0217)	0,0485* (0,0257)	0,0366 (0,0238)	0,0376 (0,0412)
Δv_{BTC}_{t-1}	-0,355*** (0,0964)	0,0137 (0,1388)	-0,1779 (0,1181)	0,0560 (0,1793)
Δv_{BTC}_{t-2}	-0,4714*** (0,0966)	-0,2612* (0,1436)	-0,2966** (0,1153)	-0,1508 (0,1659)
Δv_{BTC}_{t-3}	-0,2868** (0,1247)	-0,1059 (0,1585)	-0,1479 (0,0922)	-0,1666 (0,1644)
Δv_{BTC}_{t-4}	-0,4280*** (0,0848)	-0,3077** (0,1250)	0,0920 (0,1060)	0,1115 (0,1955)
Δv_{BTC}_{t-5}	-0,3253*** (0,0845)	-0,352*** (0,1341)	-0,2380* (0,1265)	0,0616 (0,1921)
Δv_{BTC}_{t-6}	-0,1681** (0,0801)	-0,0209 (0,1331)	-0,078 (0,1133)	0,0272 (0,1523)
Δv_{BTC}_{t-7}	0,0426 (0,0871)	-0,0773 (0,0836)	-0,0641 (0,085)	-0,1630 (0,1075)
Δv_{ETH}_{t-1}	-0,0266 (0,0620)	-0,3868*** (0,0931)	-0,019 (0,0818)	-0,0442 (0,1450)
Δv_{ETH}_{t-2}	0,0669 (0,0552)	-0,2081** (0,086)	-0,0147 (0,0744)	-0,0927 (0,1273)
Δv_{ETH}_{t-3}	0,0893 (0,0705)	-0,1022 (0,1067)	-0,1282* (0,0708)	-0,1100 (0,1249)
Δv_{ETH}_{t-4}	0,0836 (0,0548)	-0,0419 (0,0802)	-0,0982 (0,0729)	-0,0101 (0,1413)
Δv_{ETH}_{t-5}	0,0918 (0,0580)	0,0280 (0,087)	0,0140 (0,0855)	-0,1047 (0,1139)
Δv_{ETH}_{t-6}	0,0349 (0,072)	-0,0558 (0,0845)	-0,0077 (0,0764)	0,08 (0,1024)
Δv_{ETH}_{t-7}	0,0079 (0,0625)	-0,0878 (0,0866)	0,0538 (0,0641)	0,0614 (0,0767)
R ² Ajustado	0,1940	0,2031	0,1041	-0,0153
Teste F	1,1182 (0,3524)	2,3229 (0,0263)	1,5343 (0,1621)	1,5193 (0,1670)

Nota: Os valores dentro de parênteses respeitam ao desvio-padrão, exceto na última linha que respeita ao valor-p do teste F. Os asteriscos “*”, “***”, “*****” denotam significância estatística aos níveis de 10%, 5% e 1%, respectivamente. O teste F corresponde ao teste de significância conjunta ou teste de Wald. Na realização do teste F, as variáveis omitidas correspondem aos valores desfasados da variável x em relação à variável y. Por exemplo, quando a variável dependente é Δp_{BTC}_t , são omitidos os desfasamentos da variável Δp_{ETH}_t .

Os resultados da versão restrita do VAR com regimes (Tabela 8) põem em evidência que é precisamente no Regime 1 onde ocorre alguma transmissão de informação entre o volume dos dois mercados, mas apenas da *bitcoin* para a *ethereum*, no *lag* 2, a 5% e nos *lags* 4 e 5 a 1%. Note-se também que os coeficientes de determinação das duas equações neste regime assume valores razoáveis, à volta de 20%.

Tabela 8 - Versão restrita do VAR com regimes para os volumes de transação

Variáveis explicativas	Regime 1		Regime 2	
	Δv_{BTC}_t	Δv_{ETH}_t	Δv_{BTC}_t	Δv_{ETH}_t
constante	0,0202 (0,0203)	0,0445 (0,0255)	0,0372 (0,0234)	0,0400 (0,037)
Δv_{BTC}_{t-1}	-0,3718*** (0,066)	-	-0,1754* (0,0916)	-
Δv_{BTC}_{t-2}	-0,4048*** (0,0693)	-0,2541** (0,1218)	-0,2991*** (0,0791)	-0,2362** (0,1089)
Δv_{BTC}_{t-3}	-0,1838** (0,0745)	-	-0,2326*** (0,0645)	-0,2484** (0,1195)
Δv_{BTC}_{t-4}	-0,3473*** (0,0684)	-0,307214*** (0,1031)	-	-
Δv_{BTC}_{t-5}	-0,2599*** (0,056)	-0,3311*** (0,0790)	-0,1918*** (0,0691)	-
Δv_{BTC}_{t-6}	-0,1501** (0,0670)	-	-	-
Δv_{ETH}_{t-1}	-	-0,3647*** (0,0566)	-	-
Δv_{ETH}_{t-2}	-	-0,2064*** (0,0764)	-	-
Δv_{ETH}_{t-3}	-	-0,1407** (0,0705)	-	-
R^2 Ajustado	0,1998	0,2134	0,1355	0,0454

Nota: Os valores dentro de parênteses respeitam ao desvio-padrão. Os asteriscos denotam o nível de significância dos coeficientes das variáveis explicativas. “*”, “**”, “***” representam significância estatística a 10%, 5% e 1%, respetivamente.

Para a variável capitalização, a variável *threshold* inclui 19 desfasamentos. Os resultados do VAR com regimes na versão alargada e na versão restritas encontram-se na Tabela 9 e Tabela 10, respetivamente. Estes resultados estão mais próximos daqueles dos preços do que dos resultados do volume de transação. No Regime 1 não há sinais de transmissão de informação entre os dois mercados, mas no Regime 2 existe suporte estatístico para concluir pela causalidade “à Granger” bidirecional, nomeadamente com a transmissão de informação desfasada 1 dia da *ethereum* para a *bitcoin* (ao nível de significância de 5%), mas sobretudo da *bitcoin* para a *ethereum* desfasada 3 dias (ao nível

de significância de 1%). Ambos os testes de significância conjunta apresentam significância estatística ao nível de 5% no Regime 2.

Tabela 9 - Modelo VAR com regimes para as capitalizações

Variáveis dependentes	Regime 1		Regime 2	
	Δc_{BTC}_t	Δc_{ETH}_t	Δc_{BTC}_t	Δc_{ETH}_t
constante	0,0037 (0,0039)	0,0066 (0,0056)	0,0111*** (0,0036)	0,0146*** (0,0045)
Δc_{BTC}_{t-1}	-0,0116 (0,0881)	-0,0003 (0,1113)	0,2286 (0,1399)	0,0906 (0,0709)
Δc_{BTC}_{t-2}	0,0758 (0,0743)	-0,0435 (0,1370)	-0,1545 (0,1044)	0,0805 (0,0762)
Δc_{BTC}_{t-3}	-0,0058 (0,076)	-0,0865 (0,1069)	-0,0534 (0,0973)	-0,3098*** (0,0947)
Δc_{BTC}_{t-4}	-0,1999*** (0,0695)	-0,0440 (0,1084)	0,0342 (0,0716)	0,1205 (0,1029)
Δc_{BTC}_{t-5}	0,0362 (0,0837)	0,0646 (0,0914)	0,0716 (0,0722)	0,0534 (0,1588)
Δc_{BTC}_{t-6}	-0,0386 (0,0979)	-0,2178** (0,0990)	-0,0312 (0,0937)	0,0506 (0,1126)
Δc_{BTC}_{t-7}	0,0210 (0,0846)	0,0910 (0,1012)	-0,0011 (0,0854)	0,0046 (0,1133)
Δc_{ETH}_{t-1}	-0,0143 (0,0478)	0,0516 (0,0759)	-0,2145** (0,1071)	0,1139 (0,1013)
Δc_{ETH}_{t-2}	-0,0164 (0,063)	0,0405 (0,1085)	0,0992 (0,0705)	-0,0554 (0,0804)
Δc_{ETH}_{t-3}	-0,0043 (0,0442)	0,0348 (0,0786)	-0,0516 (0,0665)	0,0069 (0,0991)
Δc_{ETH}_{t-4}	0,0268 (0,0508)	0,0466 (0,0657)	0,1379* (0,0742)	0,0005 (0,1052)
Δc_{ETH}_{t-5}	-0,0149 (0,0452)	0,0036 (0,0743)	0,0778 (0,0655)	0,0683 (0,0947)
Δc_{ETH}_{t-6}	0,0592 (0,0501)	0,1536** (0,0756)	-0,0247 (0,0649)	-0,1214 (0,0835)
Δc_{ETH}_{t-7}	-0,0664 (0,0540)	-0,0845 (0,0618)	0,0696 (0,0942)	0,1539 (0,0957)
R^2 Ajustado	-0,0102	-0,0263	0,0827	0,0626
Teste F	0,5184 (0,8201)	1,2430 (0,2805)	2,3170 (0,0290)	2,4137 (0,0232)

Nota: Os valores dentro de parênteses respeitam ao desvio-padrão, exceto na última linha que respeita ao valor-p do teste F. Os asteriscos “*”, “**”, “***” denotam significância estatística aos níveis de 10%, 5% e 1%, respectivamente. O teste F corresponde ao teste de significância conjunta ou teste de Wald. Na realização do teste F, as variáveis omitidas correspondem aos valores desfasados da variável x em relação à variável y. Por exemplo, quando a variável dependente é Δp_{BTC}_t , são omitidos os desfasamentos da variável Δp_{ETH}_t .

Tabela 10 - Versão restrita do VAR com regimes para as capitalizações

Variáveis explicativas	Regime 1		Regime 2	
	ΔC_{BTC}_t	ΔC_{ETH}_t	ΔC_{BTC}_t	ΔC_{ETH}_t
constante	0,0033 (0,0035)	0,0082 (0,0052)	0,0113*** (0,0035)	0,0182*** (0,0039)
ΔC_{BTC}_{t-1}	-	-	-	0,1560** (0,0705)
ΔC_{BTC}_{t-3}	-	-	-	-0,2785*** (0,0902)
ΔC_{BTC}_{t-4}	-0,1780** (0,0716)	-	-	-
ΔC_{BTC}_{t-5}	-	-	0,1200** (0,0606)	-
ΔC_{BTC}_{t-6}	-	-0,2060** (0,0983)	-	-
ΔC_{ETH}_{t-1}	-	-	-0,1865** (0,0744)	-
ΔC_{ETH}_{t-4}	-	-	0,1359** (0,0656)	-
ΔC_{ETH}_{t-6}	-	0,1516* (0,0779)	-	-
R^2 Ajustado	0,0269	0,0132	0,0597	0,0805

Nota: Os valores dentro de parênteses respeitam ao desvio-padrão. Os asteriscos denotam o nível de significância dos coeficientes das variáveis explicativas. “*”, “**”, “***” representam significância estatística a 10%, 5% e 1%, respetivamente.

Os resultados da Tabela 10 sobre a versão restrita do VAR com regimes, indica que é no Regime 2 que se dá a maior transmissão de informação desfasada, passado informação da *ethereum* para a *bitcoin* de 1 a 4 desfasamentos e da *bitcoin* para a *ethereum* de 1 a 3 desfasamentos. Todavia os R^2 são bastante baixos.

5. Conclusão

Este Trabalho de Projeto teve por objetivo investigar a transmissão de informação entre as duas mais importantes moedas digitais, a *Bitcoin* e a *Ethereum*, usando dados bastante recentes, quando estas moedas digitais estavam em frenesim de transação, entre 1 de janeiro de 2017 até 31 de janeiro de 2018. Para esse fim, foram utilizados modelos VAR, os quais permitem a análise da causalidade “à Granger”. A análise dos modelos VAR foi dividida em duas abordagens: uma mais simples, sobre a relação de dependência linear entre as variáveis e outra mais complexa, numa tentativa de captação de eventuais relações não

lineares entre as variáveis, condicionais a determinadas situações de mercado. A abordagem não linear, considera uma variável de *threshold* que divide a amostra em dois regimes consoante a atividade relativa. Foram utilizadas três dimensões para analisar a relação entre os dois mercados de moedas digitais: o preço, o volume de transação e capitalização, sendo que esta última é o resultado das duas primeiras variáveis.

Primeiro, seria de esperar que a *Bitcoin* dominasse globalmente a transmissão de informação em qualquer das dimensões, devido à sua maturidade, volume de transação e projeção nas redes sociais e nas notícias dos meios de comunicação social. Tal não veio a verificar-se. Parece não existir qualquer transmissão de informação desfasada entre os dois mercados em termos de preços e capitalizações, pelo menos numa frequência diária. Em termos de volume consegue-se detetar alguma transmissão marginal da *bitcoin* para a *ethereum* com um desfasamento de pelo menos dois dias. Portanto, em termos globais para uma periodicidade diária parece que os dois mercados estiveram desconectados durante o período em análise.

A abordagem não linear vem contudo revelar que existe transmissão de informação quando a atividade é superior no mercado *Bitcoin* do que no mercado *Ethereum*, e que a causalidade ocorre de forma bidirecional quer em termos de preços quer em termos de capitalização. Uma possível justificação para estes resultados é que quando o mercado *Bitcoin* está menos ativo, os *traders* repartem-se pelos dois mercados passando informação que é relevante, a observação dum determinado mercado revela assim informação relevante para as transações no outro mercado.

Estes resultados devem ser interpretados de forma cautelosa, pois o facto de não se detetar transmissão de informação desfasada não significa que os mercados estão desconectados, na verdade pode significar o oposto, que os mercados estão intimamente relacionados e que essa relação ocorre em questão de horas ou mesmo minutos, e portanto indetetáveis utilizando uma periodicidade diária.

Como se afirmou no início este é um trabalho exploratório sobre as relações de transmissão de informação ente moedas digitais. Muito há que fazer nesta temática. Por exemplo aumentar o período amostral, incluir outras moedas digitais, testar outras variáveis *threshold*, utilizar dados de alta frequência, etc.. Mas isso fica para trabalho futuro.

Bibliografia

- Bação, P., Duarte, A. P., Sebastião, H., & Redzepagic, S. (2018). Information transmission between cryptocurrencies: does Bitcoin rule the cryptocurrency world?. *Scientific Annals of Economics and Business*, 65(2), 97-117.
- Baur, D. G., Hong, K., & Lee, A. D. (2018). Bitcoin: medium of exchange or speculative assets?. *Journal of International Financial Markets, Institutions & Money*, 54, 177-189.
- Böhme, R., Christin, N., Edelman, B., & Moore, T. (2015). Bitcoin: economics, technology, and governance. *Journal of Economic Perspectives*, 29(2), 213-238.
- Brandvold, M.; Molnár, P., Vagstad, K. & Valstad, O. C. A. (2015). Price Discovery on Bitcoin Exchanges. *Journal of International Financial Markets, Institutions & Money*, 36, 18-35.
- Brito, J., & Castillo, A. (2013). *Bitcoin: A primer for policymakers*. first ed, Mercatus Center at George Mason University, Arlington, VA.
- Cheung, A., Roca, E., & Su, J. J. (2015). Crypto-currency bubbles: an application of the Phillips–Shi–Yu (2013) methodology on Mt. Gox bitcoin prices. *Applied Economics*, 47(23), 2348-2358.
- Chuen, D. L. K. (2015). *Handbook of digital currency: Bitcoin, innovation, financial instruments, and big data*. Academic Press.
- Coletti, P. (2015). Bitcoin's baby: blockchain's 'tamper-proof' revolution'. *BBC News*. Disponível em: <https://www.bbc.com/news/technology-32781244>.
- DeRose, C. (2015). Why the Bitcoin Blockchain Beats Out Competitors. *American Banker*. Disponível em: <https://www.americanbanker.com/opinion/why-the-bitcoin-blockchain-beats-out-competitors>.
- Dodd, N. (2018). The social life of Bitcoin. *Theory, culture & society*, 35(3), 35-56.
- Fobe, N. J. (2016). *O bitcoin como moeda paralela: uma visão econômica e a multiplicidade de desdobramentos jurídicos*. Doctoral dissertation, Escola de Direito de São Paulo, Fundação Getulio Vargas. Disponível em: <https://bibliotecadigital.fgv.br/dspace/>
- Gandal, N., & Halaburda, H. (2014). Competition in the cryptocurrency market. *CESifo Working Paper Series*, 4980. Disponível em: http://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=2506577.
- Glaser, F., Zimmermann, K., Haferkorn, M., Weber, M. C., & Siering, M. (2014). *Bitcoin - asset or currency? Revealing users' hidden intentions*. Paper presented at the Twenty Second European Conference on Information Systems, Tel Aviv.
- Hafner, C. (2018). Testing for bubbles in cryptocurrencies with time-varying volatility. *IRTG 1792 Discussion Paper 2018-005*, Université catholique de Louvain, Belgium
- Iavorschi, M. (2013). The bitcoin project and the free market. *CES Working Papers*, 5(4), 529-534.
- Jain, A., Arora, S., Shukla, Y., Patil, T. B., & Sawant-Patil, S. T. (2018). Proof of Stake with Casper the Friendly Finality Gadget Protocol for Fair Validation Consensus in Ethereum. *International Journal of Scientific Research in Computer Science, Engineering and Information Technology*, 3(3), 291-298.
- Jain, A., Jain, A., Chauhan, N., Singh, V., & Thakur, N. (2018). Seguro Digital storage of documents using Blockchain. *International Research Journal of Engineering and Technology*, 5(4), 4951-4954.
- Kamiński, C., Souto, E., Rocha, J., Domingues, M., Callado, A., & Sadok, D. (2005, July). Colaboração na internet e a tecnologia peer-to-peer. In *XXV Congresso da Sociedade Brasileira de Computação–SBC2005* (Cap. 25).

- Kaskaloglu, K. (2014). Near zero Bitcoin transaction fees cannot last forever. In *The International Conference on Digital Security and Forensics (DigitalSec2014)* (pp. 91-99). The Society of Digital Information and Wireless Communication.
- Lo, S., & Wang, J. C. (2014). Bitcoin as money?. *Boston Federal Reserve, Current Policy Perspectives*, 14(4), 2-28.
- Lu, L. (2018). Bitcoin: speculative bubble, financial risk and regulatory response. *Butterworths Journal of International Banking and Financial Law*, 33(3), 178-182.
- Mascarenhas, J. Z., Vieira, A. B., & Ziviani, A. (2018). Análise da rede de transações do Ethereum. *Workshop em Blockchain: Teoria, Tecnologias e Aplicações, 1(1)*. Disponível em: <https://portaldeconteudo.sbc.org.br/index.php/wblockchain/article/view/2352>.
- Nakamoto, S. (2008). Bitcoin: A peer-to-peer electronic cash system. 1-9. Disponível em: <https://bitcoin.org/bitcoin.pdf>.
- Omohundro, S. (2014). Cryptocurrencies, smart contracts, and artificial intelligence. *AI matters*, 1(2), 19-21.
- Paralkar, K., Yadav, S., Kumari, S., Kulkarni, A., & Pingat, S. P. (2018). Photogroup: Decentralized Web Application Using Ethereum Blockchain. *International Research Journal of Engineering and Technology*, 5(4), 489-492.
- Pires, H. F. (2017). Bitcoin: a moeda do ciberespaço. *GEOUSP: Espaço e Tempo (Online)*, 21(2), 407-424.
- Prathyusha, T., Kavya, M., & Akshita, P. S. L. (2018). Block chain technology. *International Journal of Computer & Mathematical Sciences*, 7(3), 232-237.
- Sebastião, H., Duarte, A. P., & Guerreiro, G. (2017). Where is the information on USD/Bitcoin hourly prices. *Notas Económicas*, 45, 7-25.
- Sonderegger, D. (2015). A regulatory and economic perplexity: Bitcoin needs just a bit of regulation. *Wash. UJL & Pol'y*, 47, 175-216.
- Szabo, N. (1997). Formalizing and securing relationships on public networks. *First Monday*, 2(9).
- Ulrich, F. (2017). *Bitcoin: a moeda na era digital*. LVM Editora.
- Wallace, B. (2011). The rise and fall of Bitcoin. *Wired*, 19(12). Disponível em: https://www.wired.com/2011/11/mf_bitcoin/.
- Wood, G. (2014). Ethereum: A secure decentralised generalised transaction ledger. *Ethereum project yellow paper*, 151, 1-32. Disponível em: <http://gavwood.com/paper.pdf>
- Yelowitz, A., & Wilson, M. (2015). Characteristics of Bitcoin users: an analysis of Google search data. *Applied Economics Letters*, 22(13), 1030-1036.
- Yermack, D. (2015). Is Bitcoin a real currency? An economic appraisal. In *Handbook of digital currency*, 31-44.