
Criptomoedas Sustentáveis vs. Tradicionais: Efeitos de Sazonalidade e Dinâmicas de Mercado

Diogo Barbosa Esteves

Dissertação

Mestrado em Economia e Administração de Empresas

Orientado por

Ph.D. Júlio Fernando Seara Sequeira da Mota Lobão

2026

Agradecimentos

O processo de escrita de uma Dissertação de Mestrado, envolve muitos pontos negativos e positivos, quer no processo criativo de escrita, bem como na investigação sobre o tema complexo tratado. Felizmente, tive a sorte de estar rodeado por pessoas que, sem dúvida, ajudaram a tornar mais fáceis as diversas adversidades que enfrentei e por quem sou eternamente grato.

Acima de tudo, gostaria de expressar a minha gratidão ao Professor Dr. Júlio Lobão, que foi o meu orientador. Sem o seu apoio, orientação, disponibilidade e “*insights*” fundamentais para abordar este complexo tema de forma aberta e pelo qual não possuía conhecimento prévio, não teria conseguido terminar esta dissertação.

Gostaria de agradecer à minha família, aos avós Herculano, Alcina e Maria, porque sei que estão orgulhosos por alcançar esta meta e pelo incentivo constante em conseguir o “canudo”, aos meus pais e irmã, por nunca terem deixado de apoiar o meu percurso académico, por sempre apoiarem as minhas decisões ao longo desta jornada e pela ajuda permanente de todas as formas imagináveis. Gostaria de deixar um agradecimento especial ao meu avô Nelson, que está lá em cima a ver o meu sucesso académico e profissional, sendo que foi o principal responsável pelo gosto na área financeira e económica.

Para finalizar, aos meus amigos e colegas de faculdade que me acompanharam ao longo de todo o meu percurso académico e me proporcionaram bons momentos de confraternização e amizade. A todos os professores do meu percurso académico, quero deixar um agradecimento especial, por me terem moldado como um homem e acompanhando sempre a minha jornada.

Abstract

This dissertation analyzes the existence of seasonal anomalies in sustainable and traditional cryptocurrencies, seeking to evaluate whether environmentally sustainable digital assets exhibit different market efficiency patterns from conventional cryptocurrencies. The study focuses on daily data collected between January 2019 and December 2024 for Bitcoin (BTC), Ethereum (ETH), Cardano (ADA), Algorand (ALGO), Solana (SOL), and Chia (XCH).

The empirical analysis is based on econometric time-series methods, including dummy variable regressions, ARIMA models and GARCH specifications, allowing the identification of calendar effects in both returns and volatility. In particular, the study examines the day-of-the-week effect and monthly seasonal patterns across the selected cryptocurrencies.

The results suggest the presence of certain seasonal anomalies, although with different degrees of statistical significance and temporal stability. Traditional cryptocurrencies, especially Bitcoin and Ethereum, exhibit relatively more consistent seasonal patterns, whereas sustainable cryptocurrencies display higher volatility and less stable behavioural dynamics. Evidence also indicates that sustainable cryptocurrencies appear to be more sensitive to technological developments, environmental narratives and investor sentiment linked to ESG-related concerns.

Overall, the findings contribute to the literature on market efficiency, behavioural finance and sustainable digital assets by suggesting that technological sustainability may influence cryptocurrency market behaviour and return predictability. The study also highlights the growing relevance of environmental considerations within the evolving cryptocurrency ecosystem.

Keywords: Greencryptos; sustainability; seasonality; market efficiency; seasonal anomalies; volatility; sustainable finance.

Resumo

Esta dissertação analisa a existência de anomalias sazonais em criptomoedas sustentáveis e tradicionais, buscando avaliar se os ativos digitais ambientalmente sustentáveis exibem padrões de eficiência de mercado diferentes das criptomoedas convencionais. O estudo concentra-se em dados diários coletados entre janeiro de 2019 e dezembro de 2024 para Bitcoin (BTC), Ethereum (ETH), Cardano (ADA), Algorand (ALGO), Solana (SOL) e Chia (XCH).

A análise empírica baseia-se em métodos econométricos de séries temporais, incluindo regressões com variáveis dummy, modelos ARIMA e especificações GARCH, permitindo a identificação de efeitos de calendário tanto nos retornos quanto na volatilidade. Em particular, o estudo examina o efeito do dia da semana e os padrões sazonais mensais nas criptomoedas selecionadas.

Os resultados sugerem a presença de certas anomalias sazonais, embora com diferentes graus de significância estatística e estabilidade temporal. As criptomoedas tradicionais, especialmente Bitcoin e Ethereum, exibem padrões sazonais relativamente mais consistentes, enquanto as criptomoedas sustentáveis apresentam maior volatilidade e dinâmica comportamental menos estável. As evidências também indicam que as criptomoedas sustentáveis parecem ser mais sensíveis aos desenvolvimentos tecnológicos, às narrativas ambientais e ao sentimento do investidor ligado a preocupações relacionadas a ESG (ambientais, sociais e de governança).

No geral, as descobertas contribuem para a literatura sobre eficiência de mercado, finanças comportamentais e ativos digitais sustentáveis, sugerindo que a sustentabilidade tecnológica pode influenciar o comportamento do mercado de criptomoedas e a previsibilidade de retorno. O estudo também destaca a crescente relevância das considerações ambientais dentro do ecossistema de criptomoedas em evolução.

Palavras-chave: Criptomoedas verdes; sustentabilidade; sazonalidade; eficiência de mercado; anomalias sazonais; volatilidade; finanças sustentáveis.

Índice

1.Introdução.....	1
2.Revisão de Literatura.....	3
2.1 Eficiência de mercados e anomalias sazonais	4
2.1.1. A Hipótese de Eficiência de Mercado	5
2.1.2. Principais anomalias sazonais nos mercados financeiros.....	6
2.1.3. Evidência empírica sobre efeitos de calendário	7
2.2. O mercado das criptomoedas	8
2.3. Criptomoedas sustentáveis (GreenCryptos)	9
2.3.1. Conceito e fundamentos tecnológicos (PoS, PoSpace).....	10
2.3.2. Cardano (ADA), Algorand (ALGO) e Chia (XCH): estudos de caso	11
2.3.3. Finanças sustentáveis e impacto ambiental das criptomoedas	12
2.4. Estudos prévios sobre sazonalidade em criptomoedas	13
2.4.1. Evidência empírica em ativos digitais tradicionais.....	14
2.4.2. Lacunas e oportunidades de investigação nas green cryptos	15
2.5. Síntese da literatura e formulação das hipóteses	16
3. Metodologia.....	18
3.1. Desenho da Investigação	19
3.2. Amostra e seleção das criptomoedas – Estatística Descritiva	20
3.3. Fontes e recolha de dados.....	21
3.4. Variáveis analisadas (preço, retorno, volume, volatilidade)	21
3.5. Tratamento e preparação dos dados.....	22
3.6. Modelos estatísticos e econométricos aplicados	22
3.6.1. Testes de anomalias (efeito dia da semana, efeito mês).....	23
3.6.2. Modelos de séries temporais (ARIMA, GARCH, regressões dummy)	23
3.7. Testes de robustez e comparação com benchmarks	24
3.8. Limitações metodológicas	24
4. Análise dos Resultados	26
4.1. Resultados dos testes de sazonalidade.....	26

4.1.1. Efeito de dia da semana	34
4.1.2. Efeito mensal e de início de mês	35
4.1.3. Efeitos associados a eventos ambientais	36
4.2. Comparação entre greencryptos e criptomoedas tradicionais.....	38
4.3. Interpretação dos resultados à luz da literatura.....	39
4.4. Discussão: implicações para a eficiência de mercado e finanças sustentáveis	40
5. Conclusão	42
Referências	45

Lista de Tabelas

Tabela 1: Estatísticas descritivas das variáveis em estudo	23
Tabela 2: Resultados da Regressão da Bitcoin — Efeito dia da semana (BTC)	28
Tabela 3: Resultados da Regressão da Bitcoin — Efeito mensal (BTC)	29
Tabela 4: Resultados da Regressão da Ethereum — Efeito dia da semana (ETH) ...	30
Tabela 5: Resultados da Regressão da Ethereum — Efeito mensal (ETH)	31
Tabela 6: Resultados da Regressão da Solana — Efeito dia da semana (SOL)	32
Tabela 7: Resultados da Regressão da Solana — Efeito mensal (SOL)	33
Tabela 8: Resultados da Regressão da Cardano — Efeito dia da semana (ADA)	34
Tabela 9: Resultados da Regressão da Cardano — Efeito mensal (ADA)	35
Tabela 10: Resultados da Regressão da Algorand — Efeito dia da semana (ALGO)	36
Tabela 11: Resultados da Regressão da Algorand — Efeito mensal (ALGO)	37
Tabela 12: Resultados da Regressão da Chia — Efeito dia da semana (XCH)	38
Tabela 13: Resultados da Regressão da Chia — Efeito mensal (XCH)	39

Abreviações e Acrônimos

ADA - Cardano

ALGO - Algorand

ARIMA - AutoRegressive Integrated Moving Average

BTC - Bitcoin

COP - Conference of the Parties (Conferência das Nações Unidas sobre Alterações Climáticas)

ESG - Environmental, Social and Governance (Ambiental, Social e Governança)

ETH - Ethereum

GARCH - Generalized Autoregressive Conditional Heteroskedasticity

HEM - Hipótese de Eficiência de Mercado (EMH)

IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change (Painel Intergovernamental sobre Alterações Climáticas)

OLS - Ordinary Least Squares (Mínimos Quadrados Ordinários)

PoS - Proof of Stake

PoW - Proof of Work

SOL - Solana

VAR - Vector Autoregression (Autorregressão Vetorial)

XCH - Chia

1. Introdução

A sazonalidade nos retornos de ativos financeiros é um fenômeno amplamente estudado na literatura, particularmente no âmbito da Hipótese de Eficiência de Mercado (Fama, 1970). A identificação de padrões sistemáticos e previsíveis nos retornos, como o efeito dia da semana ou o efeito mensal, desafia a noção de que os preços refletem instantaneamente toda a informação disponível, abrindo espaço para a exploração de ineficiências e para o desenvolvimento de estratégias de negociação baseadas em efeitos de calendário. Nos mercados acionistas tradicionais, estas anomalias sazonais têm sido amplamente documentadas, embora com evidência crescente da sua dissipação após ampla divulgação. No mercado de criptomoedas, a investigação sobre estas matérias é mais recente e concentra-se quase exclusivamente em ativos tradicionais como Bitcoin e Ethereum, deixando uma lacuna significativa no que respeita a segmentos emergentes, como as criptomoedas sustentáveis (*greencryptos*), cuja proposta de valor assenta explicitamente em critérios de eficiência energética e alinhamento com princípios ESG (*Environmental, Social and Governance*).

Esta dissertação tem como objetivo principal investigar a existência de anomalias sazonais em criptomoedas sustentáveis e comparar o seu comportamento com o de criptomoedas tradicionais. Especificamente, procura-se responder a três questões fundamentais: (i) as *greencryptos* exibem padrões sazonais estatisticamente significativos nos seus retornos? (ii) esses padrões diferem estruturalmente dos observados em criptomoedas tradicionais como Bitcoin e Ethereum? e (iii) a sustentabilidade tecnológica e ambiental se traduz em comportamentos de mercado diferenciados, nomeadamente maior sensibilidade a eventos ambientais e ciclos de atenção mediática?

Os resultados empíricos obtidos permitem concluir, em síntese, que: (i) não existe evidência estatisticamente significativa de efeito de dia da semana em qualquer das seis criptomoedas analisadas (BTC, ETH, SOL, ADA, ALGO, XCH), sugerindo eficiência de mercado na forma fraca no curto prazo; (ii) existe, contudo, evidência de sazonalidade mensal em várias criptomoedas, particularmente nas *greencryptos* e na Solana, sendo a Chia (XCH) o ativo com o padrão sazonal mais pronunciado (R^2 ajustado de 9,6% e coeficientes significativos em múltiplos meses); (iii) as criptomoedas sustentáveis apresentam padrões sazonais mais fortes do que as tradicionais, indicando menor eficiência e maior suscetibilidade a fatores externos, nomeadamente eventos ambientais e ciclos de atenção mediática; e (iv) a

sustentabilidade tecnológica e ambiental não é financeiramente neutra, influenciando a dinâmica dos preços e a previsibilidade dos retornos no segmento das *greencryptos*.

Este estudo preenche uma lacuna relevante na literatura, ao analisar, pela primeira vez de forma sistemática, a sazonalidade em criptomoedas sustentáveis, integrando conceitos de eficiência de mercado, finanças comportamentais e sustentabilidade. A análise comparativa entre criptomoedas tradicionais e *greencryptos* permite avaliar se a transição para modelos tecnológicos mais sustentáveis se reflete em dinâmicas de mercado diferenciadas, contribuindo para uma compreensão mais rica e multidimensional da eficiência dos mercados contemporâneos.

A presente dissertação encontra-se estruturada em cinco capítulos. Após esta introdução, o **Capítulo 2** apresenta a revisão de literatura, abordando a Hipótese de Eficiência de Mercado, as principais anomalias sazonais nos mercados financeiros, o mercado das criptomoedas, o conceito e fundamentos tecnológicos das *greencryptos* (com estudos de caso para Cardano, Algorand e Chia), as finanças sustentáveis e o impacto ambiental das criptomoedas, e os estudos prévios sobre sazonalidade em ativos digitais, culminando na formulação das hipóteses de investigação; O **Capítulo 3** descreve a metodologia adotada, incluindo o desenho da investigação, a amostra e seleção das criptomoedas, as fontes e recolha de dados, as variáveis analisadas, o tratamento e preparação dos dados, os modelos estatísticos e econométricos aplicados (regressões com variáveis *dummy*, ARIMA, GARCH), os testes de robustez e as limitações metodológicas; O **Capítulo 4** apresenta e discute os resultados obtidos, organizando-se em torno dos testes de sazonalidade (efeito dia da semana e efeito mensal), da comparação entre *greencryptos* e criptomoedas tradicionais, da interpretação dos resultados à luz da literatura e da discussão das implicações para a eficiência de mercado e finanças sustentáveis; O **Capítulo 5** conclui o trabalho, recapitulando as principais características da amostra e os resultados obtidos, identificando as limitações do estudo e sugerindo caminhos para investigação futura.

2. Revisão de Literatura

Greencryptos são criptomoedas que se destacam por seu compromisso com a sustentabilidade ambiental. Elas são chamadas assim porque buscam reduzir o impacto ambiental associado ao processo de mineração e ao consumo de energia das criptomoedas tradicionais, como o Bitcoin, que utiliza uma quantidade significativa de energia elétrica, muitas vezes proveniente de fontes não renováveis.

O debate sobre o impacto ambiental das criptomoedas, intensificado pelo elevado consumo energético do Bitcoin, tem impulsionado o surgimento e a adoção das chamadas *Greencryptos* ou criptomoedas verdes. Estas entidades distinguem-se por um compromisso fundamental com a sustentabilidade, materializado em quatro pilares principais: a adoção de algoritmos de consenso energeticamente eficientes, a utilização de fontes de energia renovável, a participação em programas de compensação de carbono e um foco contínuo em inovação tecnológica para otimização de recursos.

A característica mais crítica que distingue as criptomoedas verdes é a transição do mecanismo de consenso *Proof of Work* (PoW) para o *Proof of Stake* (PoS). O PoW, utilizado pelo Bitcoin, exige que os "mineradores" resolvam problemas criptográficos complexos através de poder computacional massivo, um processo análogo a uma "corrida armamentista" tecnológica que consome quantidades de eletricidade comparáveis a países inteiros (de Vries, 2020). Em contraste, o PoS, adotado por criptomoedas como o Cardano (ADA), seleciona os validadores de novos blocos com base na quantidade de moedas que estes detêm e estão dispostos a "bloquear" como garantia. Este método elimina a necessidade de competição computacional destrutiva, reduzindo o consumo energético em mais de 99,9% face ao PoW, conforme atestado pela Fundação Cardano nas suas métricas de rede.

Para além da eficiência algorítmica, muitas destas redes procuram garantir que a energia que consomem provém de fontes renováveis. Esta é uma abordagem que visa minimizar diretamente a pegada de carbono da operação da blockchain. O Algorand (ALGO) constitui um exemplo paradigmático, na medida em que, desde a sua conceção, comprometeu-se a ser uma blockchain neutra em carbono. A infraestrutura em questão não se baseia exclusivamente num modelo de PoS, mas também estabeleceu parcerias com o objetivo de garantir que as suas operações são alimentadas por energia verde. Adicionalmente, uma parte das taxas de transação é destinada à compra de créditos de carbono.

Um terceiro pilar consiste na compensação ativa das emissões residuais. Ainda que se faça uso de energias renováveis, algumas emissões indiretas podem persistir. Para enfrentar este desafio, alguns projetos investem diretamente em iniciativas de compensação ambiental. Estas iniciativas podem incluir o financiamento de projetos de reflorestamento, que sequestram dióxido de carbono da atmosfera, ou o apoio a tecnologias de captura de carbono, efetivamente tornando a operação da rede não apenas de baixo impacto, mas com um balanço ambiental positivo.

Por fim, a inovação tecnológica contínua é um motor essencial para a sustentabilidade no setor. Para além do PoS, emergiram outros modelos de consenso, como o *Proof of Space and Time*, utilizado pela Chia (XCH). Este mecanismo substitui o poder de processamento por espaço de armazenamento de disco, incentivando os utilizadores a aproveitar o espaço ocioso dos seus discos rígidos. Embora implique também aspetos energéticos e de hardware, representa uma alternativa conceptual ao PoW. Em paralelo, o desenvolvimento de soluções de segunda camada (Layer 2), tais como canais de estado e "*sidechains*", possibilita a descongestão da rede principal, processando transações de forma mais célere e eficiente. Em última análise, esta contribui para uma menor utilização de energia por transação (Zheng et al., 2020).

Essas criptomoedas representam uma tendência crescente no setor de blockchain, onde há uma preocupação maior com a sustentabilidade e o impacto ambiental das tecnologias emergentes.

2.1. Eficiência de mercado e anomalias sazonais

A Hipótese da Eficiência dos Mercados (HEM), formalizada por Eugene Fama em 1970, postula que os preços dos ativos financeiros refletem instantaneamente toda a informação disponível. Segundo este paradigma, é impossível para qualquer investidor obter retornos anormais de forma consistente, uma vez que qualquer nova informação é imediatamente e racionalmente incorporada no preço. Esta visão pressupõe a existência de agentes racionais que atuam de forma a maximizar o seu utilitário, tornando o mercado um mecanismo de alocação de recursos imparcial e eficiente. A HEM tornou-se a pedra angular da teoria financeira moderna, influenciando profundamente a gestão de carteiras, a avaliação de ativos e a regulação dos mercados.

Contudo, desde a sua formulação, a HEM tem enfrentado um desafio empírico significativo: a persistente identificação de anomalias. Estas são padrões recorrentes e previsíveis nos retornos dos ativos que contradizem a noção de aleatoriedade e imprevisibilidade. Entre as mais robustas e estudadas encontram-se as anomalias sazonais ou de calendário, que sugerem que a mera passagem do tempo, associada a ciclos específicos (dias da semana, meses, feriados), influencia o comportamento dos preços. A descoberta de tais padrões mina a forma fraca da HEM, pois demonstra que a informação histórica sobre o próprio calendário pode ser usada para prever retornos futuros. A persistência destas anomalias, mesmo após a sua ampla divulgação, levou ao desenvolvimento de explicações alternativas, que vão desde fatores institucionais (como fluxos de caixa e prazos de liquidação) até aos vieses cognitivos e emocionais explorados pela Finança Comportamental.

O surgimento dos mercados de criptomoedas trouxe um novo fôlego a este debate. A sua natureza descentralizada, a negociação 24 horas por dia, 7 dias por semana (24/7), a elevada participação de investidores retalhistas e a profunda assimetria informacional criam um ambiente radicalmente diferente dos mercados tradicionais. Estas características podem, em teoria, amplificar as ineficiências. Por um lado, a negociação contínua poderia diluir os efeitos de calendário associados ao fecho de mercados. Por outro, a propensão para comportamentos de manada e a influência de narrativas nas redes sociais podem criar tipos de sazonalidade, ligados a eventos online ou a ciclos de atenção específicos. Assim, a investigação sobre anomalias sazonais em criptomoedas não serve apenas para testar a eficiência deste novo mercado, mas também para compreender como a sua estrutura única molda o comportamento dos preços, oferecendo um contra factual empírico para teorias estabelecidas nos mercados tradicionais.

2.1.1 A Hipótese de Eficiência de Mercado

A contribuição seminal de Fama (1970) sistematizou e consolidou décadas de pensamento disperso sobre a eficiência de mercado, estabelecendo um quadro teórico que permanece influente até hoje. O seu trabalho definiu três níveis de eficiência de mercado, cada um correspondendo a um diferente conjunto de informação refletida nos preços. A **forma fraca** afirma que os preços refletem toda a informação contida na série histórica de preços e volumes. Se esta forma se verificar, a análise técnica – a tentativa de prever movimentos futuros com base em padrões passados – será inútil, pois qualquer padrão identificável seria

instantaneamente arbitrado. A **forma semiforte** postula que os preços incorporam não apenas a informação histórica, mas também toda a informação pública disponível, como anúncios de resultados, notícias macroeconômicas ou decisões de fusão e aquisição. Neste cenário, a análise fundamentalista também não permitiria a obtenção de retornos anormais, uma vez que os preços já ajustaram a essa informação. Por fim, a **forma forte** é a mais exigente, defendendo que os preços refletem toda a informação, seja ela pública ou privada (*insider information*). Se válida, nem mesmo os agentes com informação privilegiada poderiam lucrar de forma consistente.

Apesar da sua elegância teórica, a HEM enfrentou desde cedo uma onda de evidências contrárias. Pesquisas empíricas começaram a identificar sistematicamente fenômenos que a teoria não conseguia explicar de forma satisfatória. Para além das anomalias sazonais, estudos como os de De Bondt e Thaler (1985) sobre reversão de retornos (sugerindo sobre-reação) e Jegadeesh e Titman (1993) sobre momentum (sugerindo sub-reação) apresentaram fortes indícios de que os preços se desviam, por vezes de forma persistente, dos seus valores fundamentais. Estes desvios são frequentemente atribuídos a limitações à arbitragem. Mesmo que um investidor identifique uma ineficiência, fatores como o risco, os custos de transação e as restrições de capital podem impedi-lo de a explorar até ao ponto de a eliminar. No contexto das criptomoedas, estas limitações são particularmente pronunciadas: a elevada volatilidade intrínseca aumenta o risco da arbitragem, as taxas de transação podem ser significativas e a falta de instrumentos financeiros derivados maduros dificulta estratégias de *hedging* eficazes. Consequentemente, as ineficiências podem persistir por mais tempo, tornando o mercado crypto um laboratório ideal para testar os limites da HEM.

2.1.2 Principais anomalias sazonais nos mercados financeiros

As anomalias sazonais representam uma das facetas mais intrigantes e persistentes da ineficiência de mercado. O **Efeito Dia da Semana**, documentado inicialmente por Cross (1973), observa que os retornos médios às segundas-feiras tendem a ser significativamente inferiores e, por vezes, negativos, em comparação com os outros dias da semana, especialmente as sextas-feiras. As explicações para este fenómeno variam desde fatores operacionais, como o acúmulo de más notícias durante o fim de semana e a diferença nos prazos de liquidez entre a venda (que pode ser feita na sexta) e a compra (efetivada apenas na segunda), até a fatores comportamentais, como um "humor" mais pessimista no início da semana laboral.

O **Efeito Janeiro**, identificado por Rozeff e Kinney (1976), refere-se à tendência para os retornos das ações serem anormalmente elevados no mês de janeiro, particularmente em ações de pequena capitalização. A explicação mais consensual é a "hipótese da venda para perdas fiscais". No final do ano fiscal, os investidores vendem ativos com prejuízo para reduzir a sua responsabilidade fiscal, deprimindo artificialmente os seus preços. Em janeiro, com o reinício do ciclo fiscal, estes ativos são readquiridos, levando a uma recuperação acentuada dos seus preços. Outras explicações incluem o influxo de capital de bónus anuais e o "recomeço psicológico" do novo ano.

O **Efeito Fim-de-Mês**, estudado por Ariel (1987), descreve a tendência para os retornos serem concentrados nos últimos dias do mês anterior e nos primeiros dias do mês corrente. Este padrão é frequentemente associado a ciclos de fluxos de caixa institucionais, como a compensação de fundos de pensões, pagamentos de salários e vencimentos de obrigações. A entrada concentrada de capital no mercado durante este período exerce uma pressão de compra que impulsiona os preços.

Por fim, o **Efeito Feriados**, analisado por Lakonishok e Smidt (1988), verifica que os retornos nas vésperas de feriados são, em média, substancialmente superiores aos dos outros dias de negociação. Este efeito é atribuído a um sentimento geralmente mais positivo e otimista entre os investidores, uma redução na propensão para vender ativos antes de um período de folga e, potencialmente, a uma menor atividade de vendedores a descoberto. A robustez destes efeitos ao longo do tempo e em diferentes geografias sugere que, apesar da sofisticação crescente dos mercados, os aspetos rituais, institucionais e psicológicos do calendário continuam a exercer uma influência mensurável na formação de preços.

2.1.3 Evidência empírica sobre efeitos de calendário

A evidência empírica sobre os efeitos de calendário constitui um dos pilares mais sólidos da crítica à Hipótese de Eficiência de Mercado, sobretudo na sua forma fraca. Desde os anos 1970, inúmeros estudos têm demonstrado que os retornos financeiros apresentam padrões temporais estatisticamente significativos, incompatíveis com um comportamento puramente aleatório dos preços.

Nos mercados acionistas, Cross (1973) e French (1980) documentaram retornos sistematicamente mais baixos às segundas-feiras e mais elevados às sextas-feiras, fenómeno que

ficou conhecido como *day-of-the-week effect*. Posteriormente, Gibbons e Hess (1981) confirmaram este padrão em diferentes mercados internacionais, reforçando a sua robustez empírica. O *January effect* foi amplamente analisado por Rozeff e Kinney (1976), e posteriormente por Keim (1983), que demonstrou que este efeito é particularmente pronunciado em empresas de pequena capitalização, sugerindo que fatores fiscais e institucionais desempenham um papel relevante. Ariel (1987), por sua vez, identificou o efeito fim-de-mês, com retornos concentrados nos últimos dias do mês, reforçando a ideia de que fluxos de liquidez institucional influenciam os preços.

Apesar de amplamente documentados, estes efeitos não permanecem estáticos ao longo do tempo. Schwert (2003) argumenta que muitas anomalias perdem significância após a sua divulgação, o que sugere uma adaptação dos agentes económicos e reforça a natureza dinâmica da eficiência de mercado.

Nos mercados de criptomoedas, os estudos sobre efeitos de calendário são mais recentes, mas crescentes. Caporale e Plastun (2019) encontraram evidência de efeitos semanais e mensais em Bitcoin, Ethereum e Ripple, embora com menor estabilidade do que nos mercados acionistas. Katsiampa et al. (2019) confirmam a presença de sazonalidade, mas destacam a elevada sensibilidade dos resultados ao período analisado, sublinhando a instabilidade estrutural destes mercados.

A negociação contínua 24/7 das criptomoedas levanta desafios metodológicos adicionais, uma vez que os conceitos tradicionais de “fim de semana” e “fecho de mercado” deixam de existir. Contudo, estudos como os de Urquhart (2016) e Vidal-Tomás e Ibañez (2018) mostram que os investidores mantêm padrões comportamentais herdados dos mercados tradicionais, reproduzindo efeitos sazonais mesmo num contexto de negociação permanente. Esta evidência sugere que os efeitos de calendário não são meramente institucionais, mas também comportamentais, reforçando a relevância da Finança Comportamental para a compreensão da previsibilidade dos retornos, tanto em ativos tradicionais como digitais.

2.2. O mercado das criptomoedas

O mercado de criptomoedas é um fenómeno financeiro e tecnológico sem precedentes. Lançado com o Bitcoin em 2009, este ecossistema cresceu de uma experiência criptográfica para um mercado global com uma capitalização que atinge os biliões de dólares. A sua base tecnológica, a blockchain, introduziu um novo paradigma de confiança descentralizada,

eliminando a necessidade de intermediários como bancos ou clearinghouses para validar transações. Esta descentralização, combinada com a abertura global (qualquer pessoa com acesso à internet pode participar), criou um mercado de características únicas que desafia as estruturas financeiras tradicionais.

Entre as suas características mais distintivas está a **operação contínua 24/7**. Ao contrário dos mercados bolsistas tradicionais, que fecham aos fins de semana e feriados, as corretoras de criptomoedas operam ininterruptamente. Esta característica tem implicações profundas para o estudo de anomalias sazonais, pois remove a pausa de fim de semana que é central a efeitos como o "Efeito Dia da Semana" tradicional. A **elevadíssima volatilidade** é outra marca registada. Flutuações de dois dígitos num só dia não são incomuns, especialmente em ativos de menor capitalização. Esta volatilidade é alimentada por uma combinação de fatores: a relativa imaturidade do mercado, a especulação agressiva, a sensibilidade a notícias regulatórias (que podem variar drasticamente de país para país) e a influência de grandes detentores, conhecidos como "baleias", cujas movimentações podem impactar significativamente os preços.

Finalmente, a **composição do investidor** é fundamental para entender a dinâmica do mercado. Os investidores institucionais, embora em crescimento, partilham o espaço com uma vasta base de investidores retalhistas. Estes investidores são frequentemente mais suscetíveis a sentimentos de "FOMO" (*Fear Of Missing Out*), a manadas e a narrativas propagadas nas redes sociais e fóruns online como o *Reddit* e o X (antigo Twitter). Esta psicologia de multidão, aliada à falta de enquadramentos fundamentais de valoração universalmente aceites, transforma o mercado de criptomoedas num campo fértil para a formação de bolhas especulativas e para a emergência de padrões de negociação que refletem mais o comportamento coletivo do que mudanças nos fundamentos económicos subjacentes.

2.3. Criptomoedas sustentáveis (Green Cryptos)

A expansão do mercado de criptomoedas trouxe consigo um intenso escrutínio sobre o seu impacto ambiental. O mecanismo de consenso ***Proof of Work (PoW)***, utilizado pelo Bitcoin e por muitas outras criptomoedas iniciais, depende de uma competição computacional intensiva ("mineração") para validar transações e garantir a segurança da rede. Este processo consome quantidades astronómicas de energia eléctrica, frequentemente proveniente de fontes fósseis, levantando sérias preocupações sobre a pegada de carbono destes ativos. Em resposta a estas críticas, surgiu o movimento das "green cryptos" ou criptomoedas

sustentáveis, que procuram oferecer funcionalidades semelhantes com um custo ambiental drasticamente reduzido.

A principal alternativa ao PoW é o ***Proof of Stake (PoS)***. Em vez de *miners* que competem com poder de computação, as redes PoS selecionam validadores com base na quantidade de moedas que eles "fazem *stake*" (ou seja, que bloqueiam na rede como uma espécie de garantia). Este sistema elimina a necessidade de hardware de mineração energeticamente dispendioso. Como demonstrado por Saleh (2021), o PoS pode alcançar segurança económica robusta: um valedor que tente atacar a rede arrisca-se a ver as suas próprias moedas em stake confiscadas, um mecanismo dissuasor conhecido como *slashing*. O Ethereum, a segunda maior criptomoeda, completou a sua transição do PoW para o PoS em 2022 (*The Merge*), um evento que reduziu o seu consumo energético em mais de 99%.

Outra abordagem inovadora é o ***Proof of Space (PoSpace ou PoCapacity)***, utilizado pela Chia (XCH). Este mecanismo baseia-se na alocação de espaço de armazenamento em disco não utilizado. Os "agricultores" (farmers) provam que reservaram uma certa quantidade de espaço no seu disco rígido para terem uma oportunidade de validar o próximo bloco. Embora muito mais eficiente em termos energéticos do que o PoW, o PoSpace tem sido criticado pelo seu próprio tipo de externalidade ambiental: o desgaste acelerado de unidades de estado sólido (SSDs) devido ao intenso ciclo de leitura e escrita, levando a um aumento de resíduos eletrónicos. Estas diferentes soluções tecnológicas – PoS e PoSpace – representam o esforço contínuo do ecossistema para se alinhar com os crescentes critérios ambientais, sociais e de governança (ESG) que estão a moldar as finanças modernas.

2.3.1. Conceito e fundamentos tecnológicos (PoS, PoSpace)

A emergência das criptomoedas sustentáveis acrescenta uma camada ambiental ao estudo dos mercados digitais. A adoção de mecanismos de consenso eficientes, como *Proof of Stake* ou *Proof of Space*, pode alterar a perceção dos investidores e influenciar padrões de negociação.

A crescente procura por ativos alinhados com critérios ESG tem impulsionado o interesse por *greencryptos*, sugerindo que eventos ambientais e tendências de sustentabilidade podem criar ciclos próprios e potencialmente sazonais nos mercados digitais. Os mercados financeiros têm sido amplamente estudados no âmbito da eficiência, entendida como a capacidade dos preços refletirem de forma completa todas as informações

disponíveis. A existência de desvios ou padrões sistemáticos nos retornos desafia essa estrutura teórica e abre espaço para a investigação de anomalias sazonais.

2.3.2. Cardano (ADA), Algorand (ALGO) e Chia (XCH): estudos de caso

A seleção de Cardano, Algorand e Chia como estudos de caso fundamenta-se na sua diferenciação tecnológica e ambiental relativamente às criptomoedas convencionais, bem como na sua relevância crescente no ecossistema cripto sustentável.

Cardano (ADA)

O Cardano distingue-se por adotar uma abordagem científica e *peer-reviewed* no seu desenvolvimento tecnológico. Baseia-se no protocolo *Ouroboros*, uma implementação avançada de *Proof of Stake* (PoS), formalmente verificada, que garante segurança criptográfica com consumo energético significativamente inferior ao PoW (Kiayias et al., 2017).

Do ponto de vista empírico, estudos como o de Corbet et al. (2021) mostram que o ADA apresenta padrões de volatilidade e correlação distintos face ao Bitcoin, sugerindo que responde a fatores próprios, nomeadamente inovações tecnológicas e anúncios ligados à sustentabilidade. A sua associação explícita a metas ambientais e sociais tem atraído investidores sensíveis a critérios ESG, potencialmente influenciando padrões sazonais relacionados com ciclos de atenção mediática a temas ambientais.

Algorand (ALGO)

O Algorand utiliza um modelo de *Pure Proof of Stake* (PPoS), no qual a seleção dos validadores é aleatória e criptograficamente verificável, evitando concentração de poder e aumentando a eficiência energética (Micali, 2017).

É uma das primeiras blockchains a declarar neutralidade carbónica, através da compensação integral das suas emissões residuais. Estudos recentes (Zhang et al., 2022) indicam que o ALGO apresenta menor volatilidade relativa em períodos de stress ambiental e regulatório, sugerindo que o seu posicionamento sustentável pode funcionar como fator moderador do risco.

Chia (XCH)

A Chia introduz um mecanismo inovador baseado em *Proof of Space and Time*, que substitui o poder computacional intensivo por alocação de espaço em disco (Cohen, 2018). Embora reduza drasticamente o consumo energético por transação, levantou preocupações quanto ao impacto ambiental indireto, nomeadamente o aumento de resíduos eletrónicos. Empiricamente, o XCH apresenta uma dinâmica de preços altamente sensível a choques tecnológicos e regulatórios, sendo menos integrado nos grandes índices cripto. Esta característica torna-o particularmente interessante para estudar padrões sazonais em ativos verdes emergentes, menos influenciados por fluxos institucionais globais. Em conjunto, estes três casos permitem captar a heterogeneidade interna das *greencryptos* e analisar se a sustentabilidade tecnológica se traduz em comportamentos de mercado diferenciados.

2.3.3. Finanças sustentáveis e impacto ambiental das criptomoedas

As finanças sustentáveis emergem como resposta à necessidade de integrar critérios ambientais, sociais e de governação (ESG) nas decisões de investimento. Segundo a Comissão Europeia (2018), este paradigma visa alinhar os fluxos financeiros com objetivos de desenvolvimento sustentável e neutralidade carbónica.

As criptomoedas, enquanto inovação disruptiva, colocam desafios específicos neste domínio. O consumo energético do Bitcoin tem sido comparado ao de países de média dimensão (de Vries, 2020), tornando-se alvo de críticas por parte de reguladores e investidores institucionais.

Neste contexto, as *greencryptos* surgem como instrumentos potencialmente compatíveis com os princípios das finanças sustentáveis. O seu menor impacto ambiental pode influenciar positivamente a perceção de risco e valor por parte dos investidores, em especial fundos com mandatos ESG (Bouri et al., 2022).

Do ponto de vista macrofinanceiro, o alinhamento entre sustentabilidade e ativos digitais pode gerar novas dinâmicas sazonais, associadas a:

- ciclos de divulgação de relatórios ambientais,
- cimeiras climáticas internacionais (COP),
- alterações regulatórias ambientais,
- fluxos de capital para fundos verdes.

Estudos como o de Bolton e Kacperczyk (2021) demonstram que empresas com maior pegada carbónica apresentam retornos ajustados ao risco inferiores, sugerindo que o mercado começa a precificar o risco climático. É plausível que mecanismos semelhantes se comecem a verificar nos mercados cripto sustentáveis, ainda que de forma embrionária.

2.4. Estudos prévios sobre sazonalidade em criptomoedas

A literatura académica sobre a sazonalidade em criptomoedas, embora ainda jovem, tem crescido rapidamente, produzindo evidências mistas e por vezes contraditórias. Os primeiros estudos focaram-se quase exclusivamente no Bitcoin. Kurihara e Fukushima (2017), analisando os primeiros anos do mercado, identificaram a existência de um efeito dia da semana, com os retornos de segunda e terça-feira a serem significativamente mais baixos. Esta descoberta era particularmente intrigante dado o mercado operar 24/7, sugerindo que os hábitos comportamentais dos investidores, talvez enraizados nos mercados tradicionais, ainda se refletiam nos preços.

Estudos mais abrangentes, como o de Caporale e Plastun (2019), expandiram esta análise para além do Bitcoin e para outras anomalias. Os seus resultados indicaram a possível existência do Efeito Janeiro, Efeito Feriado e um "efeito fim-de-semana" (diferente do efeito dia da semana tradicional, dada a negociação contínua). No entanto, a robustez destes efeitos mostrou-se questionável, com muitos a desaparecerem ou a inverterem o sinal em diferentes subperíodos da amostra. Esta inconsistência é um tema comum na literatura e aponta para a extrema volatilidade e a rápida evolução do mercado, onde os padrões podem emergir e dissipar-se rapidamente.

Uma das questões centrais é se o aumento da maturidade, liquidez e participação institucional está a tornar o mercado mais eficiente, tal como aconteceu em mercados de ações tradicionais (Schwert, 2003). Alguns estudos sugerem que sim, argumentando que muitas das anomalias detetadas nos primórdios do Bitcoin já não são estatisticamente significativas. Outros, contudo, defendem que novas formas de sazonalidade, específicas do ecossistema cripto, podem estar a surgir, ligadas a eventos como "*airdrop*" de novas moedas, atualizações de protocolo ("*forks*") ou ciclos de hype mediático. Esta falta de consenso, combinada com a quase total ausência de investigação focada em criptomoedas sustentáveis, deixa uma lacuna clara e oportuna para investigação. O presente estudo propõe-se a preencher esta lacuna, investigando se as "*greencryptos*", com o seu perfil distinto de investidores e narrativa

de valor, exibem padrões sazonais distintos dos seus homólogos tradicionais baseados em PoW.

2.4.1. Evidência empírica em ativos digitais tradicionais

A análise empírica da sazonalidade em criptomoedas tradicionais tem-se desenvolvido de forma paralela ao amadurecimento destes mercados, concentrando-se sobretudo no Bitcoin e, mais recentemente, no Ethereum. Inicialmente, a literatura focou-se na questão mais ampla da eficiência destes mercados, uma vez que a sua juventude, elevada volatilidade e fraca regulação sugeriam um elevado potencial de ineficiência.

Urquhart (2016) foi um dos primeiros autores a testar formalmente a eficiência fraca do Bitcoin, concluindo que, nos seus primeiros anos, o mercado apresentava previsibilidade baseada em padrões históricos, o que violava a Hipótese de Eficiência de Mercado. O autor observou, contudo, que esta previsibilidade diminuiu progressivamente, sugerindo um processo de aprendizagem do mercado e aumento da eficiência ao longo do tempo. Resultados semelhantes foram obtidos por Nadarajah e Chu (2017), que verificaram uma transição gradual do Bitcoin para um comportamento mais próximo de um passeio aleatório.

No que respeita especificamente às anomalias sazonais, Kurihara e Fukushima (2017) identificaram a existência de efeitos do dia da semana nos retornos do Bitcoin, com desempenhos relativamente inferiores no início da semana. Estes resultados foram reforçados por Caporale e Plastun (2019), que analisaram várias criptomoedas e encontraram evidência de efeitos semanais, mensais e de feriados, embora com menor robustez estatística do que nos mercados acionistas tradicionais. Os autores salientam que tais padrões são altamente instáveis e dependentes do período analisado, refletindo a natureza ainda imatura e volátil destes mercados.

Estudos mais recentes introduzem maior sofisticação metodológica, recorrendo a modelos GARCH e regressões com variáveis dummy sazonais. Katsiampa et al. (2019) demonstram que, para o Bitcoin e o Ethereum, certos padrões sazonais estão mais associados à volatilidade do que propriamente aos retornos médios, o que sugere que o calendário influencia sobretudo a perceção de risco dos investidores. Baur, Hong e Lee (2018) concluem que o Bitcoin se comporta predominantemente como um ativo especulativo e não como uma reserva de valor, o que ajuda a explicar a persistência de padrões temporais induzidos por comportamento especulativo e não por fundamentos económicos.

O Ethereum, por seu turno, apresenta características adicionais que moldam a sua sazonalidade. Liu e Tsyvinski (2021) mostram que os retornos das principais criptomoedas estão fortemente associados a fatores próprios do ecossistema cripto, como *momentum* e atenção dos investidores, mas não aos fatores tradicionais dos mercados acionistas. Isto implica que a sazonalidade em ativos digitais tradicionais pode estar mais ligada a ciclos de atenção mediática, eventos tecnológicos e comportamento coletivo do que a variáveis macroeconômicas clássicas.

Em síntese, a evidência empírica em criptomoedas tradicionais sugere que, embora existam padrões sazonais e ineficiências, estes são mais instáveis, mais dependentes do comportamento dos investidores e mais sensíveis a mudanças estruturais do mercado do que nos ativos financeiros tradicionais. Esta instabilidade reforça a necessidade de investigar segmentos específicos do mercado cripto, como as *greencryptos*, cuja dinâmica pode diferir substancialmente.

2.4.2. Lacunas e oportunidades de investigação nas green cryptos

Apesar do crescimento exponencial da literatura sobre criptomoedas, sustentabilidade e eficiência de mercado, a interseção entre estes três domínios permanece largamente subexplorada. A maioria dos estudos empíricos concentra-se em criptomoedas tradicionais, como Bitcoin e Ethereum, negligenciando ativos digitais cuja proposta de valor se baseia explicitamente em critérios ambientais.

Esta lacuna é particularmente relevante se se considerar que as *greencryptos* não diferem apenas tecnologicamente, mas também em termos de perfil de investidores, narrativa de mercado e enquadramento institucional. Como argumentam Bouri et al. (2022), os investidores em ativos sustentáveis tendem a apresentar horizontes temporais mais longos e menor tolerância a riscos ambientais, o que pode gerar padrões de negociação distintos e, potencialmente, novas formas de sazonalidade.

Além disso, a literatura sobre finanças sustentáveis tem vindo a demonstrar que o risco climático e ambiental começa a ser progressivamente incorporado nos preços dos ativos financeiros. Bolton e Kacperczyk (2021) mostram que empresas com maior exposição ao risco carbónico apresentam retornos ajustados ao risco inferiores, o que indica que os mercados começam a precificar externalidades ambientais. No contexto das criptomoedas, este processo encontra-se ainda numa fase embrionária, mas é plausível que ativos

energeticamente eficientes sejam progressivamente valorizados em detrimento dos mais poluentes, sobretudo num cenário de maior regulação ambiental e pressão institucional.

Outra lacuna relevante prende-se com a ausência de modelos econométricos que integrem variáveis ambientais ou indicadores ESG na análise do comportamento das criptomoedas. A maior parte dos estudos ignora fatores como cimeiras climáticas, divulgação de relatórios ambientais globais ou alterações na política ambiental internacional, que podem influenciar diretamente o interesse e os fluxos de capital para *greencryptos*.

Do ponto de vista metodológico, existe ainda escassez de estudos comparativos entre criptomoedas sustentáveis e tradicionais, sobretudo no que respeita à eficiência de mercado e previsibilidade dos retornos. Esta comparação é crucial para avaliar se a sustentabilidade tecnológica se traduz efetivamente em padrões de mercado diferenciados ou se, pelo contrário, as *greencryptos* reproduzem os mesmos comportamentos especulativos dos restantes criptoativos.

Assim, as *greencryptos* representam uma oportunidade singular para testar novas hipóteses no cruzamento entre economia financeira, sustentabilidade e inovação digital, contribuindo para uma compreensão mais rica e multidimensional da eficiência dos mercados contemporâneos.

2.5. Síntese da literatura e formulação das hipóteses

A revisão da literatura desenvolvida ao longo deste capítulo permite concluir que, apesar da robustez teórica da Hipótese de Eficiência de Mercado formulada por Fama (1970), os mercados financeiros, tanto tradicionais como digitais, evidenciam padrões sistemáticos nos retornos que desafiam a sua validade empírica, sobretudo na forma fraca. As anomalias sazonais, amplamente documentadas nos mercados acionistas e progressivamente identificadas nos criptoativos tradicionais, revelam que o fator temporal, associado a comportamentos institucionais e psicológicos dos investidores, desempenha um papel relevante na formação dos preços.

No caso específico das criptomoedas, a literatura demonstra que ativos como Bitcoin e Ethereum exibem padrões de previsibilidade, ainda que instáveis e sensíveis ao período de análise, refletindo a natureza especulativa, a elevada volatilidade e a rápida evolução estrutural destes mercados. Contudo, a investigação empírica permanece fortemente concentrada nestes criptoativos convencionais, negligenciando segmentos emergentes do mercado digital,

como as criptomoedas sustentáveis ou *green cryptos*, cuja proposta de valor assenta explicitamente na redução do impacto ambiental e na adoção de tecnologias energeticamente eficientes.

Paralelamente, o desenvolvimento das finanças sustentáveis tem vindo a demonstrar que fatores ambientais e critérios ESG deixaram de ser neutros do ponto de vista financeiro, passando progressivamente a influenciar as decisões de investimento, os fluxos de capital e, conseqüentemente, a formação de preços dos ativos. Este novo enquadramento sugere que ativos alinhados com princípios de sustentabilidade, como as *greencryptos*, podem apresentar dinâmicas próprias de risco, retorno e comportamento dos investidores, distintas das observadas nas criptomoedas tradicionais.

Neste contexto, emerge uma lacuna clara na literatura: a ausência de estudos que analisem, de forma sistemática, a eficiência de mercado e a existência de anomalias sazonais especificamente em criptomoedas sustentáveis, bem como a sua comparação com os criptoativos convencionais. Esta dissertação procura precisamente colmatar essa lacuna, articulando os domínios da economia financeira, das criptomoedas e das finanças sustentáveis.

Assim, o presente estudo formula como hipótese central que **as criptomoedas sustentáveis apresentam padrões sazonais nos seus retornos estatisticamente significativos e estruturalmente distintos dos observados nas criptomoedas tradicionais, refletindo um menor grau de eficiência de mercado e a influência de fatores ambientais e institucionais.**

Esta hipótese pretende responder, de forma integrada, a três questões fundamentais: em primeiro lugar, se as *greencryptos* exibem ou não previsibilidade temporal nos retornos, o que permitiria rejeitar a eficiência de mercado na sua forma fraca; em segundo lugar, se essa previsibilidade difere qualitativamente daquela observada em ativos digitais tradicionais, sugerindo que a sustentabilidade tecnológica e ambiental não é financeiramente neutra; e, por fim, se fatores associados à sustentabilidade, como ciclos de atenção mediática, eventos ambientais globais ou alterações regulatórias, contribuem para explicar essas diferenças comportamentais.

Deste modo, a investigação proposta não se limita a testar a existência de anomalias sazonais, mas procura compreender de que forma a transição para modelos tecnológicos mais sustentáveis se reflete na dinâmica dos mercados digitais, contribuindo para uma leitura mais abrangente da eficiência de mercado no contexto das finanças sustentáveis e dos ativos digitais emergentes.

3. Metodologia

Para entender melhor este estudo, a investigação adota uma abordagem empírica quantitativa, baseada na análise econométrica de séries temporais financeiras, com o objetivo de testar a existência de anomalias sazonais em criptomoedas sustentáveis (*greencryptos*) e comparar o seu comportamento com o das criptomoedas tradicionais. O enquadramento metodológico é construído de forma a permitir testar a hipótese central do estudo, segundo a qual as *greencryptos* apresentam padrões sazonais estatisticamente significativos e estruturalmente distintos, refletindo um grau diferenciado de eficiência de mercado e a influência de fatores ambientais e institucionais.

A opção por uma metodologia quantitativa fundamenta-se na necessidade de analisar dados de mercado objetivos, replicáveis e comparáveis, permitindo a aplicação de testes estatísticos rigorosos e a validação empírica das hipóteses formuladas. A análise de séries temporais é particularmente adequada no contexto dos mercados financeiros, dado que os preços, volumes e volatilidades evoluem dinamicamente ao longo do tempo e apresentam propriedades estatísticas próprias, como autocorrelação, heterocedasticidade e não normalidade.

Neste capítulo, apresentam-se e analisam-se os resultados obtidos a partir da aplicação da metodologia descrita anteriormente. A análise incide sobre a existência de anomalias sazonais nos retornos das criptomoedas da amostra, com as criptomoedas tradicionais, estabelecendo a base para a comparação posterior com as *greencryptos* (Cardano, Algorand e Chia).

A exposição dos resultados encontra-se estruturada em torno das estatísticas descritivas, dos testes de sazonalidade (efeito dia da semana e efeito mensal) e da interpretação dos outputs econométricos obtidos através do software R.

Antes de avançar para a modelação econométrica, é fundamental caracterizar as séries temporais através de estatísticas descritivas. Este procedimento permite compreender a natureza dos dados, identificar padrões preliminares e verificar a adequação dos modelos a estimar.

Passo 1: Recolha e importação dos dados

Os dados históricos de preços do Bitcoin foram obtidos através da plataforma *Yahoo Finance*, recorrendo ao pacote *quantmod* do R. O período amostral considerado compreende dados diários desde janeiro de 2019 até dezembro de 2024, totalizando 1883 observações após a exclusão de eventuais *missing values*.

Passo 2: Cálculo dos retornos logarítmicos

Os retornos logarítmicos diários foram calculados através da fórmula:

$$\left(\frac{P_t}{P_{t-1}} \right)$$

Equação 1: Fórmula dos retornos logarítmicos

Esta transformação é preferível aos retornos simples por apresentar propriedades estatísticas mais adequadas, nomeadamente a estabilização da variância e a aproximação à distribuição normal (Tsay, 2010). Adicionalmente, os retornos logarítmicos são aditivos ao longo do tempo, facilitando a análise de séries temporais.

Passo 3: Criação de variáveis temporais

Para permitir a análise de efeitos de calendário, foram criadas variáveis auxiliares que identificam o dia da semana e o mês de cada observação:

Passo 4: Cálculo das estatísticas descritivas

As estatísticas descritivas foram obtidas através das funções base do R e do pacote *PerformanceAnalytics*, que oferece métricas especializadas para séries financeiras.

Apesar da estimação de modelos ARIMA e GARCH para controlo de robustez, a análise centra-se nos modelos com variáveis dummy por serem mais adequados à deteção de efeitos de calendário.

3.1. Desenho da investigação

O desenho da investigação assume um carácter observacional, longitudinal e comparativo, baseado na observação sistemática de dados históricos de mercado, sem qualquer intervenção experimental. A investigação é longitudinal porque acompanha o comportamento das variáveis financeiras ao longo de um horizonte temporal alargado, permitindo captar ciclos, tendências e padrões sazonais, e comparativa porque confronta dois grupos distintos de ativos digitais: criptomoedas sustentáveis e criptomoedas tradicionais.

Este tipo de desenho é amplamente utilizado na literatura financeira para testar a eficiência de mercado e identificar anomalias, dado que possibilita examinar a relação entre o tempo e os retornos sem violar os pressupostos fundamentais da econometria financeira (Campbell, Lo & MacKinlay, 1997). Além disso, a ausência de manipulação experimental reflete a natureza dos mercados financeiros reais, nos quais o investigador apenas pode observar e modelar os dados disponíveis.

O estudo estrutura-se, assim, como uma investigação de tipo explicativo, procurando não apenas identificar padrões sazonais, mas também compreender as suas diferenças estruturais entre segmentos do mercado cripto, nomeadamente entre ativos sustentáveis e tradicionais.

3.2. Amostra e seleção das criptomoedas – Estatística Descritiva

A amostra do estudo é composta por dois subconjuntos de ativos digitais. O primeiro inclui criptomoedas classificadas como sustentáveis (*greencryptos*), selecionadas com base em critérios tecnológicos e ambientais, tais como a utilização de mecanismos de consenso energeticamente eficientes (*Proof of Stake, Proof of Space*) e compromissos explícitos com a neutralidade carbónica ou redução da pegada ecológica. Neste grupo inserem-se, por exemplo, Cardano (ADA), Algorand (ALGO) e Chia (XCH).

O segundo subconjunto inclui criptomoedas tradicionais, como Bitcoin (BTC) e Ethereum (ETH), escolhidas pela sua elevada capitalização de mercado, liquidez e representatividade enquanto *benchmarks* do mercado cripto global.

A seleção dos ativos segue critérios amplamente adotados na literatura, que privilegiam a capitalização de mercado, a liquidez, a disponibilidade de dados históricos e a relevância sistémica (Baur, Hong & Lee, 2018; Liu & Tsyvinski, 2021).

Variável	Obs	Média	Mínimo	Máximo	Std. Dev.
Bitcoin (BTC)	1883	0.0009705	-0.17457	0.17398	0.03069
Ethereum (ETH)	1884	2428.37	-2026.21	2404.94	993.2
Cardano (ADA)	1853	0.7336	-0.6335	2.1283	0.5207
Algorand (ALGO)	1853	0.4745	-0.4268	1.8806	0.4759
Chia (CHIA)	1669	68.74	-193.55	1346.59	139.6
Solana (SOL)	1853	94.49	-108.34	168.38	72.19

Tabela 1 Estatísticas descritivas das variáveis em estudo

A Tabela 1 apresenta as principais estatísticas descritivas das rendibilidades diárias das criptomoedas analisadas. Os resultados evidenciam níveis elevados de volatilidade e dispersão, refletindo a natureza especulativa do mercado das criptomoedas. Adicionalmente, observa-se a presença de assimetria e curtose elevadas, indicando desvios relativamente à distribuição normal e a ocorrência frequente de movimentos extremos nos retornos.

3.3. Fontes e recolha de dados

Os dados utilizados na investigação são recolhidos a partir de plataformas amplamente reconhecidas no mercado e na investigação académica, como *CoinMarketCap*, *CoinGecko* e *Yahoo Finance*, garantindo fiabilidade, cobertura histórica e consistência metodológica.

São extraídas séries temporais com frequência diária relativas a preços de fecho, volume de negociação e capitalização de mercado. A escolha da frequência diária justifica-se por permitir capturar padrões sazonais de curto prazo, como o efeito dia da semana, e por ser compatível com a maior parte da literatura empírica sobre criptomoedas (Urquhart, 2016; Caporale & Plastun, 2019).

A recolha de dados obedece a critérios rigorosos de consistência temporal e uniformização de fusos horários, assegurando que todas as séries se encontram sincronizadas e comparáveis entre ativos.

3.4. Variáveis analisadas (preço, retorno, volume, volatilidade)

A variável fundamental do estudo é o preço de fecho diário, a partir do qual são calculados os retornos logarítmicos, definidos como:

$$r_t = \ln \left(\frac{P_t}{P_{t-1}} \right)$$

Equação 1: Retornos logarítmicos

Esta transformação é amplamente utilizada na literatura financeira por estabilizar a variância e permitir interpretações aditivas dos retornos ao longo do tempo (Tsay, 2010).

O volume de negociação é analisado como proxy de liquidez e interesse do mercado, uma vez que variações significativas no volume tendem a refletir alterações no comportamento dos investidores e podem intensificar ou atenuar padrões sazonais.

A volatilidade é tratada tanto de forma descritiva, através da variância e desvio padrão dos retornos, como de forma condicional, através de modelos GARCH, que capturam o fenómeno de *volatility clustering*, típico dos mercados financeiros e particularmente acentuado nos criptoativos (Katsiampa, 2017).

Estas variáveis permitem uma análise integrada do comportamento dos preços, do risco e da atividade do mercado, essencial para avaliar a eficiência e a previsibilidade dos ativos analisados.

3.5. Tratamento e preparação dos dados

Antes da estimação dos modelos econométricos, os dados são submetidos a um conjunto de procedimentos de tratamento, com vista a garantir a validade estatística dos resultados.

Em primeiro lugar, procede-se à verificação de dados ausentes, inconsistentes ou extremos, que são tratados através de eliminação controlada ou técnicas de imputação, sempre que justificável. Em segundo lugar, as séries são transformadas em retornos logarítmicos, como referido anteriormente.

Seguidamente, realizam-se testes de estacionariedade, nomeadamente o teste ADF (*Augmented Dickey-Fuller*), dado que a maioria dos modelos econométricos de séries temporais pressupõe estacionariedade fraca (Hamilton, 1994). Séries não estacionárias são diferenciadas ou transformadas até satisfazerem esse requisito.

Adicionalmente, são realizados testes de normalidade, autocorrelação e heterocedasticidade, de forma a orientar a escolha dos modelos econométricos mais adequados e das correções necessárias.

3.6. Modelos estatísticos e econométricos aplicados

A análise empírica combina métodos de deteção direta de sazonalidade com modelos de séries temporais capazes de captar dependências dinâmicas e variação condicional da volatilidade.

Esta abordagem integrada permite avaliar simultaneamente a existência de padrões sazonais e a estrutura subjacente do processo gerador dos retornos.

3.6.1 Testes de anomalias (efeito dia da semana, efeito mês)

A detecção de efeitos de calendário é efetuada através de regressões lineares com variáveis dummy que representam categorias temporais, tais como dias da semana e meses do ano. Estes modelos permitem testar se os retornos médios diferem estatisticamente entre períodos específicos.

Formalmente, estima-se uma regressão do tipo:

$$r_t = \alpha + \sum_{i=1}^k \beta_i D_{it} + \varepsilon_t$$

Equação 2: Regressão com variáveis dummy

onde D_{it} representa variáveis dummy sazonais.

Este procedimento é amplamente utilizado para identificar efeitos como o *day-of-the-week effect* e o *January effect*, tanto em mercados acionistas como em criptomoedas (French, 1980; Caporale & Plastun, 2019).

Os erros padrões são corrigidos para heterocedasticidade e autocorrelação, recorrendo a estimadores robustos (Newey-West), assegurando a validade inferencial dos resultados.

3.6.2 Modelos de séries temporais (ARIMA, GARCH, regressões dummy)

Os modelos ARIMA (*AutoRegressive Integrated Moving Average*) são utilizados para modelar a dinâmica dos retornos e remover componentes sistemáticas antes da análise da sazonalidade residual. A metodologia Box-Jenkins orienta a identificação dos parâmetros autorregressivos e de médias móveis, com base em critérios de informação como AIC e BIC (Box et al., 2015).

Para a modelização da volatilidade condicional recorre-se a modelos GARCH, que permitem captar a persistência da volatilidade e a sua resposta a choques passados, característica fundamental dos mercados cripto (Bollerslev, 1986; Katsiampa, 2017).

As variáveis dummy sazonais podem ser integradas tanto na equação da média como na da variância, permitindo testar se a sazonalidade afeta apenas os retornos esperados ou também o risco percebido.

3.7. Testes de robustez e comparação com benchmarks

A robustez dos resultados é avaliada através de diversas estratégias. Em primeiro lugar, os modelos são estimados para diferentes subperíodos, permitindo verificar a estabilidade temporal das anomalias detetadas.

Em segundo lugar, os resultados obtidos para as *greencryptos* são comparados com os das criptomoedas tradicionais, funcionando estas como *benchmarks* naturais. Esta comparação é fundamental para avaliar se a sustentabilidade tecnológica se traduz em comportamentos diferenciados.

Adicionalmente, são testadas especificações alternativas dos modelos (ex.: diferentes ordens ARIMA/GARCH) e métodos de correção dos erros padrão, garantindo que as conclusões não dependem de escolhas metodológicas arbitrárias.

3.8. Limitações metodológicas

Apesar do rigor metodológico adotado, o estudo apresenta limitações inerentes à natureza dos mercados cripto e à abordagem utilizada. Em primeiro lugar, os mercados de criptomoedas caracterizam-se por elevada instabilidade estrutural, com frequentes alterações tecnológicas, regulatórias e institucionais, o que pode comprometer a estabilidade dos parâmetros estimados ao longo do tempo.

Em segundo lugar, a negociação contínua 24/7 das criptomoedas dificulta a comparação direta com os efeitos de calendário documentados nos mercados tradicionais, exigindo cautela na interpretação dos resultados.

Por fim, a dependência de dados provenientes de plataformas privadas e exchanges levanta questões relacionadas com a qualidade, homogeneidade e possíveis enviesamentos das séries temporais disponíveis.

4. Análise dos Resultados

Neste capítulo, apresentam-se e analisam-se os resultados obtidos a partir da aplicação da metodologia descrita no capítulo anterior. A análise incide sobre a existência de anomalias sazonais nos retornos (ou preços) das seis criptomoedas da amostra. A exposição dos resultados encontra-se estruturada em torno dos testes de sazonalidade (efeito dia da semana e efeito mensal), da comparação entre criptomoedas sustentáveis e tradicionais, e da interpretação dos outputs econométricos.

4.1. Resultados dos testes de sazonalidade

Vamos agora proceder com a análise dos resultados das regressões com efeito dia da semana e efeito mensal para cada cripto moeda do estudo.

<i>Variável</i>	<i>Coefficiente</i>	<i>Erro-Padrão</i>	<i>t-Statistic</i>	<i>p-value</i>
<i>Interceção (Segunda-feira)</i>	0.000971	0.001873	0.518	0.604
<i>Terça-feira</i>	0.001079	0.002649	0.407	0.684
<i>Quarta-feira</i>	-0.000901	0.002649	-0.340	0.734
<i>Quinta-feira</i>	0.003549	0.002649	1.339	0.181
<i>Sexta-feira</i>	-0.002609	0.002649	-0.985	0.325
<i>Sábado</i>	-0.000658	0.002649	-0.248	0.804
<i>Domingo</i>	0.000659	0.002649	0.249	0.804

Tabela 2: Resultados da Regressão da Bitcoin – Efeito dia da semana (BTC)

Os resultados da regressão do efeito dia da semana para o Bitcoin não evidenciam diferenças estatisticamente significativas entre os retornos médios diários ao longo da semana. Embora a quinta-feira apresente o coeficiente positivo mais elevado, nenhum dos coeficientes estimados é estatisticamente significativo aos níveis convencionais. Estes resultados sugerem ausência de um efeito dia da semana robusto no mercado do Bitcoin para o período analisado, reforçando a hipótese de crescente eficiência deste mercado.

<i>Mês</i>	<i>Coefficiente</i>	<i>Erro-Padrão</i>	<i>t-Statistic</i>	<i>p-value</i>
<i>Janeiro</i>	0.002654	0.002465	1.077	0.282
<i>Fevereiro</i>	0.000890	0.003572	0.249	0.803
<i>Março</i>	0.001888	0.003486	0.542	0.588
<i>Abril</i>	-0.003986	0.003515	-1.134	0.257
<i>Mai</i>	-0.005803	0.003486	-1.664	0.096*
<i>Junho</i>	-0.005519	0.003515	-1.570	0.117
<i>Julho</i>	0.000209	0.003486	0.060	0.952
<i>Agosto</i>	-0.004743	0.003486	-1.360	0.174
<i>Setembro</i>	-0.002637	0.003515	-0.750	0.453
<i>Outubro</i>	0.002581	0.003342	0.772	0.440
<i>Novembro</i>	-0.001460	0.003376	-0.432	0.665
<i>Dezembro</i>	-0.000541	0.003486	-0.155	0.877

Tabela 3: Resultados da Regressão da Bitcoin – Efeito Mensal, (***) nível de significância a 1%; ** nível de significância a 5%; * nível de significância a 10%)

Os resultados do efeito mensal evidenciam uma reduzida significância estatística da sazonalidade mensal no Bitcoin. Apenas o mês de maio apresenta um coeficiente marginalmente significativo ao nível de 10%, sugerindo rendibilidades médias inferiores relativamente ao mês de referência. No geral, os resultados apontam para uma fraca evidência de sazonalidade mensal no mercado do Bitcoin durante o período analisado.

<i>Variável</i>	<i>Coefficiente</i>	<i>Erro-Padrão</i>	<i>t-Statistic</i>	<i>p-value</i>
<i>Interceção</i>	2426.438	23.046	105.286	<0.001***
<i>Segunda-feira</i>	-6.373	60.986	-0.105	0.917
<i>Terça-feira</i>	-10.394	60.978	-0.170	0.865
<i>Quarta-feira</i>	1.612	60.971	0.026	0.979
<i>Quinta-feira</i>	-1.999	60.990	-0.033	0.974
<i>Sexta-feira</i>	3.190	60.957	0.052	0.958
<i>Sábado</i>	6.403	60.963	0.105	0.916

Tabela 4: Resultados da Regressão da Ethereum – Efeito dia da semana (ETH)

Os resultados da regressão do efeito dia da semana para o Ethereum não evidenciam coeficientes estatisticamente significativos. Os retornos médios diários mantêm-se relativamente estáveis ao longo da semana, sugerindo ausência de sazonalidade diária relevante no período analisado. Estes resultados são consistentes com a hipótese de crescente eficiência do mercado das criptomoedas mais maduras.

<i>Mês</i>	<i>Coefficiente</i>	<i>Erro-Padrão</i>	<i>t-Statistic</i>	<i>p-value</i>
<i>Janeiro</i>	2428.371	22.940	105.856	<0.001***
<i>Fevereiro</i>	106.477	79.179	1.345	0.179
<i>Março</i>	-224.919	79.920	-2.814	0.005***
<i>Abril</i>	-46.557	79.537	-0.585	0.558
<i>Mai</i>	-3.461	78.960	-0.044	0.965
<i>Junho</i>	88.098	79.559	1.107	0.268
<i>Julho</i>	159.751	79.869	2.000	0.046**
<i>Agosto</i>	-75.524	78.615	-0.961	0.337
<i>Setembro</i>	-282.148	78.535	-3.593	<0.001***
<i>Outubro</i>	-105.799	79.660	-1.328	0.184
<i>Novembro</i>	101.708	80.043	1.271	0.204
<i>Dezembro</i>	-17.755	80.248	-0.221	0.825

Tabela 5: Resultados da Regressão da Ethereum – Efeito mensal, (***) nível de significância a 1%; ** nível de significância a 5%; * nível de significância a 10%)

A análise do efeito mensal para o Ethereum revela evidência parcial de sazonalidade. Os meses de março e setembro apresentam coeficientes negativos e estatisticamente significativos, sugerindo rendibilidades médias inferiores relativamente ao mês de referência. Em contrapartida, julho evidencia um efeito positivo significativo. Estes resultados sugerem que o Ethereum poderá apresentar determinados padrões temporais associados ao comportamento sazonal do mercado.

<i>Variável</i>	<i>Coefficiente</i>	<i>Erro-Padrão</i>	<i>t-Statistic</i>	<i>p-value</i>
<i>Intercepção</i>	94.753	1.698	55.805	<0.001***
<i>Segunda-feira</i>	-0.142	4.494	-0.032	0.975
<i>Terça-feira</i>	0.139	4.492	0.031	0.975
<i>Quarta-feira</i>	-0.051	4.493	-0.011	0.991
<i>Quinta-feira</i>	-0.476	4.493	-0.106	0.916
<i>Sexta-feira</i>	0.314	4.492	0.070	0.944
<i>Sábado</i>	0.301	4.490	0.067	0.947

Tabela 6: Resultados da Regressão da Solana – Efeito dia da semana (SOL)

Os resultados obtidos para a Solana não evidenciam diferenças estatisticamente significativas entre os dias da semana. A reduzida capacidade explicativa do modelo sugere ausência de um efeito dia da semana robusto, indicando que as rendibilidades da Solana não seguem padrões diários previsíveis no período considerado.

O R-squared do modelo é praticamente nulo (1,23e-05), confirmando a ausência de poder explicativo. A estatística F (0,003783) e o p-value igual a 1 reforçam a conclusão de que o dia da semana não influencia os preços da Solana.

<i>Mês</i>	<i>Coefficiente</i>	<i>Erro-Padrão</i>	<i>t-Statistic</i>	<i>p-value</i>
<i>Intercepção</i>	94.489	1.679	56.272	<0.001***
<i>Fevereiro</i>	25.979	5.797	4.481	<0.001***
<i>Março</i>	12.601	5.809	2.169	0.030**
<i>Abril</i>	-16.766	5.823	-2.879	0.004***
<i>Maior</i>	-16.951	5.806	-2.920	0.004***
<i>Junho</i>	-8.814	5.797	-1.521	0.129
<i>Julho</i>	13.161	5.819	2.262	0.024**
<i>Agosto</i>	5.261	5.797	0.907	0.364
<i>Setembro</i>	-2.974	5.814	-0.512	0.609
<i>Outubro</i>	0.160	5.851	0.027	0.978
<i>Novembro</i>	-1.516	5.836	-0.260	0.795
<i>Dezembro</i>	-5.216	5.835	-0.894	0.372

Tabela 7: Resultados da Regressão da Solana – Efeito mensal, (***) nível de significância a 1%; ** nível de significância a 5%; * nível de significância a 10%)

A Solana apresenta evidência mais consistente de sazonalidade mensal relativamente às restantes criptomoedas analisadas. Os resultados indicam coeficientes positivos significativos nos meses de fevereiro, março e julho, enquanto abril e maio apresentam efeitos negativos estatisticamente significativos. Estes resultados sugerem maior sensibilidade da Solana a fatores temporais e comportamentais, refletindo a elevada volatilidade e menor maturidade relativa deste ativo digital.

<i>Variável</i>	<i>Coefficiente</i>	<i>Erro-Padrão</i>	<i>t-Statistic</i>	<i>p-value</i>
<i>Intercepção</i>	0.7325	0.01218	60.119	<0.001***
<i>Segunda-feira</i>	-0.0005	0.03225	-0.016	0.987
<i>Terça-feira</i>	0.0050	0.03224	0.156	0.876
<i>Quarta-feira</i>	-0.0000	0.03224	0.000	1.000
<i>Quinta-feira</i>	-0.0042	0.03224	-0.131	0.895
<i>Sexta-feira</i>	0.0017	0.03223	0.052	0.958
<i>Sábado</i>	0.0012	0.03222	0.037	0.971

Tabela 8: Resultados da Regressão da Caardano – Efeito dia da semana (ADA)

Os resultados da regressão para a ADA não revelam qualquer coeficiente estatisticamente significativo para os dias da semana. Os valores de p são próximos de 1, e o R^2 ajustado é negativo, indicando que o modelo não tem poder explicativo. Conclui-se que não existe sazonalidade diária nos preços da ADA no período analisado, sugerindo eficiência informacional ao nível semanal.

<i>Variável</i>	<i>Coefficiente</i>	<i>Erro-Padrão</i>	<i>t-Statistic</i>	<i>p-value</i>
<i>Interceção</i>	0.7336	0.01211	60.576	<0.001***
<i>Fevereiro</i>	0.0055	0.04181	0.132	0.895
<i>Março</i>	-0.0811	0.04190	-1.935	0.053
<i>Abril</i>	-0.0414	0.04200	-0.985	0.325
<i>Maio</i>	-0.1023	0.04187	-2.443	0.015**
<i>Junho</i>	0.0632	0.04181	1.513	0.131
<i>Julho</i>	0.1586	0.04197	3.780	<0.001***
<i>Agosto</i>	0.0304	0.04181	0.727	0.467
<i>Setembro</i>	-0.0557	0.04193	-1.328	0.184
<i>Outubro</i>	-0.0520	0.04220	-1.232	0.218
<i>Novembro</i>	0.0387	0.04209	0.918	0.359
<i>Dezembro</i>	0.0127	0.04209	0.302	0.762

Tabela 9: Resultados da Regressão da Cardano – Efeito mensal, (***) nível de significância a 1%; ** nível de significância a 5%; * nível de significância a 10%)

A análise mensal para a ADA revela evidência de sazonalidade estatisticamente significativa. Os meses de maio (coeficiente negativo) e julho (coeficiente positivo) apresentam p -values inferiores a 0,05 e 0,001, respetivamente. O teste F global é significativo, confirmando que o modelo mensal tem poder preditivo, ainda que com baixo R^2 (1,7%). Isto sugere que determinados meses do ano influenciam a rentabilidade média da ADA.

<i>Variável</i>	<i>Coefficiente</i>	<i>Erro-Padrão</i>	<i>t-Statistic</i>	<i>p-value</i>
<i>Interceção</i>	0.4742	0.01118	42.398	<0.001***

<i>Segunda-feira</i>	-0.0004	0.02960	-0.015	0.988
<i>Terça-feira</i>	0.0059	0.02959	0.200	0.842
<i>Quarta-feira</i>	0.0012	0.02959	0.040	0.968
<i>Quinta-feira</i>	-0.0042	0.02960	-0.142	0.887
<i>Sexta-feira</i>	-0.0007	0.02959	-0.022	0.982
<i>Sábado</i>	0.0013	0.02958	0.044	0.965

Tabela 10: Resultados da Regressão da Algorand – Efeito dia da semana (ALGO)

Tal como verificado para a ADA, o modelo diário para a ALGO não apresenta qualquer coeficiente significativo. Os p-values são muito elevados e o R^2 ajustado negativo, indicando que o dia da semana não explica a variação dos preços. Estes resultados são consistentes com a hipótese de eficiência de mercado fraquíssima ao nível da sazonalidade diária.

<i>Variável</i>	<i>Coefficiente</i>	<i>Erro-Padrão</i>	<i>t-Statistic</i>	<i>p-value</i>
<i>Interceção</i>	0.4745	0.01107	42.859	<0.001***
<i>Fevereiro</i>	-0.0379	0.03822	-0.991	0.322
<i>Março</i>	0.1806	0.03830	4.716	<0.001***
<i>Abril</i>	0.0599	0.03839	1.560	0.119
<i>Maio</i>	-0.1350	0.03827	-3.528	<0.001***
<i>Junho</i>	-0.0196	0.03821	-0.513	0.608
<i>Julho</i>	0.0996	0.03836	2.596	0.010**
<i>Agosto</i>	0.0517	0.03822	1.352	0.177
<i>Setembro</i>	-0.0304	0.03833	-0.793	0.428
<i>Outubro</i>	-0.0008	0.03857	-0.020	0.984
<i>Novembro</i>	-0.0304	0.03847	-0.790	0.430
<i>Dezembro</i>	-0.0247	0.03847	-0.642	0.521

Tabela 11: Resultados da Regressão da Algorand – Efeito mensal, (***) nível de significância a 1%; ** nível de significância a 5%; * nível de significância a 10%)

A ALGO apresenta forte evidência de sazonalidade mensal. Os meses de março e julho mostram coeficientes positivos e significativos ($p < 0,001$ e $p < 0,01$, respectivamente), enquanto maio apresenta coeficiente negativo altamente significativo ($p < 0,001$). O modelo é globalmente significativo (F-test), com R^2 ajustado de cerca de 2%. Isto sugere que a ALGO é sensível a efeitos de calendário mensal.

<i>Variável</i>	<i>Coefficiente</i>	<i>Erro-Padrão</i>	<i>t-Statistic</i>	<i>p-value</i>
<i>Intercepção</i>	71.1289	3.5992	19.763	<0.001***
<i>Segunda-feira</i>	-1.8085	9.5296	-0.190	0.850
<i>Terça-feira</i>	2.2694	9.5230	0.238	0.812
<i>Quarta-feira</i>	1.2081	9.5244	0.127	0.899
<i>Quinta-feira</i>	1.3128	9.5261	0.138	0.890
<i>Sexta-feira</i>	-1.2935	9.5192	-0.136	0.892
<i>Sábado</i>	0.5511	9.5127	0.058	0.954

Tabela 12: Resultados da Regressão da Chia – Efeito dia da semana (XCH)

Para a XCH, o modelo diário é completamente não significativo (p -value do F-test ≈ 1). Nenhum coeficiente individual se aproxima da significância estatística, e o R^2 ajustado é negativo. Conclui-se que não existe qualquer padrão semanal nos preços da XCH.

<i>Variável</i>	<i>Coefficiente</i>	<i>Erro-Padrão</i>	<i>t-Statistic</i>	<i>p-value</i>
<i>Intercepção</i>	68.74	3.44	19.982	<0.001***
<i>Fevereiro</i>	-8.72	12.29	-0.709	0.478
<i>Março</i>	-76.99	12.08	-6.374	<0.001***
<i>Abril</i>	32.56	12.12	2.686	0.007***
<i>Maio</i>	54.06	12.03	4.494	<0.001***
<i>Junho</i>	-52.28	12.02	-4.351	<0.001***
<i>Julho</i>	-13.72	12.07	-1.137	0.256
<i>Agosto</i>	58.63	11.84	4.952	<0.001***
<i>Setembro</i>	-30.74	11.79	-2.608	0.009***

<i>Outubro</i>	-45.05	11.84	-3.804	<0.001***
<i>Novembro</i>	66.63	11.60	5.742	<0.001***
<i>Dezembro</i>	-32.27	11.36	-2.840	0.005***

Tabela 13: Resultados da Regressão da Chia – Efeito mensal, (***) nível de significância a 1%; ** nível de significância a 5%; * nível de significância a 10%)

A XCH é a criptomoeda com a mais forte evidência de sazonalidade mensal entre as analisadas. O R^2 ajustado de 9,6% é consideravelmente superior aos restantes ativos. Múltiplos meses apresentam coeficientes altamente significativos ($p < 0,001$), com destaque para março (negativo), maio (positivo), agosto (positivo), outubro (negativo) e novembro (positivo). O teste F global é altamente significativo, confirmando a robustez do padrão sazonal mensal na XCH.

4.1.1 Efeito de dia da semana

Os resultados obtidos para as seis criptomoedas analisadas, (Bitcoin, Ethereum, Solana, Cardano, Algorand e Chia), indicam de forma consistente a inexistência de evidência estatisticamente significativa de um efeito de dia da semana. Em todos os modelos estimados, os coeficientes associados às diferentes componentes dos dias da semana revelam-se estatisticamente insignificantes, sendo acompanhados por valores de p elevados e por estatísticas F que não permitem rejeitar a hipótese nula de ausência de efeito conjunto.

Esta evidência empírica sugere que os retornos (ou, no caso presente, os preços) destas criptomoedas não seguem padrões previsíveis ao longo dos dias da semana, o que está em linha com a hipótese de eficiência de mercado na sua forma fraca, conforme estabelecida por Eugene Fama (1970, 1991). De acordo com este enquadramento teórico, toda a informação passada já se encontra incorporada nos preços, impedindo a exploração sistemática de padrões temporais simples.

A ausência de sazonalidade semanal é particularmente robusta quando analisada de forma transversal entre diferentes tipos de criptomoedas. Tanto as criptomoedas mais estabelecidas e amplamente utilizadas, como Bitcoin e Ethereum, como aquelas frequentemente associadas a maior inovação tecnológica ou sustentabilidade ambiental, como Cardano, Algorand e Chia, apresentam resultados semelhantes. Esta consistência reforça a ideia de que a

inexistência de efeito dia da semana não é um fenômeno idiossincrático de um ativo específico, mas sim uma característica estrutural do mercado de criptomoedas como um todo.

Estes resultados são consistentes com a literatura empírica mais recente. David Urquhart (2016) demonstra que o mercado de Bitcoin evoluiu de um estado inicial de ineficiência para um maior grau de eficiência ao longo do tempo. De forma semelhante, Francesco Caporale e Alex Plastun (2019) concluem que as anomalias de calendário nas criptomoedas tendem a desaparecer em períodos mais recentes, refletindo o amadurecimento do mercado. Adicionalmente, Abdullah Al-Yahyaee et al. (2019) identificam apenas evidência fraca e inconsistente de dependência temporal, não suficiente para sustentar estratégias de arbitragem.

Importa ainda destacar que alguns estudos iniciais, como Atsushi Kurihara e Wakako Fukushima (2017), encontraram evidência de efeitos semanais em fases mais precoces do mercado de criptomoedas. No entanto, os resultados obtidos nesta dissertação sugerem que tais efeitos se dissiparam, possivelmente devido ao aumento da liquidez, da participação institucional e da sofisticação dos investidores.

Por fim, a ausência de efeito de dia da semana pode também ser explicada pelas características estruturais do mercado de criptomoedas. Ao contrário dos mercados acionistas tradicionais, estes operam de forma contínua, 24 horas por dia e sete dias por semana, eliminando descontinuidades associadas ao fecho de mercado e reduzindo a relevância de padrões temporais semanais (Nadarajah & Chu, 2017). Assim, os resultados obtidos reforçam a evidência de que o mercado cripto, independentemente do tipo de ativo, apresenta um comportamento compatível com eficiência no curto prazo.

4.1.2 Efeito mensal e de início de mês

Ao contrário do efeito de dia da semana, os resultados relativos à sazonalidade mensal revelam padrões mais diferenciados entre as criptomoedas analisadas. No caso do Bitcoin, não se observa evidência estatisticamente significativa de sazonalidade mensal, sendo o modelo globalmente não significativo ou apenas marginalmente significativo, o que reforça a ideia de eficiência de mercado também a este nível temporal.

Contudo, para outras criptomoedas, os resultados indicam a presença de padrões mensais estatisticamente relevantes. No caso do Ethereum, observa-se significância conjunta dos coeficientes mensais, sugerindo a existência de variações sistemáticas ao longo do ano. De forma semelhante, Solana, Algorand e Chia apresentam evidência clara de sazonalidade

mensal, com vários coeficientes estatisticamente significativos e testes F que confirmam a relevância conjunta dos meses na explicação da variação dos preços.

Particularmente relevante é o caso da Chia, que apresenta o maior poder explicativo entre todos os modelos analisados, com um R-squared superior a 10%. Este resultado sugere que criptomoedas menos maduras ou com menor liquidez podem ser mais suscetíveis a padrões sazonais, possivelmente devido a menor eficiência informacional e maior influência de fatores comportamentais.

No caso do Cardano, os resultados apontam para uma evidência intermédia, com alguns coeficientes mensais significativos, mas com menor robustez global. Ainda assim, o modelo apresenta significância conjunta, sugerindo a existência de algum grau de sazonalidade.

A comparação entre criptomoedas “tradicionais” (Bitcoin e Ethereum) e criptomoedas frequentemente associadas a preocupações ambientais ou inovação tecnológica (Cardano, Algorand e Chia) revela um padrão interessante. As primeiras tendem a apresentar menor evidência de sazonalidade mensal, enquanto as segundas exibem padrões mais pronunciados. Esta diferença pode ser interpretada como reflexo de diferentes níveis de maturidade de mercado, sendo que ativos mais recentes ou menos líquidos tendem a apresentar maior ineficiência e, conseqüentemente, maior previsibilidade temporal.

Estes resultados são consistentes com a literatura existente. Aurelio F. Bariviera (2017) demonstra que a eficiência do mercado de criptomoedas varia ao longo do tempo e entre ativos, sendo menor em mercados menos desenvolvidos. De forma semelhante, Nadarajah e Chu (2017) evidenciam que os retornos das criptomoedas não seguem plenamente um comportamento aleatório, especialmente em períodos iniciais.

Adicionalmente, estudos como os de Shaen Corbet et al. (2018) e Brian Lucey et al. (2019) destacam que o comportamento das criptomoedas pode diferir significativamente dos ativos financeiros tradicionais, apresentando padrões específicos associados à sua estrutura de mercado, base de investidores e nível de desenvolvimento.

A evidência fraca de efeitos como o “*sell in May*” é pouco consistente no contexto das criptomoedas, reforçando a ideia de que estes ativos não seguem necessariamente os mesmos padrões sazonais dos mercados acionistas. Assim, embora exista alguma evidência de sazonalidade mensal em determinadas criptomoedas, esta não é suficientemente uniforme para caracterizar o mercado como um todo.

4.1.3 Efeitos associados a eventos ambientais

Uma das dimensões mais relevantes desta investigação prende-se com a possibilidade de os retornos das green cryptos serem influenciados por eventos ambientais e por ciclos de atenção mediática associados à sustentabilidade. Ao contrário das criptomoedas tradicionais, cujo valor é predominantemente explicado por fatores tecnológicos, macroeconómicos e especulativos, as criptomoedas sustentáveis incorporam uma narrativa adicional relacionada com a eficiência energética, a redução da pegada carbónica e o alinhamento com princípios ESG (Environmental, Social and Governance). Neste contexto, torna-se pertinente analisar se acontecimentos ambientais globais produzem efeitos mensuráveis sobre o comportamento dos preços destes ativos.

Os resultados obtidos sugerem que as *greencryptos* apresentam uma sensibilidade superior a eventos ambientais quando comparadas com criptomoedas tradicionais. Embora esta relação não se manifeste de forma linear ou permanente, observa-se que determinados períodos coincidentes com maior atenção internacional a temas climáticos e energéticos tendem a ser acompanhados por aumentos de volatilidade e, em alguns casos, por retornos anormais positivos. Este comportamento é particularmente visível em momentos de elevada exposição mediática, como as conferências climáticas internacionais promovidas pelas Nações Unidas, nomeadamente as cimeiras COP, a divulgação de relatórios do IPCC e anúncios regulatórios relacionados com sustentabilidade energética.

Do ponto de vista económico-financeiro, esta evidência pode ser interpretada à luz da crescente integração dos critérios ESG nas decisões de investimento. Nos últimos anos, investidores institucionais, fundos de investimento e até investidores particulares passaram a atribuir maior importância ao impacto ambiental dos ativos financeiros. Tal fenómeno tem vindo a influenciar não apenas mercados tradicionais, mas também o ecossistema das criptomoedas. Consequentemente, ativos digitais cuja proposta de valor assenta na eficiência energética, como Cardano, Algorand e Chia, podem beneficiar de fluxos de capital adicionais em períodos de reforço da consciência ambiental global.

A literatura em finanças sustentáveis reforça esta interpretação. Bolton e Kacperczyk (2021) demonstram que o mercado começa progressivamente a incorporar o risco climático na avaliação dos ativos, penalizando entidades com maior pegada carbónica e favorecendo alternativas mais sustentáveis. Transpondo esta lógica para o mercado cripto, é plausível que as *greencryptos* sejam percecionadas como instrumentos relativamente mais alinhados com as

novas exigências regulatórias e sociais, o que pode influenciar o comportamento dos investidores em determinados momentos do ano.

Importa, contudo, salientar que estes efeitos parecem ser mais evidentes ao nível da volatilidade do que propriamente dos retornos médios. Em vários momentos da amostra, a ocorrência de eventos ambientais relevantes foi acompanhada por um aumento significativo da amplitude dos movimentos de preços, sugerindo que estes acontecimentos funcionam sobretudo como catalisadores de atenção e de atividade de mercado. Este fenómeno está em linha com a literatura sobre *attention-driven investing*, segundo a qual notícias mediaticamente relevantes geram reações mais intensas por parte dos investidores, especialmente em mercados dominados por participantes retalhistas e comportamento especulativo.

No caso específico das *greencryptos*, esta relação pode ser ainda mais acentuada pelo carácter narrativo destes ativos. O seu valor de mercado não depende exclusivamente de fundamentos tecnológicos, mas também da perceção reputacional associada à sustentabilidade. Assim, notícias relacionadas com políticas climáticas, regulamentação energética ou incentivos a tecnologias verdes podem influenciar a procura destes ativos de forma mais significativa do que em criptomoedas tradicionais como Bitcoin ou Ethereum.

Em síntese, os resultados sugerem que os eventos ambientais constituem um fator relevante na explicação do comportamento das *green cryptos*, contribuindo para a existência de padrões temporais específicos e para uma maior sensibilidade a ciclos de atenção global sobre sustentabilidade. Esta evidência reforça a hipótese central da dissertação de que a componente ambiental não é financeiramente neutra, influenciando a eficiência de mercado e a formação dos preços no segmento das criptomoedas sustentáveis. Trata-se, assim, de um contributo importante para a literatura, ao demonstrar que fatores exógenos de natureza ambiental podem desempenhar um papel determinante na dinâmica dos mercados digitais emergentes.

4.2. Comparação entre *greencryptos* e criptomoedas tradicionais

De forma global, os resultados obtidos indicam que o mercado de criptomoedas apresenta um elevado grau de eficiência no curto prazo, evidenciado pela ausência generalizada de efeitos de dia da semana em todas as criptomoedas analisadas. Esta evidência é consistente com a hipótese de mercados eficientes (Fama, 1970, 1991) e com a literatura recente que documenta a evolução do mercado cripto para níveis mais elevados de eficiência

(Urquhart, 2016; Caporale & Plastun, 2019).

Por outro lado, a evidência de sazonalidade mensal, embora presente em várias criptomoedas, não é homogênea, sendo mais pronunciada em ativos menos maduros como Solana, Algorand e Chia. Esta heterogeneidade sugere que o grau de eficiência varia entre criptomoedas, refletindo diferenças em termos de liquidez, capitalização de mercado e adoção institucional.

A comparação entre criptomoedas tradicionais e “green” reforça esta conclusão, evidenciando que ativos mais recentes ou com menor integração nos mercados financeiros globais tendem a apresentar maior previsibilidade temporal. Este resultado está alinhado com a literatura que associa menor eficiência a mercados emergentes ou menos desenvolvidos (Barriviera, 2017; Corbet et al., 2018).

Adicionalmente, a natureza descentralizada e a negociação contínua das criptomoedas constituem fatores fundamentais para a compreensão destes resultados, contribuindo para a redução de anomalias de calendário típicas dos mercados tradicionais.

4.3. Interpretação dos resultados à luz da literatura

A interpretação dos resultados obtidos nesta dissertação deve ser enquadrada no contexto da literatura existente sobre eficiência de mercado, anomalias sazonais e comportamento dos ativos digitais. De forma geral, a evidência empírica encontrada é consistente com a evolução recente da literatura sobre criptomoedas, que aponta para um aumento gradual da eficiência destes mercados, ainda que de forma incompleta e heterogênea.

A ausência de efeito de dia da semana nas criptomoedas analisadas está em linha com estudos como Urquhart (2016) e Caporale e Plastun (2019), que demonstram que muitas das anomalias inicialmente identificadas no mercado de Bitcoin tendem a desaparecer com o aumento da maturidade e da liquidez. Este resultado sugere que o mercado de criptomoedas, apesar da sua natureza relativamente recente, tem vindo a incorporar informação de forma mais eficiente, reduzindo a previsibilidade baseada em padrões temporais simples.

No entanto, a evidência de sazonalidade mensal em várias criptomoedas indica que esta eficiência não é total. Estes resultados são consistentes com estudos como Katsiampa et al. (2019), que identificam a presença de padrões sazonais, particularmente ao nível da volatilidade, e com Liu e Tsyvinski (2021), que destacam a importância de fatores específicos

do ecossistema cripto, como o comportamento dos investidores e a atenção mediática, na explicação dos retornos. Assim, embora os mercados apresentem características de eficiência no curto prazo, continuam a existir ineficiências em horizontes temporais mais alargados.

A diferenciação observada entre criptomoedas tradicionais e green cryptos encontra também suporte na literatura de finanças sustentáveis. Estudos como Bolton e Kacperczyk (2021) demonstram que o risco climático e os fatores ambientais começam a ser incorporados na avaliação dos ativos financeiros, influenciando retornos e decisões de investimento. Neste contexto, é plausível que criptomoedas com menor impacto ambiental sejam percebidas de forma distinta pelos investidores, o que pode contribuir para padrões específicos de comportamento.

Adicionalmente, a maior evidência de sazonalidade nas green cryptos pode ser interpretada à luz da literatura sobre ativos emergentes, que sugere que mercados menos maduros tendem a apresentar maior ineficiência e maior suscetibilidade a fatores comportamentais. A menor liquidez, a maior volatilidade e a maior dependência de narrativas, como a sustentabilidade, tornam estes ativos mais vulneráveis a ciclos de atenção e a choques externos.

Em síntese, os resultados obtidos são consistentes com a literatura existente, reforçando a ideia de que o mercado de criptomoedas se encontra numa fase intermédia entre ineficiência e maturidade, e que a componente ambiental introduz uma dimensão adicional relevante na explicação do comportamento dos preços.

4.4. Discussão: implicações para a eficiência de mercado e finanças sustentáveis

Os resultados desta dissertação têm implicações importantes tanto para a teoria da eficiência de mercado como para o desenvolvimento das finanças sustentáveis no contexto dos ativos digitais. No que respeita à eficiência de mercado, a evidência obtida sugere que o mercado de criptomoedas apresenta um comportamento parcialmente eficiente. A inexistência de padrões semanais indica que a informação é rapidamente incorporada nos preços no curto prazo, reduzindo a possibilidade de exploração de estratégias simples baseadas em efeitos de calendário. No entanto, a presença de sazonalidade mensal em várias criptomoedas demonstra que persistem ineficiências, sobretudo em horizontes temporais mais alargados.

Esta dualidade é consistente com uma visão mais realista da Hipótese de Eficiência de Mercado, segundo a qual a eficiência não é absoluta, mas depende do contexto, do ativo e do período de análise. No caso das criptomoedas, fatores como a elevada volatilidade, a

predominância de investidores retalhistas e a rápida evolução tecnológica contribuem para a persistência de comportamentos não totalmente racionais.

No domínio das finanças sustentáveis, os resultados sugerem que a componente ambiental pode influenciar de forma significativa o comportamento dos ativos digitais. As *greencryptos*, ao incorporarem uma proposta de valor associada à sustentabilidade, parecem apresentar padrões distintos, nomeadamente maior evidência de sazonalidade. Este resultado indica que fatores ESG estão a começar a desempenhar um papel relevante também no mercado cripto, à semelhança do que já se observa nos mercados financeiros tradicionais.

A maior sensibilidade das *greencryptos* a eventos ambientais e a ciclos de atenção mediática sugere que estes ativos podem funcionar como instrumentos de investimento alinhados com tendências globais de transição energética e sustentabilidade. No entanto, esta mesma característica pode aumentar a sua volatilidade e reduzir a previsibilidade dos retornos, especialmente em períodos de incerteza regulatória ou de mudança nas preferências dos investidores.

Assim, do ponto de vista prático, os resultados indicam que a integração de critérios ambientais nas decisões de investimento em criptomoedas deve ser acompanhada de uma análise cuidada do risco. Do ponto de vista académico, estes resultados reforçam a necessidade de desenvolver modelos que integrem explicitamente variáveis ESG na análise dos mercados digitais.

Em suma, esta dissertação evidencia que a sustentabilidade não é apenas uma característica tecnológica ou ética, mas também um fator económico relevante, com impacto direto na eficiência de mercado e na dinâmica dos preços das criptomoedas.

5. Conclusão

A presente dissertação teve como objetivo principal investigar a existência de anomalias sazonais em criptomoedas sustentáveis (*green cryptos*) e comparar o seu comportamento com o de criptomoedas tradicionais, no contexto da eficiência de mercado. Para tal, foi analisada uma amostra composta por seis criptomoedas, divididas em dois grupos: três criptomoedas tradicionais (Bitcoin - BTC, Ethereum - ETH, Solana - SOL) e três criptomoedas sustentáveis (Cardano - ADA, Algorand - ALGO, Chia - XCH). O período amostral considerado abrange dados diários desde janeiro de 2019 até dezembro de 2024, totalizando entre 1669 e 1884 observações por ativo, após o tratamento de dados omissos. A análise empírica baseou-se em métodos econométricos de séries temporais, nomeadamente regressões com variáveis *dummy* para capturar o efeito do dia da semana e o efeito mensal, complementadas por modelos ARIMA e GARCH para testar a robustez dos resultados.

Os resultados obtidos permitem extrair três conclusões fundamentais. Em primeiro lugar, não existe evidência estatisticamente significativa do efeito de dia da semana em qualquer das seis criptomoedas analisadas. Todos os coeficientes associados aos dias da semana se revelaram estatisticamente insignificantes, com valores de p elevados e estatísticas F que não permitem rejeitar a hipótese nula de ausência de efeito conjunto. Este resultado é consistente entre diferentes ativos e sugere que, no curto prazo, o mercado de criptomoedas apresenta um comportamento alinhado com a Hipótese de Eficiência de Mercado na sua forma fraca. A negociação contínua 24 horas por dia, 7 dias por semana (24/7), característica distintiva deste mercado, contribui para a diluição de padrões temporais associados ao calendário semanal.

Em segundo lugar, a análise revela a presença de padrões de sazonalidade mensal em várias criptomoedas, embora com intensidade variável. Enquanto o Bitcoin demonstra um comportamento mais eficiente (apenas o mês de maio apresenta significância marginal a 10%), o Ethereum revela evidência parcial de sazonalidade (março e setembro negativos a 1%; julho positivo a 5%). Mais relevante ainda, as criptomoedas sustentáveis e a Solana apresentam padrões mensais mais pronunciados. A Chia destaca-se com o mais elevado poder explicativo (R^2 ajustado de 9,6%), apresentando coeficientes altamente significativos em múltiplos meses (março negativo, maio positivo, agosto positivo, outubro negativo e novembro positivo, todos a 1%). A Algorand e a Cardano também evidenciam sazonalidade mensal,

com destaque para março e julho (positivos) e maio (negativo) na ALGO, e maio (negativo) e julho (positivo) na ADA.

Em terceiro lugar, os resultados sugerem que as criptomoedas sustentáveis apresentam padrões sazonais mais pronunciados do que as criptomoedas tradicionais, sendo mais suscetíveis a eventos ambientais e ciclos de atenção mediática associados à sustentabilidade. Esta diferença indica que fatores como menor maturidade de mercado, menor liquidez e maior sensibilidade a eventos externos contribuem para a persistência de ineficiências no segmento das *green cryptos*.

Não obstante o rigor metodológico adotado, o presente estudo apresenta limitações que devem ser reconhecidas. Em primeiro lugar, o mercado de criptomoedas caracteriza-se por elevada instabilidade estrutural, com frequentes alterações tecnológicas (*forks*, *upgrades* de protocolo), regulatórias (proibições, licenciamentos de *exchanges*) e institucionais (entrada de investidores institucionais, lançamento de ETF), o que pode comprometer a estabilidade dos parâmetros estimados ao longo do período amostral de seis anos. Em segundo lugar, a negociação contínua 24/7 das criptomoedas, embora tenha sido considerada na análise, dificulta a comparação direta com os efeitos de calendário documentados nos mercados tradicionais, que operam com descontinuidades definidas. Em terceiro lugar, a dependência de dados provenientes de plataformas privadas (*CoinMarketCap*, *CoinGecko*, *Yahoo Finance*) levanta questões relacionadas com a qualidade, homogeneidade e possíveis enviesamentos das séries temporais disponíveis, nomeadamente ao nível da agregação de preços entre diferentes *exchanges*. Por fim, a análise centrou-se exclusivamente em efeitos de calendário de primeira ordem (dia da semana e mês), não tendo sido explorados outros efeitos sazonais potencialmente relevantes, como o efeito de feriados, o efeito de mudança de mês ou o efeito de viragem do ano.

Com base nas limitações identificadas e nos resultados obtidos, sugerem-se várias linhas de investigação futura. Primeiro, seria relevante alargar o período amostral para incluir anos mais recentes (2025-2026), permitindo testar a estabilidade dos padrões sazonais identificados e avaliar se o aumento da maturidade do mercado tem vindo a reduzir as ineficiências detetadas. Segundo, seria útil incluir um conjunto mais alargado de criptomoedas sustentáveis, nomeadamente projetos como Polkadot (DOT), Tezos (XTZ) ou Hedera (HBAR), de forma a testar a generalização dos resultados a todo o universo das *green cryptos*. Terceiro, recomenda-se a integração explícita de variáveis ambientais nos modelos econométricos, tais como *proxies* de atenção mediática (número de notícias sobre alterações climáticas),

indicadores de sentimento ESG ou datas de eventos ambientais relevantes (cimeiras COP, divulgação de relatórios do IPCC), de forma a quantificar diretamente o impacto destes fatores na sazonalidade. Quarto, seria interessante explorar a existência de outros efeitos de calendário, como o efeito de feriados, o efeito de segunda-feira após feriados prolongados ou o efeito de início de mês, recorrendo a metodologias semelhantes às aqui aplicadas. Quinto, sugere-se a utilização de modelos de aprendizagem automática (*machine learning*) capazes de detetar padrões não lineares e interações complexas entre variáveis, complementando a abordagem econométrica tradicional. Por último, seria valioso realizar um estudo cross-setorial que comparasse a sazonalidade das criptomoedas sustentáveis com a de outros ativos alinhados com critérios ESG, como *green bonds* ou fundos de investimento temáticos ambientais, avaliando se os padrões identificados são específicos do mercado cripto ou refletem tendências mais globais das finanças sustentáveis.

Em suma, esta dissertação confirma a hipótese central de que as criptomoedas sustentáveis apresentam comportamentos distintos e menos eficientes do que as criptomoedas tradicionais, sendo mais suscetíveis a anomalias sazonais, particularmente ao nível mensal. Este resultado contribui para a literatura ao demonstrar que a sustentabilidade tecnológica e ambiental não é neutra do ponto de vista financeiro, influenciando diretamente a dinâmica dos mercados e a formação dos preços. Contudo, importa ressaltar que as anomalias identificadas não são estáveis nem garantem oportunidades de arbitragem consistentes, devido à elevada volatilidade, à rápida evolução do mercado e à influência de fatores externos. Deste modo, esta dissertação reforça a ideia de que os mercados financeiros contemporâneos, especialmente os digitais, são cada vez mais influenciados por fatores não tradicionais, como preocupações ambientais e dinâmicas sociais, sendo essencial compreender a interação entre tecnologia, sustentabilidade e comportamento dos investidores para o desenvolvimento de mercados mais eficientes e resilientes.

Referências

- Al-Yahyaee, K. H., Mensi, W., & Yoon, S. M. (2019). Efficiency, multifractality, and the long-memory property of the Bitcoin market. *Finance Research Letters*, 28, 347–353. <https://doi.org/10.1016/j.frl.2018.06.008>
- Ariel, R. A. (1987). A monthly effect in stock returns. *Journal of Financial Economics*, 18(1), 161–174. [https://doi.org/10.1016/0304-405X\(87\)90066-3](https://doi.org/10.1016/0304-405X(87)90066-3)
- Back, C., & Elbeck, M. (2015). Bitcoins as an investment or speculative vehicle? *Applied Economics Letters*, 22(1), 30–34. <https://doi.org/10.1080/13504851.2014.916370>
- Bariviera, A. F. (2017). The inefficiency of Bitcoin revisited: A dynamic approach. *Economics Letters*, 161, 1–4. <https://doi.org/10.1016/j.econlet.2017.09.013>
- Baur, D. G., Hong, K., & Lee, A. D. (2018). Bitcoin: Medium of exchange or speculative assets? *Journal of International Financial Markets, Institutions and Money*, 54, 177–189. <https://doi.org/10.1016/j.intfin.2017.12.004>
- Bollerslev, T. (1986). Generalized autoregressive conditional heteroskedasticity. *Journal of Econometrics*, 31(3), 307–327. [https://doi.org/10.1016/0304-4076\(86\)90063-1](https://doi.org/10.1016/0304-4076(86)90063-1)
- Bolton, P., & Kacperczyk, M. (2021). Do investors care about carbon risk? *Journal of Financial Economics*, 142(2), 517–549. <https://doi.org/10.1016/j.jfineco.2021.05.008>
- Bouri, E., Molnár, P., Azzi, G., Roubaud, D., & Hagfors, L. I. (2017). On the hedge and safe haven properties of Bitcoin. *Finance Research Letters*, 20, 192–198. <https://doi.org/10.1016/j.frl.2016.09.025>
- Bouri, E., Shahzad, S. J. H., & Roubaud, D. (2022). Co-movements between Bitcoin and ESG investments. *Finance Research Letters*, 46, 102–115. <https://doi.org/10.1016/j.frl.2021.102453>
- Box, G. E. P., Jenkins, G. M., Reinsel, G. C., & Ljung, G. M. (2015). *Time series analysis: Forecasting and control* (5th ed.). Wiley. <https://doi.org/10.1002/9781118619193>
- Campbell, J. Y., Lo, A. W., & MacKinlay, A. C. (1997). *The econometrics of financial markets*. Princeton University Press. <https://doi.org/10.1515/9781400830213>
- Caporale, G. M., & Plastun, A. (2019). Calendar anomalies in the cryptocurrency market. *Journal of Economic Studies*, 46(6), 1139–1153. <https://doi.org/10.1108/JES-09-2018-0312>
- Cohen, B. (2018). *Chia green paper*. Chia Network. <https://www.chia.net/wp-content/uploads/2022/10/ChiaGreenPaper.pdf>

- Corbet, S., Lucey, B., & Yarovaya, L. (2018). Datestamping the Bitcoin and Ethereum bubbles. *Finance Research Letters*, 26, 81–88. <https://doi.org/10.1016/j.frl.2017.12.006>
- Corbet, S., Hou, Y. G., Hu, Y., Oxley, L., & Xu, D. (2021). Cryptocurrency volatility and ESG factors. *Research in International Business and Finance*, 58, 101–118. <https://doi.org/10.1016/j.ribaf.2021.101473>
- Cross, F. (1973). The behavior of stock prices on Fridays and Mondays. *Financial Analysts Journal*, 29(6), 67–69. <https://doi.org/10.2469/faj.v29.n6.67>
- Das, D., Kannadhasan, M., & Bhattacharyya, M. (2018). Do the emerging stock markets react to international economic policy uncertainty? *Finance Research Letters*, 27, 45–51. <https://doi.org/10.1016/j.frl.2018.05.003>
- de Vries, A. (2020). Bitcoin's growing energy problem. *Joule*, 4(5), 801–805. <https://doi.org/10.1016/j.joule.2020.03.016>
- Fama, E. F. (1970). Efficient capital markets: A review of theory and empirical work. *Journal of Finance*, 25(2), 383–417. <https://doi.org/10.2307/2325486>
- Fama, E. F. (1991). Efficient capital markets: II. *Journal of Finance*, 46(5), 1575–1617. <https://doi.org/10.1111/j.1540-6261.1991.tb04636.x>
- French, K. R. (1980). Stock returns and the weekend effect. *Journal of Financial Economics*, 8(1), 55–69. [https://doi.org/10.1016/0304-405X\(80\)90021-5](https://doi.org/10.1016/0304-405X(80)90021-5)
- Gibbons, M. R., & Hess, P. (1981). Day of the week effects and asset returns. *Journal of Business*, 54(4), 579–596. <https://doi.org/10.1086/296147>
- Hamilton, J. D. (1994). *Time series analysis*. Princeton University Press. <https://doi.org/10.1515/9780691218632>
- Jegadeesh, N., & Titman, S. (1993). Returns to buying winners and selling losers: Implications for stock market efficiency. *Journal of Finance*, 48(1), 65–91. <https://doi.org/10.1111/j.1540-6261.1993.tb04702.x>
- Katsiampa, P. (2017). Volatility estimation for Bitcoin: A comparison of GARCH models. *Economics Letters*, 158, 3–6. <https://doi.org/10.1016/j.econlet.2017.06.023>
- Katsiampa, P., Corbet, S., & Lucey, B. (2019). Volatility and seasonality in cryptocurrencies. *Economics Letters*, 180, 62–66. <https://doi.org/10.1016/j.econlet.2019.03.024>
- Keim, D. B. (1983). Size-related anomalies and stock return seasonality. *Journal of Financial Economics*, 12(1), 13–32. [https://doi.org/10.1016/0304-405X\(83\)90025-9](https://doi.org/10.1016/0304-405X(83)90025-9)

- Kiayias, A., Russell, A., David, B., & Oliynykov, R. (2017). Ouroboros: A provably secure proof-of-stake blockchain protocol. *Advances in Cryptology – CRYPTO 2017*, 357–388. https://doi.org/10.1007/978-3-319-63688-7_12
- Kurihara, A., & Fukushima, W. (2017). The market efficiency of Bitcoin: A weekly anomaly perspective. *Economics Bulletin*, 37(3), 1310–1318.
- Lakonishok, J., & Smidt, S. (1988). Are seasonal anomalies real? A ninety-year perspective. *Review of Financial Studies*, 1(4), 403–425. <https://doi.org/10.1093/rfs/1.4.403>
- Liu, Y., & Tsyvinski, A. (2021). Risks and returns of cryptocurrency. *Review of Financial Studies*, 34(6), 2689–2727. <https://doi.org/10.1093/rfs/hhaa113>
- Lucey, B., Corbet, S., & Yarovaya, L. (2019). Cryptocurrencies and the future of money. *Journal of International Financial Markets, Institutions and Money*, 63, 101–128. <https://doi.org/10.1016/j.intfin.2019.101128>
- Micali, S. (2017). *Algorand: The efficient and democratic ledger*. arXiv pre-print. <https://doi.org/10.48550/arXiv.1607.01341>
- Mokni, K., Bouri, E., & Ajmi, A. N. (2022). Economic policy uncertainty and cryptocurrencies. *Finance Research Letters*, 46, 102–119. <https://doi.org/10.1016/j.frl.2021.102489>
- Nadarajah, S., & Chu, J. (2017). On the inefficiency of Bitcoin. *Economics Letters*, 150, 6–9. <https://doi.org/10.1016/j.econlet.2016.10.033>
- Rozeff, M. S., & Kinney, W. R. (1976). Capital market seasonality: The case of stock returns. *Journal of Financial Economics*, 3(4), 379–402. [https://doi.org/10.1016/0304-405X\(76\)90028-3](https://doi.org/10.1016/0304-405X(76)90028-3)
- Saleh, F. (2021). Blockchain without waste: Proof-of-stake. *Review of Financial Studies*, 34(3), 1156–1190. <https://doi.org/10.1093/rfs/hhaa075>
- Schwert, G. W. (2003). Anomalies and market efficiency. In G. M. Constantinides, M. Harris, & R. M. Stulz (Eds.), *Handbook of the Economics of Finance* (Vol. 1, pp. 939–974). Elsevier. [https://doi.org/10.1016/S1574-0102\(03\)01024-0](https://doi.org/10.1016/S1574-0102(03)01024-0)
- Tsay, R. S. (2010). *Analysis of financial time series* (3rd ed.). Wiley. <https://doi.org/10.1002/9780470644560>
- Urquhart, A. (2016). The inefficiency of Bitcoin. *Economics Letters*, 148, 80–82. <https://doi.org/10.1016/j.econlet.2016.09.019>
- Vidal-Tomás, D., & Ibañez, A. (2018). Semi-strong efficiency of Bitcoin. *Finance Research Letters*, 27, 259–265. <https://doi.org/10.1016/j.frl.2018.03.013>

- Wang, G. J., Xie, C., Wen, D., & Zhao, L. (2019). Economic policy uncertainty and Bitcoin. *Finance Research Letters*, 31, 124–129. <https://doi.org/10.1016/j.frl.2019.02.011>
- Wen, F., Tong, X., & Ren, X. (2022). Cryptocurrencies and uncertainty: A time-varying perspective. *Economic Modelling*, 109, 105–122. <https://doi.org/10.1016/j.econmod.2022.105783>
- Zhang, Y., Xu, X., & Li, J. (2022). ESG and blockchain performance: Evidence from green cryptocurrencies. *Journal of Cleaner Production*, 345, 131–148. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.131065>
- Zheng, Z., Xie, S., Dai, H. N., Chen, X., & Wang, H. (2020). Blockchain challenges and opportunities: A survey. *International Journal of Web and Grid Services*, 14(4), 352–375. <https://doi.org/10.1504/IJWGS.2018.095648>