

PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DE GOIÁS  
ESCOLA POLITÉCNICA  
GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO



**NON-FUNGIBLE TOKENS: PROPRIEDADES, APLICAÇÕES E NOVOS  
DESAFIOS**

PEDRO GABRIEL SUET MORAES VOLPINI FIGUEIREDO

GOIÂNIA  
2022

PEDRO GABRIEL SUET MORAES VOLPINI FIGUEIREDO

**NON-FUNGIBLE TOKENS: PROPRIEDADES, APLICAÇÕES E NOVOS  
DESAFIOS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Escola Politécnica, da Pontifícia Universidade Católica de Goiás, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Bacharel em Ciência da Computação.

Orientador:

Prof. Olegário Correa da Silva Neto.

Banca examinadora:

Prof. Me. Eugênio Júlio Messala C. Carvalho

Prof. Dr. Fábio Barbosa Rodrigues

GOIÂNIA  
2022

## **AGRADECIMENTOS**

Gostaria primeiramente de agradecer a Deus pela oportunidade de conclusão de curso superior e por todas as oportunidades de crescimento colocadas em minha vida. Os desafios foram grandes, a caminhada, por vezes, dolorosa, mas sempre com a certeza de que o Senhor esteve presente, auxiliando-me em todos os processos.

Aos meus pais, que não pouparam esforços para materializar esse sonho, que sempre se dedicaram para proporcionar melhor qualidade de vida aos seus filhos.

A todos meus familiares e amigos que sempre se fizeram presentes nessa jornada, torcendo fielmente pela minha felicidade, facilitando o processo.

Por fim, mas não menos importante, ao professor Olegário Correa da Silva Neto, orientador acadêmico, por todas as reuniões, por toda a paciência e principalmente por acreditar em mim em momentos que até mesmo eu não acreditei.

“A menos que modifiquemos a nossa maneira de pensar, não seremos capazes de resolver os problemas causados pela forma como nos acostumamos a ver o mundo”.

(Albert Einstein)

## RESUMO

Os *Non-Fungible Tokens* (NFTs) são ativos comerciais imateriais, surgidos em 2017, que delimitam a propriedade de documentações eletrônicas mediante o registro em *Blockchains*, conferindo infungibilidade a um ativo digital. Sua real valorização aconteceu entre os anos de 2020 e 2021, momento no qual os Tokens perpassam por um crescimento exponencial no mercado de investimento, em que passaram a acumular o montante de quatrocentos e quarenta milhões de dólares em março de 2021. Essa perspectiva promissora das NFT, associada a escassez de informações que estimularam a elaboração deste estudo. O objetivo do trabalho é realizar uma revisão bibliográfica sobre NFT, identificando os componentes e a estruturação que o caracterizam, além de suas aplicações no contexto tecnológico atual a partir da revisão de artigos acadêmicos publicados entre 2021 e 2022. A partir da metodologia empregada, baseada nos seis passos de Byman (2008), 21 artigos foram selecionados nas plataformas Google Acadêmico e periódico CAPES. Em suma, na Ethereum, uma das diversas blockchains existentes, os tokens são representações digitais de um valor associado a um ativo, serviço ou direito de fazer algo e são implementados por meio dos contratos inteligentes (smart contracts). Os ERCs são um padrão de código desenvolvido no Ethereum, sendo uma interface que um contrato inteligente deve implementar para ter a capacidade de transferir e gerenciar NFTs. Nesse sentido, o trabalho descreve aplicações já existentes e novas oportunidades de aplicações dessa ferramenta, assim como seus desafios e desvantagens. Observaram-se inúmeras vantagens do uso dessa ferramenta digital como transparência, segurança, facilidade, oportunidade de acesso, assim como vários âmbitos de aplicações. Dentre eles: obras de arte digital, animações, energia renovável, jogos, música, geração, compra e venda de Certificados de Energia Renovável de forma automatizada, mercado e armazenamento de energia, rastreamento de produtos farmacêuticos. Dessa forma, nota-se que a tecnologia inovadora da NFT está cada vez mais revolucionando a forma como as operações acontecem, garantindo sucesso e segurança nas movimentações, além do crescimento exponencial sobre seu uso, com futuro promissor. Entretanto, a literatura formalizada sobre o assunto ainda é escassa e insuficiente, sendo assim, a elucidação e a coesão de informações a seu respeito são de considerável importância dentro da atual conjuntura de avanço eletrônico.

Palavras-chave: Tokens não-fungíveis, NFTs, ERC-721

## ABSTRACT

Non-Fungible Tokens (NFTs) are intangible commercial assets, which emerged in 2017, which delimit the ownership of electronic documents upon registration in Blockchains, conferring infungibility to a digital asset. Its real appreciation took place between the years 2020 and 2021, when the Tokens underwent an exponential growth in the investment market, in which they started to accumulate the amount of four hundred and forty million dollars in March 2021. This promising perspective of the NFT, associated with the scarcity of information that stimulated the elaboration of this study. The objective of the work is to carry out a bibliographic review on NFT, identifying the components and the structuring that characterize it, in addition to its applications in the current technological context from the review of academic articles published between 2021 and 2022. From the methodology used, based on in Byman's six steps (2008), 21 articles were selected on Google Scholar platforms and CAPES journal. In short, on Ethereum, one of several existing blockchains, tokens are digital representations of a value associated with an asset, service or right to do something and are implemented through smart contracts. ERCs are a code standard developed on Ethereum, being an interface that a smart contract must implement in order to have the ability to transfer and manage NFTs. In this sense, the work describes existing applications and new application opportunities of this tool, as well as its challenges and disadvantages. Innumerable advantages of using this digital tool were observed, such as transparency, security, ease, opportunity of access, as well as various scopes of applications. Among them: digital artwork, animations, renewable energy, games, music, automated generation, purchase and sale of Renewable Energy Certificates, energy market and storage, pharmaceuticals tracking. In this way, it can be seen that NFT's innovative technology is increasingly revolutionizing the way operations take place, ensuring success and safety in movements, in addition to exponential growth in its use, with a promising future. However, the formalized literature on the subject is still scarce and insufficient, so the elucidation and cohesion of information about it are of considerable importance within the current conjuncture of electronic advancement.

Keywords: Non-fungible tokens, NFTs, ERC-721

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Contagem semanal de cobertura de notícias (imprensa, online, televisão) mencionando NFT no início de 2021	17
Figura 2 – Tamanho do mercado NFT (2018 a 2020)	18
Figura 3 – Principais propriedades de um Token Não-fungível (NFT)	20
Figura 4 - Fluxograma de funcionamento de um <i>blockchain</i>	22
Figura 5 – Fluxograma de funcionamento da tecnologia de <i>blockchain</i>	23
Figura 6 – Mineração em <i>Blockchain</i>	23
Figura 7 – Comparação entre plataformas de <i>blockchain</i> para NFT	25
Figura 8 – Padrões de Token relacionados ao NFT	28
Figura 9 – Comparações entre padrões NFT	28
Figura 10 – Fluxo de trabalho dos sistemas NFT	30
Figura 11 – Principais usos de NFTs	31
Figura 12 – Taxa média de transação no <i>Ethereum</i> em USD	39

## **LISTA DE TABELAS**

Tabela 1 – Os cinco NFTs mais caros – dezembro de 2021



## LISTA DE ABREVIATURAS E DE SIGLAS

Dapps	Aplicativos descentralizados
DeFi	Finanças Descentralizadas
ERC	<i>Ethereum Request for Comments</i> ou Solicitação de Comentários do Ethereum
ETH	<i>Ethereum</i>
ICO	Oferta Inicial de Moedas
IPFS	<i>Interplanetary File System</i> ou Sistema de Arquivo Interplanetário
ID	Identificador
NFT	<i>Non-Fungible Tokens</i> , ou “Tokens Não Fungíveis”
PI/IP	Propriedade intelectual
PoS	<i>Proof of Stake</i> ou Prova de participação
PoW	<i>Proof of Work</i> ou Prova de trabalho
USD	<i>United States Dollar</i> ou Dollar dos Estados Unidos

## SUMÁRIO

<b>CAPÍTULO I – INTRODUÇÃO</b> .....	11
<b>1.1 Objetivos</b> .....	12
<b>1.2 Metodologia</b> .....	12
<b>1.3 Estrutura Do Trabalho</b> .....	13
<b>CAPÍTULO II – INTRODUÇÃO NFT</b> .....	14
<b>2.1 Definição</b> .....	14
<b>2.2 História</b> .....	15
<b>2.3 Propriedades</b> .....	19
<b>CAPÍTULO III – ALGORITMO</b> .....	21
<b>3.1 Blockchain</b> .....	21
<b>3.2 Ethereum</b> .....	24
<b>3.3 Smart contracts</b> .....	26
<b>3.4 ERC</b> .....	27
<b>3.5 Algoritmo NFT</b> .....	28
<b>CAPÍTULO IV – APLICABILIDADE E NOVOS DESAFIOS</b> .....	31
<b>4.1 Aplicações</b> .....	31
<b>4.2 Desafios</b> .....	35
<b>CAPÍTULO V – VANTAGENS E DESVANTAGENS</b> .....	37
<b>5.1 Vantagens</b> .....	37
<b>5.2 Desvantagens</b> .....	39
<b>CAPÍTULO VI – CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	41
<b>6.1 Conclusão</b> .....	41
<b>6.2 Limitações do estudo</b> .....	42
<b>6.3 Sugestões</b> .....	42
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	43

## CAPÍTULO I – INTRODUÇÃO

Com a evolução da internet e de seus meios de acesso, tornou-se nítida a adaptação da rede de comunicação, da informação, da arte, do esporte, dos negócios, das mais variadas formas de relações sociais e financeiras que envolvem o homem, ao meio digital. Nessa perspectiva, com o comércio de ativos não seria diferente (SOUZA, AMARAL, 2021).

Em paralelo a esse progresso tecnológico, a crise financeira global, potencializada pela pandemia do COVID 19 iniciada no país em 2020, estimulou o avanço de tecnologias associadas ao *Blockchain* (livro público descentralizado que registra transações), assim como do amplo espectro de ativos digitais nos mercados financeiros globalmente (UMAR et al, 2022). Isso permitiu a ascensão de novas maneiras de efetuar trocas comerciais que se adequassem ao novo cenário mundial. (BARBOZA, et al, 2021).

Nesse contexto, surgiu, como definição em 2017, os *Non-Fungible Tokens* (NFTs), que são ativos comerciais imateriais que delimitam a propriedade de documentações eletrônicas mediante o registro em *Blockchains* (MARTINS, 2022). Em outras palavras, são tokens não-fungíveis, únicos, que levam um código exclusivo em sua criação (LACERDA, 2022).

No âmbito internacional, a representação prática desta tendência refletiu na negociação de obras de arte digital por valores milionários recentemente, como o caso da denominada “*Everydays: the First 5000 Days*” do artista Mike Winkelmann, conhecido como Beeple, cuja obra consistiu numa compilação fotográfica de todos os dias, de 1º de maio de 2007 a 7 de janeiro de 2021, para a qual o último lance em leilão foi aos 11 de março de 2021, no valor de 69 milhões USD (SANTOS et al, 2021).

As principais características de um NFT consistem em: unicidade; rastreabilidade, uma vez que cada NFT tem um registro de transações na cadeia; são indivisíveis, de modo que não podem ser divididos em frações ou valores menores; programável (BARBOZA et al, 2021).

Ressalta-se que, apesar de seu surgimento em 2017, sua real valorização aconteceu entre os anos de 2020 e 2021, momento no qual os Tokens perpassam por um crescimento exponencial no mercado de investimento. A título de demonstração, estima-se que todas as movimentações financeiras associadas a NFTs somavam um patrimônio de aproximadamente doze milhões de dólares em dezembro de 2020, e passaram a acumular o montante de quatrocentos e quarenta milhões de dólares em março de 2021 - apenas três meses depois (WANG et al, 2021; DOWLING, 2021).

Assim, mesmo com a existência dos cartórios em avanço tecnológico, ou até mesmo com sua dispensa por via alternativa, com vistas à facilitação e superação dos citados obstáculos, os NFTs podem se mostrar como mecanismos úteis para obras de arte digital, como

adiante se verá, no que diz respeito à proteção jurídica das obras de arte digital, além de milhares de outras possibilidades de aplicação (SANTOS et al, 2021).

Dessa forma, a tecnologia inovadora do NFT está cada vez mais revolucionando a forma como as operações acontecem, garantindo sucesso e segurança nas movimentações, além do crescimento exponencial sobre seu uso, com futuro promissor (LACERDA, 2022). Entretanto, a literatura formalizada sobre o assunto ainda é escassa e insuficiente, sendo assim, a elucidação e a coesão de informações a seu respeito são de considerável importância dentro da atual conjuntura de avanço eletrônico. Essa perspectiva promissora dos NFTs, associada a escassez de informações a seu respeito que estimularam a elaboração deste estudo.

Por fim, o principal intuito de contribuição do presente trabalho é reunir dados sobre NFT a partir da literatura bibliográfica existente, para facilitar o entendimento sobre o tema, averiguar suas aplicações já concretizadas, novas possibilidades de aplicações, novos desafios.

## 1.1 Objetivos

- Geral: o objetivo geral deste estudo é realizar uma revisão bibliográfica dos componentes dos NFTs e a estruturação que os caracterizam, além de suas aplicações no contexto tecnológico atual por meio de uma revisão de artigos científicos.
- Específicos:
  - Elucidar os elementos que compõem o NFT, diferenciando-o de tokens fungíveis
  - Apresentar o algoritmo relacionado ao NFT
  - Elencar vantagens e desvantagens do uso do NFT
  - Identificar as principais aplicações do NFT atualmente
  - Enumerar os desafios encontrados para ampliação de seu uso

## 1.2 Metodologia

Para garantir a efetividade e conclusão dos objetivos acima estabelecidos, o presente estudo utilizou um método de abordagem de revisão qualitativa, almejando analisar artigos acadêmicos, para posterior delimitação de considerações autorais. Pretendendo-se, assim, realizar um levantamento bibliográfico para formatação de um estudo de revisão sobre NFT.

A metodologia de referência utilizada são os seis passos de Byman (2008). Em respectiva ordem, esses passos são: compreensão do tema; seleção de artigos a partir de

pesquisa em plataformas online; recolhimento e posterior análise dos dados relevantes; trabalho conceitual e teórico; registro de conclusões autorais encontradas.

Sendo assim, a seleção dos artigos para análise nesse estudo foi realizada nas plataformas online Google Acadêmico e Periódicos CAPES a partir da palavra-chave *Non-Fungible Token*, na intenção obter conhecimento sobre definição dessa ferramenta, seu funcionamento e suas aplicações existentes. Vale ressaltar que a plataforma Scielo, anteriormente considerada, foi excluída por não possuir nenhum artigo que atendesse aos critérios dessa pesquisa.

Os critérios de inclusão utilizados foram: artigos relacionados ao tema NFT, publicados entre 2021 e 2022 e com acesso aberto. Os de exclusão foram: acesso pago ou bloqueado, artigos que não possuíam NFT como tema principal. A partir da seleção e da avaliação comparativa entre os artigos, dados relevantes foram extraídos e organizados para a elaboração deste estudo de revisão.

### **1.3 Estrutura Do Trabalho**

Com base na metodologia empregada, 21 artigos foram selecionados seguindo os critérios de inclusão e de exclusão. Os resultados das análises do artigo para a formulação da revisão que este estudo pretende serão discutidos e organizados em 6 capítulos. O primeiro capítulo apresenta as fundamentações e a justificativa que impulsionaram a realização do estudo, assim como sua estruturação de forma a contemplar os objetivos elencados.

No segundo capítulo, apresenta-se a definição, o histórico e as propriedades do NFT dentro do mercado digital atualmente.

O terceiro capítulo aborda, de forma simplificada e generalista, um resumo do algoritmo de funcionamento e do sistema estrutural relacionada ao NFT.

O quarto capítulo expõe as mais variadas aplicações e possibilidades de emprego dos NFTs no mercado descentralizado digital, e os desafios encontrados para fundamentação e ampliação dessa ferramenta.

No quinto capítulo, analisam-se vantagens e desvantagens relacionadas ao uso, venda e compra de NFTs a partir da comparação entre os artigos selecionados para o estudo.

No sexto, são apresentadas as conclusões, as limitações do estudo e sugestões de trabalhos futuros para melhor compreensão do tema.

## CAPÍTULO II – INTRODUÇÃO NFT

Neste capítulo apresenta-se uma definição completa e atual de NFT, a sequência de fatos que culminaram em seu surgimento e em seu crescimento exponencial no mercado digital, assim como suas propriedades inerentes.

### 2.1 Definição

Para fins de definição, um token pode ser visto como uma unidade de informação digital. O termo “fungível” deriva das literaturas econômica e contábil, e é definido como algo que seja intercambiável com um objeto idêntico ou similar (CHOHAN, 2021). Nesse sentido, o NFT, em sua compreensão original, apresenta o caráter de infungibilidade e é concebido para ser único ou bastante limitado e, assim, não pode ser substituído e nem intercambiável com outros ativos digitais (SANTOS et al, 2021; BAKAMAN et al, 2022).

Os *Non-Fungible Tokens* (NFTs), ou “Tokens Não Fungíveis”, são, portanto, ativos imateriais que delimitam a propriedade de documentos eletrônicos mediante o registro em *blockchains* (MARTINS, 2022). Ademais, são ativos criptográficos não fungíveis, declarados um formato de token padrão e possuem um conjunto exclusivo de atributos, os quais serão detalhados posteriormente (BAKAMAN et al. 2022). Tokens não fungíveis são, então, ativos digitais com um identificador exclusivo que é armazenado em um *blockchain* (BAKAMAN et al, 2022).

A sistemática das moedas criptográficas como o Bitcoin – criptomoedas de alto valor que não são atreladas a qualquer órgão financeiro central, as quais são bens fungíveis e, portanto, permitem a troca entre si – assemelha-se às formas tradicionais de moedas por serem intercambiáveis. É isso que os ajuda a servir como meio de troca, por serem entendidos como de igual valor. A título de exemplificação, uma nota de 10 reais pode ser substituída por outra, sem prejuízos financeiros, por representarem o mesmo valor (CHOHAN, 2021; MARTINS, 2022; PARHAM, BREITINGER, 2021; SANTOS et al, 2021).

Diferente dessa sistemática, os NFTs são únicos, designados a uma unidade de arquivo virtual específico e não podem ser divididos como moedas digitais. Essa nova ferramenta representa a existência e a propriedade de ativos digitais como vídeos, imagens, ingressos, obras de arte (CHOHAN, 2021; MARTINS, 2022; PARHAM, BREITINGER, 2021; SANTOS et al, 2021).

Por conseguinte, os NFTs são tokens armazenados em um *blockchain*, existindo para simbolizar propriedade ou direitos de uso sobre algo de valor. Representando, assim, a propriedade de ativos digitais, como obras de arte, animações, imóveis virtuais; e estendida para

ativos do mundo real, como título de propriedade, títulos ou qualquer outro ativo físico (OJOG, 2021; PINTO-GUTIÉRREZ et al, 2022).

Os NFTs introduzem escassez no mundo digital, implementando o conceito de edições assinadas, únicas, tornando tecnologicamente possível a propriedade e a negociação de ativos digitais. Por serem tokens de criptografia, podem ser comprados, vendidos, transferidos, recomprados, negociados no *blockchain*, assim como qualquer outro tipo de token. Quando se compra um NFT, a transação é registrada no banco de dados público de transações e, como resultado, garante a propriedade de um determinado ativo (VALEONTI et al, 2021).

Por fim, o algoritmo de funcionamento de um NFT será descrito posteriormente, mas, vale ressaltar, que usando NFTs em contratos inteligentes, um criador pode facilmente provar a existência e propriedade de ativos digitais na forma de vídeos, imagens, artes, ingressos de eventos, assim como ganhar *royalties* a cada negociação bem-sucedida. Negociabilidade de histórico completo, liquidez profunda e interoperabilidade conveniente permitem que a NFT se torne uma solução promissora de proteção de propriedade intelectual (IP). Em essência, os NFTs atribuíram valor a um ativo ao considerar sua escassez comparativa como objeto digital (WANG et al, 2021).

Em resumo, NFTs são direitos negociáveis de ativos digitais (fotos, músicas, filmes e criações virtuais) em que a propriedade é registrada em contratos inteligentes de *blockchain* (BAKAMAN et al, 2022).

## 2.2 História

Os relatos históricos da data exata de surgimento dos NFTs apresentam variações entre os estudos bibliográficos avaliados nesta pesquisa. As primeiras idealizações de NFT surgiram em 2012, com o projeto “*Colored Coins*” por Yoni Assia. Moedas coloridas que são unidades únicas e identificáveis de um Bitcoin, podendo representar uma infinidade de ativos, como imóveis, carros e títulos; e ter vários casos de uso (PARHAM, BREITINGER, 2021; VALEONTI et al, 2021)

Em 2017, o Larva Labs desenvolveu o primeiro NFT baseado em *Ethereum* chamado *CryptoPunks*, ajudando a popularizar o padrão ERC-721. Ele contém cerca de 10.000 caracteres humanos, 6.039 homens e 3.840 mulheres, únicos, gerados aleatoriamente. A propriedade oficial de cada personagem é armazenada no contrato inteligente da *Ethereum*, e os proprietários podem trocar os personagens. Toda a coleção *CryptoPunks* ultrapassou USD 1 bilhão em vendas em 2021 (BAMAKAN et al, 2022; PINTO-GUTIÉRREZ et al, 2022; WANG et al, 2021).

No final de 2017, o projeto *CryptoPunks* inspirou a criação do *CryptoKitties*, um jogo de *blockchain* inicial que permite aos usuários comprar, vender, coletar e criar gatos digitais, e colocou o NFT na vanguarda do mercado oficialmente com a gamificação da mecânica de reprodução. Este jogo, criado por Dieter Shirley, foi pioneiro no token ERC-721, primeiro padrão na *blockchain Ethereum* que permitiria a implementação de NFTs, fornecendo “funcionalidade básica para rastrear e transferir a propriedade de NFTs”. O NFT de um dos *CryptoKitties* mais caros foi vendido por 170.000 USD. O preço mais alto chega a mais de 999 ETH - aproximadamente três milhões de dólares (BAMAKAN et al, 2022; VALEONTI et al, 2021; WANG et al, 2021).

Após esse hype de 2017, novos projetos começaram a aparecer. O NBA Top Shot, plataforma de negociação NFT usada para comprar/vender vídeos curtos digitais de momentos da NBA é um exemplo. Outros projetos seguintes incluem Picasso Punks, Hashmasks, 3DPunks, punks não oficiais, *Polkamon*, *Chubbies*, *Bullrun Babes*, *Aavegotchi*, *CryptoCats*, *Moon Cats Rescue*, *NFT box*, *MoonCatRescue*, entre outros, reforçando indubitavelmente a ideia de um ciclo de hype em torno dos NFTs (CHOHAN, 2021; WANG et al, 2021).

Além de jogos e de colecionáveis, os NFTs também promoveram o desenvolvimento em outras esferas como a arte, a música, evento de bilheteria, valores e finanças, assunto que será discutido posteriormente (VALEONTI et al, 2021; WANG et al, 2021).

Mesmo com o surgimento como definição em 2017, a maior visibilidade dos NFTs ocorreu entre os anos de 2020 e 2021, com um crescimento exponencial no mercado de investimento (MARTINS, 2022). Em parte, esse crescimento é justificado pela crise pandêmica do COVID-19 vivenciada nesse período, que acentuou a digitalização de diversos aspectos do trabalho e da vida cotidiana para adequação às normas sanitárias vigentes. Nesse sentido, os NFTs passaram a representar um modo consistente e factível de comercialização (MENOTTI, 2021; UMAR et al, 2022).

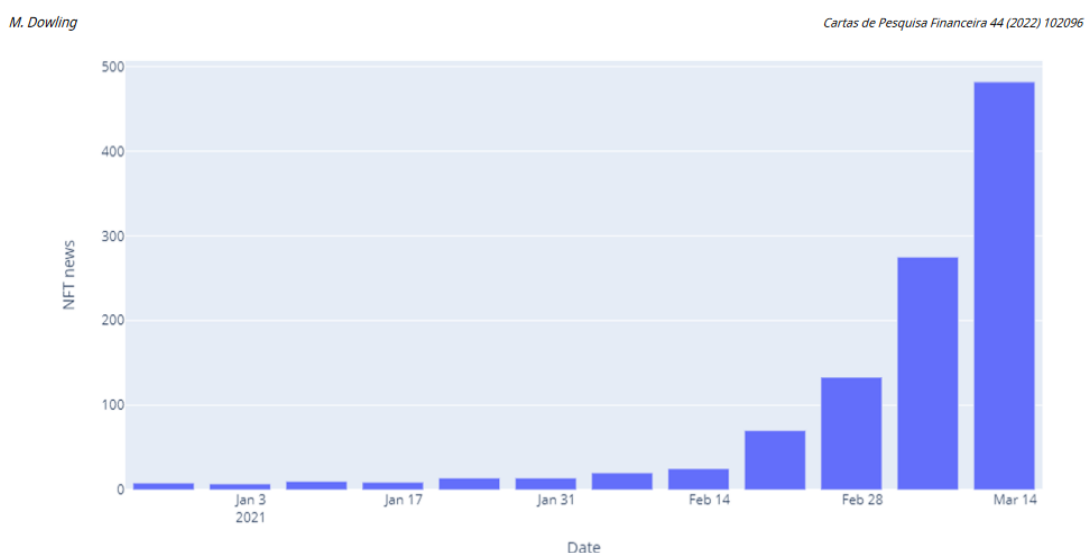
Nessa perspectiva, os ativos virtuais, incluindo as criptomoedas, foram oficialmente reconhecidos como alternativa de investimento em meio a medidas de flexibilização quantitativa em larga escala por bancos centrais em cada país devido à pandemia do COVID-19 (CHO, LEE, 2022; UMAR et al, 2022).

Uma representação prática desse cenário, em âmbito internacional, foi a negociação da arte “*Everydays: the First 5000 Days*”, do artista Mike Winkelmann, conhecido como Beeple. Essa obra é uma compilação fotográfica, com fotos de 1º de maio de 2007 a 7 de janeiro de 2021, em que o lance foi no valor de 69 milhões USD, em março de 2021 (SANTOS et al, 2021).



Estima-se que todas as movimentações financeiras atreladas a NFTs somavam um patrimônio de aproximadamente doze milhões de dólares no período de dezembro de 2020, e passaram a acumular o montante de quatrocentos e quarenta milhões de dólares em março de 2021 - apenas três meses depois (DOWLING, 2022; MARTINS, 2022). Conforme ilustrado na figura 1 abaixo, é notável a visibilidade de imprensa ganhada pelos NFTs nesse período, após negociações milionárias. (DOWLING, 2022)

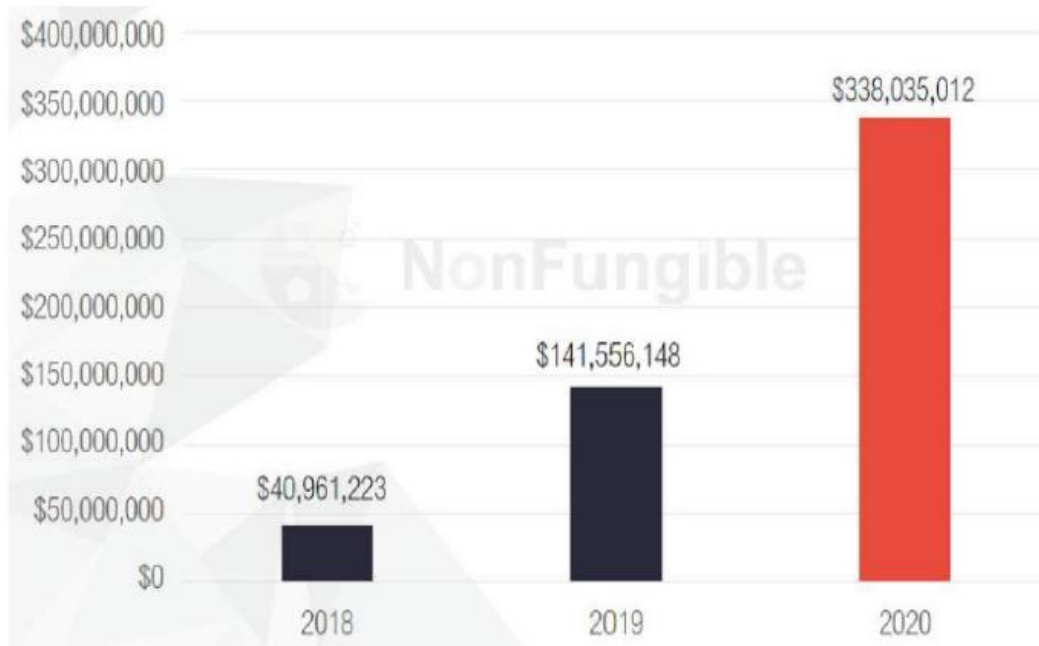
Figura 1: Contagem semanal de cobertura de notícias (imprensa, online, televisão) mencionando NFT no início de 2021 (DOWLING, 2022)



Em apenas um ano, o mercado de NFT passou de um total de vendas diárias de cerca de 183.121 USD em 2020 para uma média de 38 milhões USD em 2021 (PINTO-GUTIÉRREZ et al, 2022). Atualmente, as áreas que mais recebem atenção na indústria de ativos virtuais são NFT e De-Fi (Finanças Descentralizadas). Essas duas áreas estão emergindo rapidamente como grandes modelos de negócios, dando nova vitalidade ao ecossistema *blockchain*, que está quieto desde que a mania da ICO diminuiu (CHO, LEE, 2022). Na figura 2 é possível avaliar o crescimento exponencial do NFT no mercado de investimento.

O fundador do Twitter, Jack Dorsey, vendeu seu primeiro tweet por 2,9 milhões de dólares como um NFT, enquanto o DJ Justin Blau leiloou o “primeiro álbum tokenizado do mundo” por 11,6 milhões de dólares. A Galeria Uffizi foi o primeiro grande museu de arte a vender um NFT de uma de suas obras-primas de Michelangelo “Doni Tondo”, que foi vendida por 170.000 USD. Enquanto isso, o primeiro museu britânico a adotar NFTs foi a *Whitworth Gallery* em Manchester, Reino Unido, que vendeu edições limitadas de uma imagem de *Ancient of Days*, de William Blake (VALEONTI et al, 2021).

Figura 2: Tamanho do mercado NFT (2018 a 2020) (CHO, LEE, 2022)



Para exemplificar ainda mais o contexto de crescimento da visibilidade e do uso dos NFTs, as cinco maiores aplicações relacionadas aos NFTs estão listadas na Tabela 1. (BAO, ROUBAUD, 2021; ITO et al, 2022). Além disso, a MANA, um token nativo da *Decentraland*, uma plataforma metaverso onde os usuários podem comprar e vender propriedades virtuais, disparou 400% e atingiu um total de 26 milhões USD levantados em uma ICO (CHOHAN, 2021; PINTO-GUTIÉRREZ et al, 2022)

Tabela 1: As cinco NFTs mais caras – dezembro de 2021 (ITO et al, 2022)

rank	title	artist	price (USD)	date
1	<i>EVERYDAYS: THE FIRST 5000 DAYS</i>	beeple	\$69,346,250.00	11 Mar 2021
2	<i>HUMAN ONE</i>	beeple	\$28,985,000.00	10 Nov 2021
3	<i>Stay Free (Edward Snowden, 2021)</i>	snowden	\$9,516,829.60	16 Apr 2021
4	<i>CROSSROAD</i>	beeple	\$6,600,000.00	25 Feb 2021
5	<i>OCEAN FRONT (beeple)</i>	beeple	\$6,000,000.00	20 Mar 2021

Por conseguinte, pela maior atenção ao uso de NFT mundialmente, diferentes *blockchains* como EOS, *Algorand* e *Tezos* começaram a oferecer suporte a NFTs, e vários mercados como *SuperRare* e *Rarible* e *OpenSea* são desenvolvidos para ajudar os usuários a negociar NFTs (BAKAMAN et al, 2021).

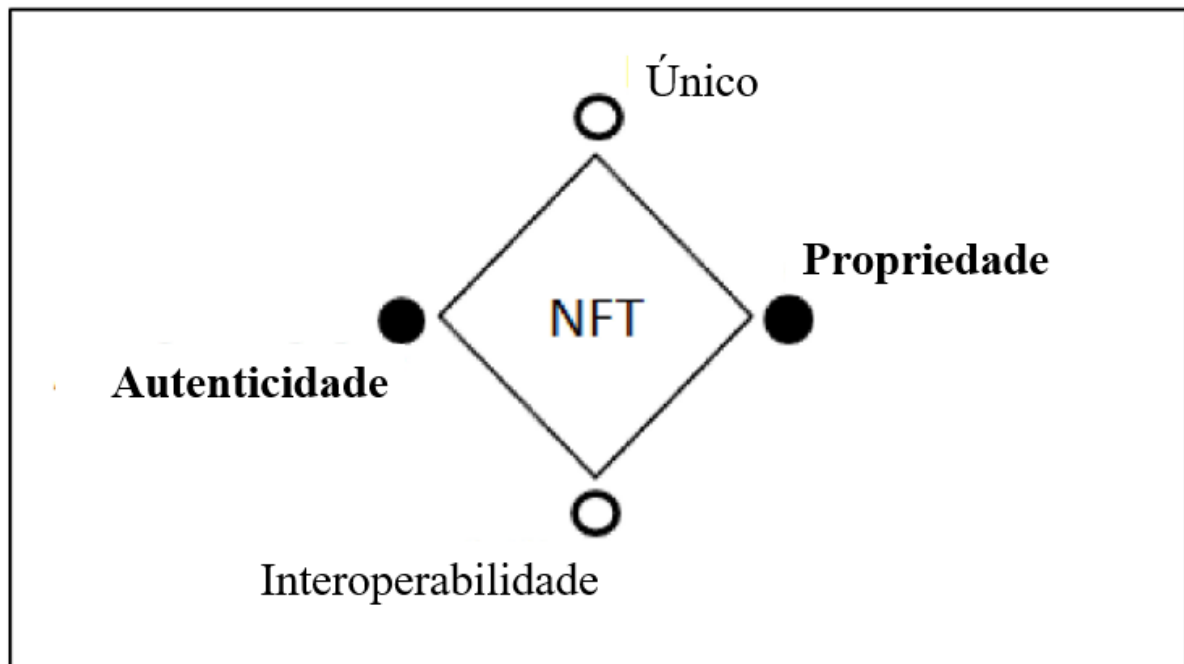
Portanto, a importância do NFT é notória, tanto pelo seu crescimento exponencial vivenciado nos últimos anos, como pelas novas oportunidades de negociação que ele permite.

Sendo assim, maiores investimentos em estudos sobre esse tema são importantes, já que essa tecnologia NFT tende a continuar seu desenvolvimento e popularidade em muitas áreas no futuro (PARHAM, BREITINGER, 2021).

### 2.3 Propriedades

As principais propriedades dos NFTs descritas em artigos são: singularidade, rastreabilidade, infungibilidade, autenticidade, propriedade, interoperabilidade, transferência, transparência, imutabilidade e prevenção de fraudes. Algumas delas estão representadas na Figura 3 (BAKAMAN et al, 2022; BARBOZA et al, 2021; CHIACCHIO et al, 2022).

Figura 3: Principais propriedades de um Token Não-fungível (NFT) (CHIACCHIO et al, 2022)



A singularidade se remete ao fato de o NFT fornecer uma representação de ativos únicos, escassos, com características individuais, diferindo-se de outro em seu código, para que haja manutenção de sua desejabilidade ao longo dos anos. A rastreabilidade se justifica pelo registro de transações na cadeia de nós, comprovando autenticidade do ativo. (BAKAMAN et al, 2022; BARBOZA et al, 2021; CHIACCHIO et al, 2022).

Infungibilidade, como já explicado anteriormente, refere-se a propriedade de o NFT não poder ser dividido em frações ou valores menores, não podem ser intercambiáveis por apresentarem um código que tornam o ativo único. Autenticidade por não ter passado por processo de mutações ou reproduções indevidas, são tokens exclusivos, que podem representar

ativos do mundo real. São propriedades da entidade que os possui, a qual pode provar o direito de posse de suas chaves com confirmação pública por meio do *blockchain* (BAKAMAN et al, 2022; BARBOZA et al, 2021; CHIACCHIO et al, 2022).

Em relação à interoperabilidade: os NFTs são armazenados em um contrato inteligente no *blockchain*, tornando-se possível utilizar NFTs em diferentes níveis de concessão de acesso em aplicações. Transferência: os usuários podem transferir livremente a propriedade de NFTs para outros em mercados digitais. Transparência: em virtude do uso do *blockchain*, todas as transações são transparentes e todos os nós da rede podem confirmar e rastrear as negociações (BAKAMAN et al, 2022; BARBOZA et al, 2021; CHIACCHIO et al, 2022).

Imutabilidade: Metadados, token ID e histórico de transações de NFTs são registrados em um *ledger* distribuído, sendo impossível alterar as informações das NFTs compradas. Prevenção de fraudes: o uso de NFTs garante, em princípio, que os compradores comprem um item não falsificado, associado a uma propriedade. Este item será tema de maior discussão posteriormente (BAKAMAN et al, 2022; BARBOZA et al, 2021; CHIACCHIO et al, 2022).

## CAPÍTULO III – ALGORITMO

Em suma, na *Ethereum*, uma das diversas *blockchains* existentes, os tokens são representações digitais de um valor associado a um ativo, serviço ou direito de fazer algo e são implementados por meio dos contratos inteligentes (*smart contracts*) (SANTOS et al, 2021). Os ERCs são um padrão de código desenvolvido no *Ethereum*, sendo uma interface que um contrato inteligente deve implementar para ter a capacidade de transferir e gerenciar NFTs (BAMAKAN et al, 2022). Nesse contexto, o presente capítulo descreve, de forma simplificada e generalista, cada etapa do algoritmo de funcionamento relacionada aos NFTs anteriormente citada.

### 3.1 Blockchain

O *blockchain* é um sistema de gerenciamento de transações digitais. Seu mecanismo surgiu no *White Paper* do Bitcoin em 2008 e revolucionou o mercado por permitir que seus usuários gerassem transações e gastassem seu dinheiro sem a intervenção de um banco central (BAMAKAN et al, 2022). Por ter sido desenvolvido como uma tecnologia capacitadora de Bitcoin, possui diversas aplicações nos setores bancários e financeiros (KARANDIKAR et al, 2021).

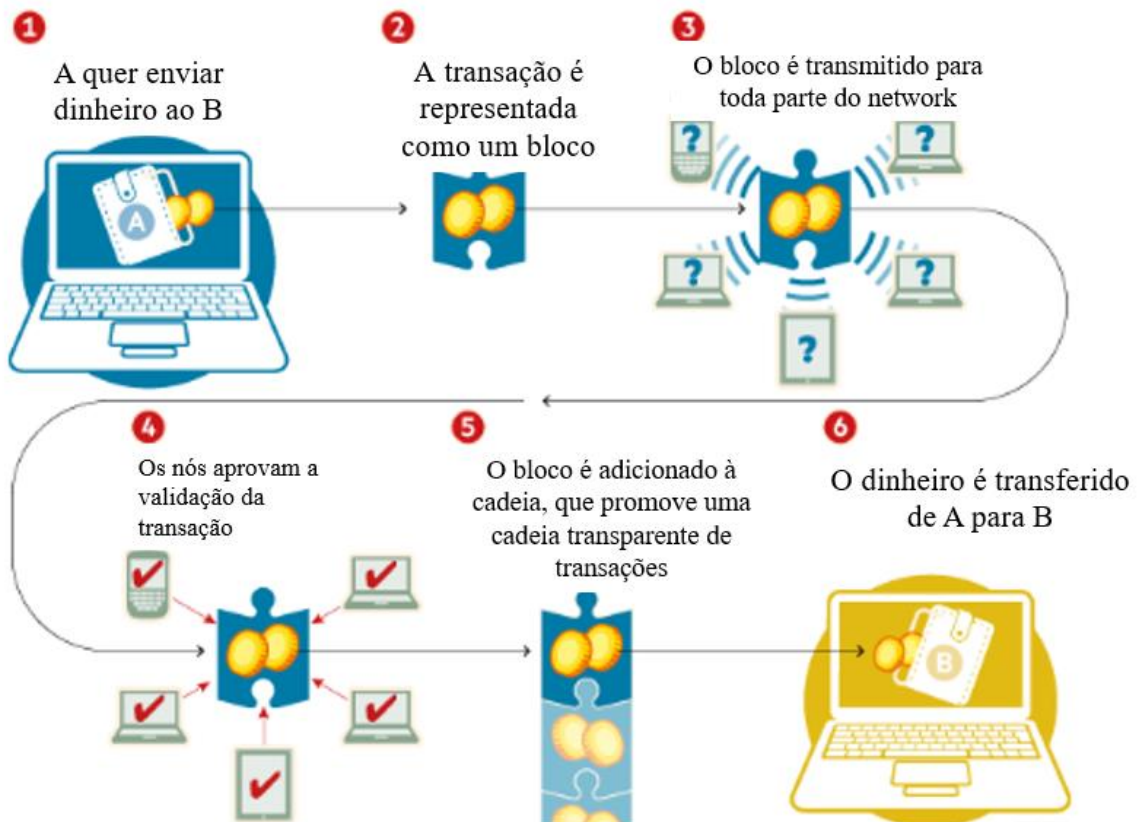
A principal diferença do *blockchain* para formas convencionais de bancos de dados é o fato de que se pode operar de modo distribuído e descentralizado. Em outras palavras, as redes de pontos não se encontram em um único servidor, e sim, espalhadas em nós dentro de uma rede. Além disso, é necessário que haja sincronização consistente entre todos os participantes da rede, e que as transações sejam validadas para posterior incorporação na rede. Caso contrário, mudanças unilaterais no seu conteúdo não serão validadas porque não conseguem se espalhar (MENOTTI, 2021).

O *blockchain* se configura como uma cadeia de blocos, acumulando as representações das transações realizadas em ordem cronológica. Nada do que já foi registrado pode ser removido ou alterado sem desvirtuar toda a sequência. Dessa forma, para dar conta de novas transações, é preciso adicionar à cadeia mais um bloco de informações, que virá para os anteriores na representação válida do conjunto de dados (MENOTTI, 2021).

Em outras palavras, para inscrição de um novo bloco à cadeia, é necessário identificá-lo com assinatura cifrada, convertendo todo o conteúdo do bloco em uma sequência de caracteres alfanuméricos de tamanho fixo por meio da função matemática *hash* – processo conhecido como mineração (MENOTTI, 2021).

Esse processo de mineração, quando assertivo e, conseqüentemente, incorporado pela rede, recompensa os mineradores com criptomoedas. Elas são atribuídas como uma recompensa para os nós da rede que assumem uma responsabilidade por essa operação. Nesse contexto, para se criar um bloco, os mineradores tentam inserir assinaturas na rede de blocos em um determinado período, incluindo “pagamento” pela mineração. Para que a assinatura seja aceita pela rede, o seu cabeçalho precisa cumprir as regras certas. Como os mineradores não podem alterar uma função incompatível, eles devem gerar um valor aleatório na lista de transações, e seguir repetindo o processo até finalmente obter uma assinatura válida. Quando se obtém sucesso, a assinatura é propagada pela rede, o bloco é registrado, e seu minerador, recompensado (MENOTTI, 2021). As figuras 4 e 5 ilustram de forma simplificada o processo de inclusão de um bloco na rede *blockchain* e a figura 6 ilustra o processo de mineração.

Figura 4: Fluxograma de funcionamento de um *blockchain* (PARHAM, BREITINGER, 2021)

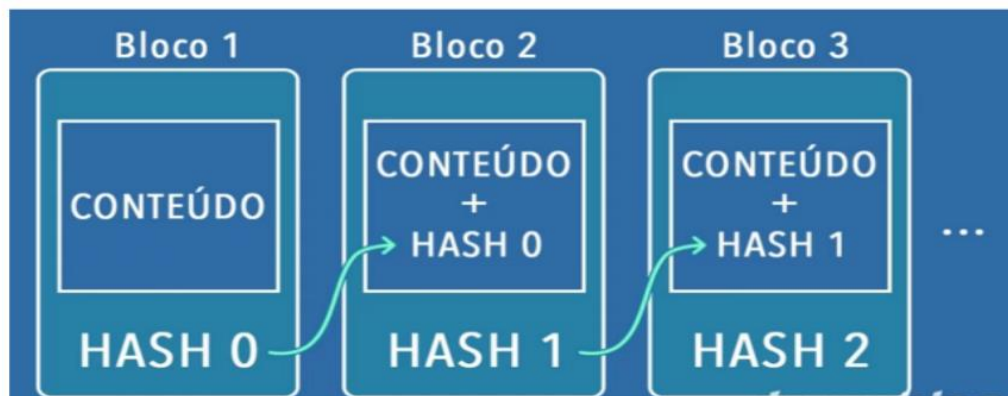


Vale ressaltar que, na sua criação, era possível minerar em uma rede de *blockchain* em qualquer computador caseiro. Atualmente, um conjunto considerável de máquinas dedicadas são necessárias, gerando um gasto exorbitante de eletricidade. Cada transação de Bitcoin produz uma média de 272g de lixo eletrônico o que equivale a quase dois iPhones (MENOTTI, 2021).

Figura 5: Fluxograma de funcionamento da tecnologia de *blockchain* (SANTOS et al, 2021)



Figura 6: Mineração em *Blockchain* (SOUZA, 2021)



Em continuidade, uma vez que os dados compartilhados no *blockchain* são confirmados na maioria dos nós distribuídos, eles se tornam imutáveis porque qualquer alteração nos dados armazenados invalidará todos os dados subsequentes (WANG et al, 2021).

Por conseguinte, o *Blockchain* continua a ganhar considerável interesse de pesquisa, já que seus recursos, como descentralização, imutabilidade, rastreamento de proveniência e contratos inteligentes autoimpostos, tornam-no apto para uma variedade de aplicações envolvendo troca de informações e valores, transparência, controle de acesso e codificação de lógica de negócios para execução automática. Ademais, as implementações de *blockchain* podem abranger a rede de negócios e fornecer rastreamento de proveniência e, assim, facilitar a reconciliação de faturas e a resolução de disputas. Sua imutabilidade pode aumentar a

confiança e a transparência nas transações, assim como os contratos inteligentes podem ser usados para automatizar fluxos e processos de transações (KARANDIKAR et al, 2021).

Em resumo, o *blockchain* é um livro razão distribuído de registros, em que um usuário inicia uma operação e ela é encaminhada para toda a rede para validação por nós, de acordo com regras pré-determinadas. Assim que o mecanismo de consenso pela rede é realizado, o novo bloco com informações é adicionado e distribuído para todos os nós, vindo a compor o histórico registral. (SANTOS et al, 2021).

Nesse contexto, a *blockchain* possibilita a realização de *smart contracts* (contratos inteligentes), e na *Ethereum*, uma das diversas *blockchains* existentes, os tokens são representações digitais de um valor associado a um ativo, serviço ou direito de fazer algo e são implementados por meio dos citados contratos inteligentes (SANTOS et al, 2021)

A tecnologia inovadora dos *Blockchains* está revolucionando a forma como as operações acontecem, garantindo sucesso e segurança das transações. Assim, parece ser de ordem natural e adaptativa, principalmente após os desgastes financeiros sofridos em consequência da pandemia do COVID 19, o incremento dessa ferramenta ao cotidiano social (LARCEDA, 2022).

### 3.2 Ethereum

O *Ethereum* é um *blockchain* programável descentralizado, que fornece contratos inteligentes usados por muitos projetos NFT. Foi criado em 2013 por Vitalik Buterin devido à falta de contratos inteligentes na Bitcoin (PARHAM, BREITINGER, 2021).

Ademais, a plataforma *blockchain* mais usada em esquemas NFT é o *Ethereum*, fornecendo um ambiente seguro para executar os contratos inteligentes e sequências de códigos numéricos, garantindo autenticidade de um criptoativo (SOUZA, 2021; WANG et al,2021).

Como já citado anteriormente, novas plataformas de blockchain para NFT estão surgindo, dentre elas: *Ethereum 2.0*; *Cardano*; *Polkadot*; *Flow*; *Tezos*. A comparação e o entendimento de suas diferenças são importantes para compreender vantagens e desvantagens de seu uso (BAMAKAN et al, 2022; PARHAM, BREITINGER, 2021).

O *Ethereum 2.0*, lançado em dezembro de 2020, é a segunda versão oficial da rede *Ethereum*, que resolve seus principais problemas, dentre eles, a escalabilidade. Há muitos aplicativos descentralizados na rede *Ethereum* que processam aproximadamente até 20 transações por segundo, sendo a velocidade mais baixa e os custos mais altos. O *Ethereum 2.0* permitirá realizar mil transações por segundo, a fim de resolver esse problema. Essa atualização de rede também alterará o protocolo de consenso atual. Ele altera o atual modelo de prova de



trabalho para prova de participação, o que torna a rede *Ethereum 2.0* comparativamente mais ecológica devido ao menor consumo de energia (BAMAKAN et al, 2022; PARHAM, BREITINGER, 2021).

O *Cardano* é uma das plataformas *blockchain* de terceira geração em desenvolvimento, iniciada por Charles Hoskinson, ex-cofundador da *Ethereum*. É um sistema de código aberto e tem várias vantagens contra *Ethereum*, como maior velocidade e menores taxas de transação. Ele suporta aplicativos descentralizados (os chamados *Dapps*) e contratos inteligentes que fornecem a cunhagem dos NFTs. O *Cardano* também usa o protocolo de *Proof of Stake* (PoS) ou prova de participação que tem várias vantagens sobre o protocolo de *Proof of Work* (PoW) ou prova de trabalho usado por *blockchains* como *Bitcoin* e *Ethereum*, como são segurança, mais descentralização, eficiência energética e de custo (BAMAKAN et al, 2022; PARHAM, BREITINGER, 2021).

O *Polkadot* é um protocolo *blockchain* que une e conecta uma rede de fragmentos de *blockchain* heterogêneos através da *Polkadot Relay Chain*, sendo também capaz de suportar NFTs em seu ecossistema. Possui várias vantagens sobre a rede *Ethereum*, como taxas de transação mais baixas e maior velocidade. Portanto, *Polkadot* pode ser um ecossistema alternativo para NFTs (BAMAKAN et al, 2022; PARHAM, BREITINGER, 2021). A figura 7 apresenta um quadro comparativo entre essas tecnologias.

Figura 7: Comparação entre plataformas de *blockchain* para NFT (PARHAM, BREITINGER, 2021)

<b>Network</b>	<b>Transaction fee</b>	<b>Speed</b>	<b>Consensus algorithms</b>
<b><i>Ethereum</i></b>	~ 10 - 40 \$	15 - 20 Tps	PoW
<b><i>Ethereum 2.0</i></b>	~ 1 - 8 \$	100,000 Tps	PoS
<b><i>Cardano</i></b>	~ 0.3 \$	1,000,000 Tps	PoS
<b><i>Polkadot</i></b>	~ 2 \$	166,666 Tps	PoS

*Tezos* é outro *blockchain* de código aberto descentralizado, o qual apoia o conceito de meta-consenso: além de usar um protocolo de consenso tradicional como *Bitcoin* e *Ethereum*, ele também tenta chegar a um consenso sobre como os nós e o protocolo devem ser alterados ou atualizados. FA2 (TZIP-12) é um exemplo de padrão para uma interface unificada de contrato de token utilizado no *Tezos*, que oferece suporte a NFT. Ademais, *Tezos* oferece

suporte à transferência de token em lote, o que reduz o custo de transferência de vários tokens (BAMAKAN et al, 2022; PARHAM, BREITINGER, 2021).

Por fim, o *Flow*, criado pela *Dapper Labs* para remover a limitação de escalabilidade do *Ethereum*, é um *blockchain* rápido e descentralizado que se concentra em jogos e em colecionáveis digitais. O *Flow* oferece suporte a contratos inteligentes usando *Cadence*, uma linguagem de programação orientada a recursos. Os NFTs podem, então, nessa plataforma, ser descritos como um recurso que tem apenas um proprietário e não pode ser copiado ou perdido (BAMAKAN et al, 2022; PARHAM, BREITINGER, 2021).

### 3.3 Smart contracts

Para cunhar ou negociar um NFT em uma *blockchain*, é necessário usar *smart contracts* (contratos inteligentes). Em termos técnicos, são contratos digitais que permitem vinculação de ativos contingentes a um consenso descentralizado, os quais são à prova de adulteração e normalmente autoaplicáveis por meio de execução automatizada (PARHAM, BREITINGER, 2021).

Originalmente introduzidos por Szabo, a fim de acelerar, verificar ou executar a negociação digital, os contratos inteligentes adotam linguagens de script completas para obter funcionalidades complicadas e executar replicação completa de transição de estado sobre algoritmos de consenso para obter consistência final. Os contratos inteligentes permitem que partes desconhecidas e participantes descentralizados realizem trocas justas sem um terceiro e proponham ainda um método unificado para criar aplicativos em uma ampla variedade de setores. Os aplicativos que operam em cima de contratos inteligentes são baseados em mecanismos de transição de estado (WANG et al, 2021).

O contrato inteligente gerencia o *Ethereum* e permite computação, nomeadamente suportando “todos os tipos de cálculos”. É um contrato autoexecutável entre duas partes, cujos termos de acordo são escritos em linhas de código e cuja execução e transações relacionadas são rastreáveis, irreversíveis e controladas exclusivamente por código (VALEONTI et al, 2021; OJOG, 2021).

Por fim, para implementar contratos inteligentes em *blockchain*, deve-se usar frequentemente a linguagem de programação *Solidity*, que é semelhante a *JavaScript* de alto nível. Os contratos inteligentes são semelhantes às linguagens de programação orientadas a objetos e consistem em funções e variáveis em *Solidity* (PARHAM, BREITINGER, 2021)

### 3.4 ERC

A *Ethereum* emitiu padrões ERC para a criação e interação dos tokens. O ERC significa *Ethereum Request for Comments*, sendo um conjunto de regras comuns que os contratos inteligentes devem seguir para serem negociados. Cada token é criado por meio de um contrato inteligente, e cada padrão possui uma funcionalidade diferente vinculada. Existem vários tipos de padrões aceitos no *Ethereum* para diferentes casos: o ERC20 é usado para tokens fungíveis como *Uniswap*, já o padrão ERC-721 é usado para tokens não fungíveis, como arte digital, jogos ou ingressos. Outrossim, o ERC1155 é usado para não fungíveis, fungíveis, semifungíveis e tokens em um único contrato, sendo criado para resolver o problema de tokens que precisam ser transacionados em massa (OJOG, 2021).

O ERC-20 introduz o conceito de tokens fungíveis, ou seja, semelhantes entre si, e intercambiáveis. Muitas cadeias públicas e vários *DApps* baseados em *blockchain* obtêm financiamento inicial suficiente dessa maneira. O ERC-20 faz com que cada tipo de token seja implantado em contratos separados. Nesse sentido, entre suas características destacam-se: substituível, não há discrepância entre tokens, não colecionável, o valor não varia de acordo com raridade, não possui função de propriedade especial, podem ser separados em decimais e são mais utilizados (CHO, LEE, 2022; PARHAM, BREITINGER, 2021; WANG et al, 2021).

O ERC-721 foi o primeiro padrão para NFT a ser desenvolvido no *Ethereum*. É um padrão gratuito, de código aberto, com propriedades exclusivas e um ID de token diferente. Esse padrão representa uma interface que um contrato inteligente deve implementar para ter a capacidade de transferir e gerenciar NFTs. Incluem informações do proprietário, podendo ser rastreado. No ERC-721, os contratos inteligentes podem agrupar tokens com a mesma configuração e cada token possui propriedades diferentes, portanto, o ERC-721 não oferece suporte a tokens fungíveis. Possuem mecanismo de contrato inteligente *Solidity* herdável. Tem sua utilidade para obras de artes singulares, de caráter único. Difere do ERC-20 por suas características como: infungibilidade, cada token possui um ID específico, tornando-o único, é colecionável, seu valor varia conforme sua raridade, insubstituível, não divisível, possui recurso de propriedade especial (BAMAKAN et al, 2022; CHO, LEE, 2022; CHOHAN, 2021; PARHAM, BREITINGER, 2021; SANTOS et al, 2021; SOUZA, 2021; VALEONTI et al, 2021; WANG et al, 2021).

O ERC-1155, criado por Ejjin Coin, é um “multi-token”, que se mostra apto para situações diversas, em que se visualiza a serialização de um item, como revistas em quadrinhos, cartões comemorativos, ou itens disponíveis em jogos eletrônicos. Esse padrão suporta tokens fungíveis, não fungíveis e semifungíveis; sendo os IDs responsáveis por definir a classe de

ativos. Portanto, IDs diferentes têm uma classe diferente de ativos e cada ID pode conter ativos diferentes da mesma classe. Nesse sentido, um mesmo usuário pode transferir diferentes tipos de tokens em uma única transação e misturar vários tipos de tokens fungíveis e não fungíveis em um único contrato inteligente. Ademais, é um padrão que consegue reduzir em 90% a emissão de taxa de gás e, conseqüentemente, de carbono (BAMAKAN et al, 2022; CHO, LEE, 2022; CHOHAN, 2021; PARHAM, BREITINGER, 2021; SANTOS et al, 2021; SOUZA, 2021; VALEONTI et al, 2021; WANG et al, 2021). A figura 8 ilustra os diferentes tipos de padrões associados ou não ao NFT e a figura 9 compara características entre esses padrões.

Figura 8: Padrões de Token relacionados ao NFT (WANG et al, 2021)

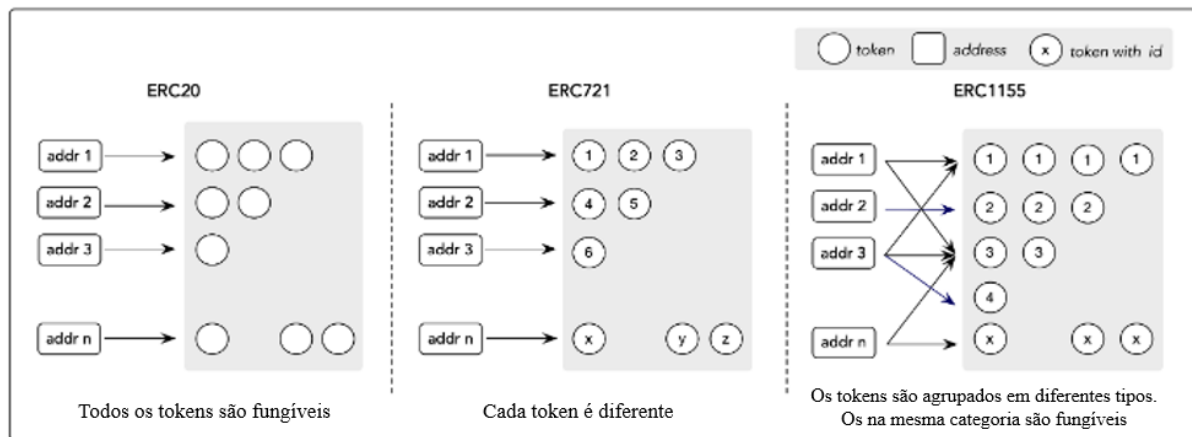


Figura 9: Comparações entre padrões NFT (BAMAKAN et al, 2022)

Padrões NFT	Suporte a FTs	Suporte NFT	Suporte a transferência em lote	Operador de suporte	NFTs fracionadas
ERC-721	Não	Sim	Não	Sim	Não
ERC-1155	Sim	Sim	Sim	Sim	Não
dBens	Sim	Sim	Sim	Não	Não
Algorand	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
Tezos	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
Fluxo	Sim	Sim	Sim	Sim	Não

### 3.5 Algoritmo NFT

Nesta parte da presente pesquisa, objetiva-se formular uma síntese do algoritmo de funcionamento do NFT, a fim de facilitar a compreensão do processo relacionado à cunhagem de NFT em *blockchain*.

Nesse contexto, a criação do NFT é iniciada com o envio da obra digital a uma rede de mercado criptografado, para que seja feito seu registro e posterior comercialização a partir de criptomoedas. Esse processo de registro recebe o nome de *minting* ou cunhagem, feito por uma

empresa mediante pagamento de uma taxa de gás. Essa taxa é utilizada para remunerar os mineradores da *blockchain*. (MARTINS, 2022).

Por definição, os NFTs se enquadram como criptoativos, por se tratar de registro em cadeia de código que, associados a um item artístico, são criados no intuito de determinar um valor - que varia conforme raridade do ativo - bem como de exercer função de investimento, tornando-o único (MARTINS, 2022).

Cada projeto de NFT possui quantidades pré-definidas de arte criadas, de forma a gerar escassez do ativo e, conseqüentemente, maior valor agregado. Logo após ser estabelecido a quantia de NFTs emitidos, um identificador exclusivo *hash* é adicionado a cada token, com a intenção de garantir a integridade dos dados, verificação do emissor e dificultar falsificação dos dados. Vale ressaltar que no NFT, informações como propriedade e histórico de vendas de ativos digitais são todas armazenadas na cadeia de blocos, para que a propriedade possa ser claramente especificada, a cópia parcial pode ser evitada e os originais podem ser verificados (CHO, LEE, 2022; SOUZA, 2021).

Em continuação, após a identificação dos tokens, segue-se o *minting*, em que a quantidade predeterminada de NFTs é lançada para compra pelo preço inicial estipulado pelos desenvolvedores do projeto. Os primeiros a assinarem o contrato inteligente que permite o envio de moedas *Ethereum* em troca do NFT, recebe a sua respectiva arte. Os NFTs ficam disponíveis para compra e venda em plataformas de como o *Opensea* (CHO, LEE, 2022; SOUZA, 2021).

Com base nisso, dois padrões de projeto para o NFT são identificados. O protocolo anterior é estabelecido de cima para baixo, ou seja, construir NFTs do iniciador e depois vendê-los ao comprador. Em contraste, a rota posterior inverte esse caminho: definindo um modelo NFT, e cada usuário pode criar seus NFTs exclusivos. Ressalta-se que ambos ainda seguem um fluxo de trabalho muito semelhante quando executados em sistemas *blockchain* (como pode ser visualizado na figura 10), isso demonstra que designs diferentes não alterarão o mecanismo operacional subjacente (WANG, et al, 2021).

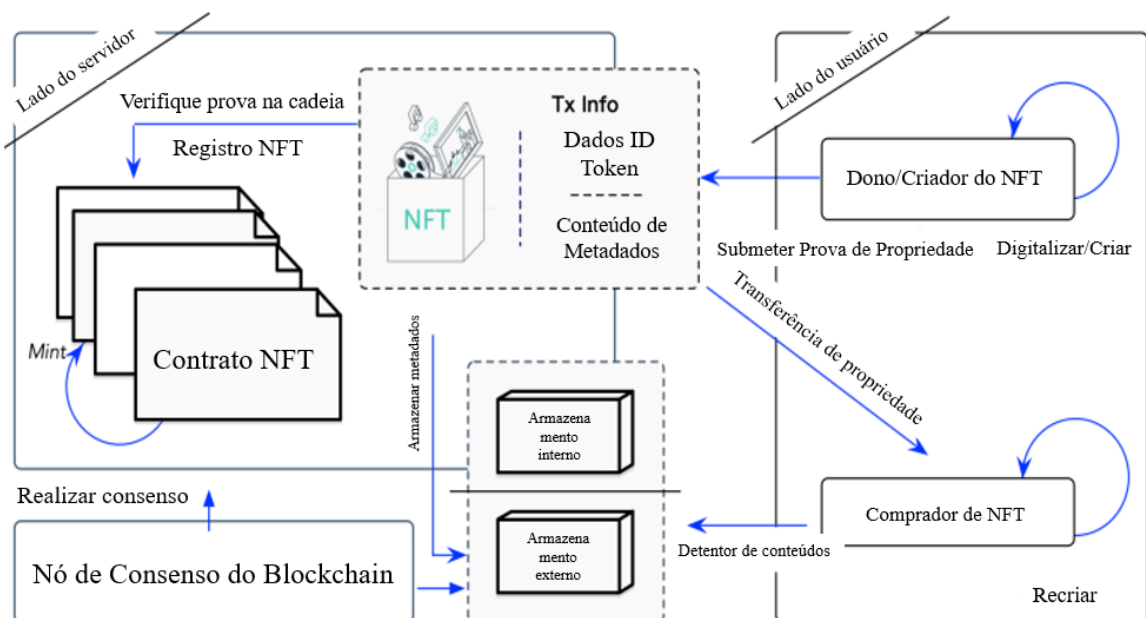
No protocolo anterior, *CryptoPunks*, por exemplo, um NFT consiste em outros dois papéis: proprietário da NFT e comprador da NFT. Um proprietário de NFT verifica se o arquivo, título e descrição são completamente precisos. Em seguida, ele digitaliza os dados brutos em um formato adequado, em seguida, armazena os dados brutos em um banco de dados externo fora do *blockchain*. O proprietário da NFT, então, assina uma transação, incluindo o *hash* dos dados da NFT e, em seguida, envia a transação para um contrato inteligente. Depois que o contrato inteligente recebe a transação com os dados NFT, o processo de *minting* e negociação começa. Uma vez confirmada a transação, o *minting* é finalizado. Por essa abordagem, os NFTs

se vincularão para sempre a um endereço *blockchain* exclusivo como evidência de persistência. (WANG, et al, 2021).

No protocolo posterior, Loot, por exemplo, o NFT consiste em dois papéis: criador de NFT e comprador de NFT. O fundador do projeto cria um modelo por meio do contrato inteligente para configurar várias regras básicas, diferentes recursos como estilo de personagem, armas ou acessórios no jogo. Uma vez realizado um lance para um NFT por um comprador, ele pode personalizar o produto NFT com recursos adicionais além das linhas básicas anteriormente citadas. Assim que o contrato inteligente correspondente é acionado, o *minting* é iniciado. Todos os processos são realizados por meio de contratos inteligentes, e o NFT gerado será armazenado na cadeia quando o consenso for concluído (WANG, et al, 2021).

Por fim, o sistema NFT, em sua essência, é um aplicativo baseado em *blockchain*. Sempre que um NFT é cunhado ou vendido, é necessário enviar uma nova transação para invocar o contrato inteligente. Após a confirmação da transação, os metadados da NFT e os detalhes de propriedade são adicionados a um novo bloco, garantindo assim que o histórico da NFT permaneça inalterado e a propriedade seja preservada (WANG, et al, 2021).

Figura 10: Fluxo de trabalho dos sistemas NFT (WANG et al, 2021)



## CAPÍTULO IV – APLICABILIDADE E NOVOS DESAFIOS

Apesar de NFTs terem um tremendo impacto potencial nos atuais mercados descentralizados e futuras oportunidades de negócios, essa tecnologia ainda está em um estágio muito inicial. Sendo assim, as oportunidades promissoras relacionadas ao seu uso devem ser destacadas, enquanto alguns desafios potenciais devem ser cuidadosamente apontados e, posteriormente, enfrentados (WANG et al, 2021). Nessa perspectiva, este capítulo apresenta as aplicações atuais já concretizadas dessa nova tecnologia, novas possibilidades de aplicação demonstradas em estudos e os desafios inerentes ao seu uso.

### 4.1 Aplicações

Os NFTs ganharam notoriedade no cenário mundial, sendo bastante variadas suas formas de aplicações hoje empregadas. Atualmente, os NFTs mais negociados estão na arte, objetos e jogos colecionáveis, responsáveis por 85% do volume de negociações. Além disso, novas formas de utilização de NFTs estão se popularizando, como em esportes, tokens de torcedor (PARHAM, BREITINGER, 2021). Na figura 11 estão representados os principais usos atuais dos NFTs. Outras aplicações podem ser listadas: benefícios exclusivos em clubes esportivos como direito a voto e a conteúdos reservados; propriedades reais como imóveis, ações, animais, que tiveram sua posse legal agregada ao token; terrenos virtuais; vídeos de momentos icônicos; itens digitais ligados a jogos (LACERDA, 2022).

Figura 11: Principais usos de NFTs (PARHAM, BREITINGER, 2021)

<b>Categoria</b>	<b>Descrição</b>	<b>Projetos</b>	<b>Network</b>
Obras de arte digitais	NFTs de obras de artes digitais como imagens, vídeos, gifs	<b>Opensea</b>	<b>Polygon</b>
Música	Tokens de streaming de áudios	<b>Audius, Rocki, Mozik</b>	<b>Ethereum, Solana</b>
Coleções de jogos	NFTs usados para objetos de coleções de jogos	<b>Cryptokitties</b>	<b>Ethereum</b>
Tokens de fãs	Tokens usados por clubes de futebol	<b>Chiliz</b>	<b>Ethereum</b>
Conservação de vida selvagem	NFTs de vida selvagem	<b>Cryptokitties, Panda Earth</b>	<b>Ethereum</b>

Um dos primeiros domínios de NFTs é o *Artworks*, plataforma em que o próprio artista pode criar um NFT a partir de suas obras de arte e vendê-lo como um ativo ou propriedade digital em uma rede *blockchain*. Vários tipos de arquivos podem ser incluídos: imagem digital, gif, arquivo de vídeo. A *Artworks* é apenas uma das plataformas de mercado NFT seguras existentes que os artistas podem utilizar para representar suas obras de arte e vendê-las (PARHAM, BREITINGER, 2021).

Outro exemplo de aplicação seria o Mar Aberto, que é um mercado descentralizado para compra, venda e negociação por meio de contratos inteligentes na *Ethereum*, através de armazenamento de itens na carteira (*Metamask*, por exemplo). A *Opensea* permite que seus usuários negociem obras de arte, coleções de jogos, NFTs esportivas, por 2,5% de taxa de compra, sendo umas das plataformas mais acessíveis (PARHAM, BREITINGER, 2021).

Assim como a arte, a indústria da música também tem sua aplicabilidade em tecnologia NFT e *blockchain*. Cada música pode ser convertida em um NFT exclusivo, cantores ou DJs podem vender as cópias limitadas de qualquer música que produziram. A título de exemplificação, o *Audius (Spotify Killer)* é um projeto NFT em desenvolvimento baseado em seu token próprio, que será implementado no ecossistema *Ethereum* (PARHAM, BREITINGER, 2021).

No âmbito de jogos também houve crescimento da influência e do uso de NFTs. Muitas redes de jogos utilizam-se do padrão ERC-1155, o qual permite inclusão de vários tipos de tokens, para armazenamento de suas regras nos contratos inteligentes. Os jogadores podem receber objetos no jogo, os quais podem ser adicionados às carteiras *Ethereum*. Todas as transações dos jogadores são registradas na rede *blockchain*. São exemplos de jogos de criptografia: *CryptoKitties*, *Cryptocats*, *CryptoPunks*, *Meebits*, *Axie Infinity*, *Gods Unchanged* e *TradeStars* (PARHAM, BREITINGER, 2021; WANG et al, 2021).

Um dos novos casos de uso de tokens esportivos é a oferta de tokens para fãs. Qualquer torcedor de um clube esportivo pode comprar um token de torcedor de um determinado clube, permitindo maior aproximação do clube com seus respectivos torcedores. Os *Sóciosapp* com sua criptomoeda chamada *Chiliz* é a maior plataforma baseada nos tokens de fãs, com vários parceiros importantes como FC Barcelona, Juventus, Paris Saint-Germain e Atlético de Madrid. O local em que esses tokens apresentam maior popularidade é na Ásia (PARHAM, BREITINGER, 2021).

Ademais, os NFTs estendem muito o escopo das aplicações *blockchain* com a ajuda de suas propriedades adicionais (singularidade, propriedade, liquidez). Nesse sentido, podem ser utilizadas em emissão de bilhetes para eventos, em que o bilhete baseado em NFT é único,



dentro de uma plataforma transparente de negociação (*blockchain*), conferindo segurança ao processo. Outras funções interessantes do NFT são fornecimento de registros de propriedade de itens nos jogos e promove o lugar de marcação econômica no ecossistema (WANG et al, 2021).

O conceito de Metaverso, que representa um espaço virtual compartilhado com atividades digitais, está em rápido desenvolvimento associado ao progresso dos *blockchains*, já que fornece um ambiente digital ideal para esse espaço. Os participantes dessas realidades alternativas podem desfrutar de jogos, exibir artes feitas por eles mesmos, negociar ativos e propriedades virtuais (artes, terrenos, nomes, filmagens de vídeo). Além disso, os usuários também têm oportunidades de obter lucros com a economia virtual. Os principais projetos habilitados para *blockchain* são *Decentraland*, *Cryptovoxels*, *Somnium Space*, *MegaCryptoPolis* e *Sandbox*. (WANG et al, 2021)

Plataformas de leilões também são uma forma de aplicação de NFT que vêm ganhando cada vez mais espaço no mercado atual. A *Kakao* assinou um acordo comercial com a *OpenSea* e está operando uma dessas plataformas de curadoria de NFT *Clip Drops*. Outras empresas como *Samsung Electronics*, *Samsung Next* e *Samsung Venture Investment* estão investindo continuamente nesse setor. No setor de entretenimento, onde os ativos de conteúdo digital são importantes, empresas líderes do setor, como *Hive*, *SM Entertainment*, *YG Entertainment* e *JYP Entertainment*, declararam oficialmente sua entrada no negócio de NFT e forneceram serviços relacionados por meio de alianças de negócios e execução de investimentos com criptomoeda bolsas e empresas de plataforma. está preparando (CHO, LEE, 2022).

Dentro dessa perspectiva, é notório o desenvolvimento dos NFTs assim como de suas aplicações já concretizadas. No entanto, é um conceito relativamente novo, com possibilidades infinitas de exploração. Sendo assim, vários artigos avaliados nesse estudo relataram novas propostas de aplicação dos NFTs que podem ser materializadas futuramente. Dentre elas, tem-se: proteção de Propriedade Intelectual (PI) e fornecimento de patentes (BAMAKAN et al, 2022); geração, compra e venda de Certificados de Energia Renovável de forma automatizada (APOLINÁRIO, 2021); mercado e armazenamento de energia na forma de NFT (KARANDIKAR et al, 2021); rastreamento de produtos farmacêuticos por NFT (CHIACCHIO et al, 2022).

A Propriedade Intelectual, incluindo patentes, marcas registradas e direitos autorais, é uma área importante onde os NFTs podem ser aplicados de forma útil e resolver problemas existentes. A solicitação de uma patente é um processo demorado e dispendioso. Com o auxílio de recursos exclusivos da tecnologia NFT, é possível acelerar esse processo com considerável

confiança e segurança quanto à proteção da propriedade de um IP, ao conceder proteção de PI enquanto um solicitante aguarda a formalização governamental (BAMAKAN et al, 2022).

O projeto do estudo avaliado buscou descrever uma solução de implementação do protocolo *Ethereum* para geração, compra e venda de Certificados de Energia Renovável de forma automatizada e simplificada para substituição do modelo atual. A sugestão é usar metodologia *Proof of Authority*, em que os blocos são inseridos no *blockchain* através da permissão de nós previamente autorizados. Antes da criação dos blocos, seria verificado se a usina que gerou a transação gerou mais de 1MWh de energia elétrica, se possui permissão de emitir certificados de energia renovável. Se confirmados, o certificado seria emitido associado a um NFT, simplificando, então, o processo tradicional dessa emissão (APOLINÁRIO, 2021).

Uma nova proposta de utilização da ferramenta NFT é a construção de um mercado de armazenamento de energia renovável. Nesse sentido, o armazenamento de energia como um serviço é um novo negócio em expansão que assume a logística de instalação e manutenção de uma instalação de armazenamento em grande escala e oferece créditos de armazenamento aos usuários para compra. Uma solução integrada é necessária para integrar as partes interessadas e encapsular a rede e os relacionamentos de negócios. Como vários pequenos produtores e consumidores vão compor a rede, é necessário um sistema descentralizado para evitar que a gestão fique concentrada nas mãos de uma única entidade central. Além disso, todas as partes interessadas devem concordar com a lógica de negócios e as transações de ativos de energia devem ser imutáveis, transparentes e verificáveis para todos. O rastreamento de proveniência de ativos também deve ser habilitado para tornar o sistema mais confiável. Nesse sistema de transação, o ativo de energia possui um identificador único e não é intercambiável. Sendo assim, a aplicabilidade do *blockchain* assim como do NFT possibilitaria a materialização de tal ideia (KARANDIKAR et al, 2021).

Por fim, uma nova aplicação foi descrita no ramo farmacêutico. O rastreamento de produtos farmacêuticos é muito importante, visto que a estimativa de falsificação de medicamentos causa mais de 100.000 mortes anualmente e mais de 200 bilhões USD em perdas na indústria farmacêutica. A meta de combater este fenômeno e impedir a entrada de medicamentos falsificados na cadeia de distribuição legal pode ser alcançada integrando as atuais tecnologias de serialização com outros paradigmas, como *blockchain* e NFTs, que favorecem a interoperabilidade, comunicação e confiança entre os atores da rede de distribuição até os consumidores finais, fortalecendo o processo de rastreamento e melhorando a comunicação entre os stakeholders da cadeia de suprimentos (CHIACCHIO et al, 2022).

## 4.2 Desafios

Mesmo com os claros benefícios e as amplas possibilidades de aplicações relacionadas ao NFT, há uma série de desafios a serem superados. Dentre os principais deles está a segurança das carteiras criptográficas e suas respectivas chaves. Existem duas opções de utilização de carteiras: as de custódia e as de uso próprio. As carteiras criptográficas de custódia são simples de configurar, terceirizam o acesso à chave, e apresentam possibilidade de recuperação de senha e de conta. No lado negativo, os usuários de carteiras de custódia não têm a verdadeira propriedade de suas NFTs, pois elas não são armazenadas em suas próprias carteiras criptográficas no *blockchain*. Como resultado, se a infraestrutura do provedor da carteira for comprometida ou a empresa declarar falência, surgirão problemas de solvência. Por outro lado, os usuários que armazenam suas NFTs em carteiras criptográficas que eles mesmos gerenciam também enfrentam riscos; se eles perderem o acesso à carteira ou esquecerem as chaves criptográficas da carteira, perderão imediatamente o acesso a todo o conteúdo da carteira, porque ainda não foi estabelecido um processo de recuperação de carteiras criptográficas sem comprometer a integridade da respectiva blockchain (VALEONTI et al, 2021).

Outros desafios dos NFTs também são encontrados em termos de usabilidade, segurança, privacidade. Usabilidade se remete a eficácia, eficiência e satisfação dos usuários ao testar um produto/ design específico. Nesse sentido, grandes desafios que têm impactos diretos na experiência do usuário são: confirmação lenta, já que as transações ocorrem com baixo desempenho; e preços elevados de gás (todas as transações relacionadas a NFT são mais caras do que uma simples transação de transferência porque os contratos inteligentes envolvem recursos computacionais e armazenamento a serem processados). Sendo assim, taxas caras causadas por operações complexas e alto congestionamento limitam muito sua ampla adoção (WANG et al, 2021).

Em relação a segurança e privacidade, tem-se alguns desafios como a inacessibilidade dos dados, já que ao identificar um ativo com o *hash*, não há cópia do arquivo, fazendo com que o usuário perca a confiança no NFT porque o arquivo original pode ser perdido ou danificado. Vários projetos NFT integram seu sistema com um sistema de armazenamento de arquivos especializado, como o IPFS, sistema de arquivos interplanetários, que permite armazenamento de informações de forma descentralizada. Inevitavelmente, tais sistemas também têm falhas. Quando os usuários “carregam” metadados NFT para nós IPFS, não há garantia de que seus dados serão replicados entre todos os nós. Os dados podem ficar indisponíveis se o ativo estiver armazenado no IPFS e o único nó que o armazena estiver desconectado da rede (WANG et al, 2021).

Semelhante às situações da maioria das criptomoedas, os NFTs também enfrentam barreiras como o gerenciamento rigoroso do governo, essa regulamentação ainda representa ser um desafio. Produtos relacionados à PI são tratados como propriedade tributável sob a estrutura legal atual. No entanto, as vendas baseadas em NFT ficam fora desse escopo. Embora poucos países, como os EUA (serviço de receita interna, IRS), tributem as criptomoedas como propriedade, a maioria das áreas do mundo ainda não o considerou. Isso pode aumentar muito os crimes financeiros sob a cobertura do comércio de NFT (WANG et al, 2021).

Um outro desafio seria relacionado a interoperabilidade dos NFT, já que cada *blockchain* representa um sistema isolado, assim, os usuários, uma vez que tenham selecionado um tipo de produto, só podem vendê-lo/comprar/negociá-lo dentro do mesmo ecossistema/rede. Por fim, os esquemas NFT dependem muito de suas plataformas subjacentes e se mantêm consistentes com elas. Embora os dados geralmente sejam armazenados em componentes separados (como o sistema de arquivos IPFS), a lógica e o token mais importantes ainda são registrados na cadeia. A atualização adequada do sistema com melhorias será uma necessidade (WANG et al, 2021).

## CAPÍTULO V – VANTAGENS E DESVANTAGENS

Assim como para toda nova tecnologia, a ponderação de vantagens e desvantagens relacionada ao seu uso é também de extrema importância para o NFT, na tentativa de compreensão dos riscos e benefícios relacionados, e posterior praticabilidade de seus recursos. Dessa forma, neste capítulo são apresentadas as vantagens e desvantagens relacionadas ao NFT.

### 5.1 Vantagens

Ao compreender o conceito de NFT, sua operacionalização e suas funcionalidades, torna-se possível elencar vantagens e desvantagens em relação ao seu uso. Nessa primeira parte, as vantagens serão abordadas.

Primeiramente, os NFTs, ao identificarem um ativo digital como único, podem provar sua propriedade e distinguir sua autenticidade. Ademais, como o NFT pode servir como prova de propriedade privada em realidade virtual, também é avaliado como uma das ferramentas importantes para o avanço da era do metaverso, anteriormente comentado. Isso ocorre porque as transações irreversíveis dentro desse mundo digital podem ser registradas de forma transparente e a propriedade pode ser garantida (CHO, LEE, 2022). Além disso, os desenvolvedores de jogos podem ganhar royalties cada vez que seus itens sejam (re)vendidos no mercado aberto ao passo que os jogadores podem obter itens de jogo de exclusividade pessoal. Isso criará um modelo de negócios mutuamente benéfico e lucrativo com o mercado secundário de NFT (WANG et al, 2021).

Em relação a concessão de patentes por meio de NFT, esse processo pode facilitar o compartilhamento confiável de informações entre escritórios e patentes em todo o mundo, reduzindo a carga sobre os examinadores. As patentes baseadas em NFT também têm transparência adicional, por permitir rastreamento das transações, e atributos de arquivamento incorporados, removendo os gargalos atuais nos processos de patentes, tornando esses processos mais eficientes, oferecendo novas oportunidades para empresas, universidades, e democratizando o licenciamento de patentes. Além disso, os NFTs apoiam o mercado de propriedade intelectual incorporando métodos automáticos de cobrança de royalties dentro dos trabalhos dos inventores, proporcionando-lhes benefícios financeiros sempre que sua inovação for licenciada (BAMAKAN et al, 2022).

Em comparação com tokens fungíveis, os NFTs possuem grande vantagem em termos de execução concorrente de transações. Nesse contexto, quando dois compradores tentam licitar no mesmo token ou quando dois vendedores tentam transferir valor para o mesmo token, no máximo uma operação será bem-sucedida dentro de um algoritmo de token fungível. As

implementações NFT evitam esse problema, já que ao criar ou transferir um NFT, um novo token é criado a cada vez com uma chave distinta. Além disso, a questão de aceitar vários lances no mesmo token não surge para NFT (KARANDIKAR et al, 2021).

Por conseguinte, também é defendido que a criação dos NFTs promove o alcance da mercadoria a consumidores que jamais teriam acesso a ela em um mercado físico e tradicional, de forma similar aos museus digitais supramencionados. Em complemento ao apresentado, a fabricação desses ativos seria capaz de suprimir inúmeras despesas típicas do mercado artístico tradicional, como aquelas vinculadas à infraestrutura de lojas e galerias, por exemplo (MARTINS, 2022).

Em termos judiciais, tem-se que a utilização de NFTs se apresenta como hábil a proteger a propriedade intelectual de obras de arte digital no Brasil, inclusive em caso de eventuais contendas judiciais, com aptidão para garantir os elementos essenciais de tutela sobre direitos autorais aplicáveis à situação analisada. Dessa forma, facilitam a superação de obstáculos relacionados a obtenção da propriedade. Vale ressaltar que o uso deste ferramental não invalida ou inutiliza outros mecanismos; antes, reforça a proteção da propriedade intelectual no âmbito analisado (SANTOS et al, 2021).

Outro campo analisado, em virtude de sua importância no contexto dos NFTs, é o da arte. Essa ferramenta permite transformação da obra de um determinado artista em um ativo digital com identidade integrada. Isso possibilita que o artista tenha mais plataformas de exposição do seu trabalho, com taxas mínimas e acessíveis, e podem ser programados para que o artista receba uma taxa de royalties predeterminada toda vez que sua obra de arte digital for trocada nos mercados. Isso denota que o NFT representa uma maneira eficiente de gerenciar e proteger obras-primas digitais (WANG et al, 2021). Outrossim, pontua-se que, geralmente, essas obras são colocadas à venda na forma de leilões, assim, quando uma obra é vendida, esta é transferida diretamente para a carteira do comprador; e conseqüentemente, o valor correspondente em criptomoeda é movido para a carteira do vendedor, o que reforça o fato do NFT ser meio seguro e eficaz de registro de obras digitais (BARBOZA et al, 2021).

Por conseguinte, Os NFTs têm efeitos positivos interessantes com a conservação da vida selvagem, ao armazenar ativos de coleção digital de animais ameaçados de extinção. Assim, evita a extinção da vida selvagem e a clonagem de animais para turismo. A extensibilidade é uma de suas características especiais que tornam possível a combinação de dois tokens para criação de um novo. Esse recurso permite gerar receita para conservar a vida selvagem executando campanhas nas plataformas como *Cryptokitties* e *Panda Earth* (PARHAM, BREITINGER, 2021).

Por último, em virtude da descentralização inerente ao algoritmo do NFT por se utilizar da plataforma *Ethereum*, a chance de receber o ataque 51% é mínima. Esse ataque ocorre quando um grupo de mineradores controla mais de 50% da taxa de *hash* de mineração da rede ou do poder de computação. As novas transações podem ser impedidas de confirmações ou interrompidas pelos atacantes. Por possuírem nós descentralizados e uma alta taxa de *hash*, o invasor precisaria de muitos recursos e de poder computacional para realizá-lo. Isso representa ser uma vantagem dessa ferramenta (PARHAM, BREITINGER, 2021).

## 5.2 Desvantagens

Embora o potencial do NFT seja indiscutível, nota-se que riscos potenciais existem e devem ser abordados. Primeiramente, para realizar uma transação baseada em *blockchain*, é necessário o pagamento de uma taxa de gás. Essa taxa é paga a operadores de nó para registrar novas transações no respectivo *blockchain*, e variam de acordo com o volume de transações que ocorrem na rede em um determinado momento. Para a rede *Ethereum*, em particular, essas taxas podem ficar alta, variando entre 7 e 60 USD por transação, conforme mostrado na Figura 11 (VALEONTI et al, 2021).

Figura 12: Taxa média de transação no *Ethereum* em USD (VALEONTI et al, 2021)



Outra desvantagem do uso de NFT está relacionada ao consumo de energia associado à *Ethereum*. Por se tratar de moedas descentralizadas, sem um poder central, o que move a *Blockchain* é justamente a comunidade de usuários, a qual são pessoas que utilizam de poder computacional para realizarem processos matemáticos complexos a todo instante visando a validação de transações. Dessa forma, o uso massivo e constante do seu equipamento demanda alto uso de energia elétrica para se manter operando em seu potencial máximo para contribuir na rede da melhor maneira possível. Novas plataformas estão sendo desenvolvidas na tentativa de resolução do problema, como é o caso da *Ethereum 2.0*, *Cardano*, entre outros comentados

anteriormente. Entretanto, pela interoperabilidade já comentada, essa transição seria um novo desafio (SOUZA, 2021; VALEONTI et al, 2021).

Uma desvantagem em relação ao uso de NFT é segurança. Dentre os problemas relacionados a segurança temos: falsificação, adulteração, repúdio, divulgação de informação, negação de serviço, elevação de privilégio. A falsificação é a capacidade de representar outra entidade no sistema. Quando um usuário interage para cunhar ou vender NFTs, um invasor mal-intencionado pode explorar vulnerabilidades de autenticação ou roubar a chave privada do usuário para transferir propriedade de NFTs ilegalmente. A adulteração refere-se à modificação maliciosa de dados NFT. Os metadados e a propriedade de NFTs não podem ser modificados maliciosamente após a confirmação da transação. No entanto, os dados armazenados fora do blockchain podem ser manipulados (WANG et al, 2021).

Ademais, o repúdio refere-se à situação em que o autor de uma declaração não pode contestar. Em particular, o fato de um usuário enviar NFT para outro usuário não pode ser negado. Isso é garantido pela segurança do *blockchain* e pela propriedade de não falsificação de um esquema de assinatura. No entanto, os dados de *hash* podem ser adulterados por um invasor mal-intencionado ou podem ser vinculados a um invasor. O vazamento de informações ocorre quando as informações são expostas a usuários não autorizados. No sistema NFT, as informações de estado e o código de instrução nos contratos inteligentes são totalmente transparentes, e qualquer estado e suas alterações são acessíveis publicamente por qualquer observador. Mesmo que o usuário coloque apenas o *hash* NFT no *blockchain*, os invasores maliciosos podem explorar facilmente a vinculação do *hash* e da transação (WANG et al, 2021).

Por último, a negação de serviço é um tipo de ataque de rede no qual um invasor malicioso visa tornar um servidor indisponível para seus usuários pretendidos, interrompendo as funções normais. A elevação de privilégio é uma ameaça em que um invasor pode obter permissões além daquelas concedidas inicialmente, um contrato inteligente mal projetado pode fazer com que os NFTs percam essas propriedades (WANG et al, 2021).

Por fim, pode-se listar como desvantagens: onipresença do anonimato em qualquer *blockchain*, que fornece terreno fértil para maus atores venderem NFTs não autenticados para compradores desavisados; a falta de uma política de direitos autorais definitiva que rege todas as vendas de NFT; a volatilidade do mercado de NFT; o risco de reputação de adotar NFTs, que são severamente criticados por seu impacto ambiental; implementações de NFT para um número muito grande de tokens, por prejudicar seu desempenho (KARANDIKAR et al, 2021; VALEONTI et al, 2021).



## CAPÍTULO VI – CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste capítulo são apresentadas as conclusões finais deste estudo, além das limitações encontradas durante seu desenvolvimento e, conseqüentemente, sugestões para pesquisas futuras.

### 6.1 Conclusão

O objetivo principal deste Trabalho de Conclusão de Curso foi identificar os componentes dos NFTs e a estruturação que os caracterizam, além de suas aplicações no contexto tecnológico atual por meio de uma revisão de artigos científicos.

Nesse contexto, conclui-se que os NFTs, inicialmente idealizados em 2012, com maior notoriedade em 2020 e 2021 no cenário mundial, são direitos negociáveis de ativos digitais (fotos, músicas, filmes e criações virtuais) onde a propriedade é registrada em contratos inteligentes de *blockchain*. Apresentam as seguintes propriedades: singularidade, rastreabilidade, infungibilidade, autenticidade, propriedade, interoperabilidade, transferência, transparência, imutabilidade e prevenção de fraudes. Assim como demonstrado anteriormente, é uma tecnologia que apresenta tanto diversas vantagens e aplicações no mercado digital, como novos desafios e obstáculos para melhor ampliação de seu uso.

Dessa forma, uma vez que fatores positivos e negativos como os elencados nesse artigo podem ser misturados nos fatores que afetam a adoção de tecnologias inovadoras, uma compreensão clara e objetiva desses fatores pode ajudar a estabelecer uma estratégia desejável e sugerir uma direção política para a adoção de tecnologias inovadoras. Isso reforça a necessidade e a importância do presente estudo.

Vale ressaltar, ainda que o NFT não apresente grande alcance popular em comparação com tokens fungíveis, e ainda necessite ultrapassar alguns desafios apontados no estudo, é notório que essa nova tecnologia tem potencial para redinamizar as formas de proteção do direito do autor, uma vez que se trata de um registro mais seguro e, a princípio, menos burocrático do ponto de vista da autenticidade.

Por conseguinte, o conhecimento descritivo solidificado sobre as características gerais dos NFTs e suas diferenças dos tokens fungíveis permite uma melhor compreensão dos benefícios e oportunidades resultantes; o conhecimento aprimorado sobre o processo de projeto e avaliação de aplicativos baseados em NFTs beneficia pesquisadores e profissionais; e o aumento da conscientização sobre os desafios práticos permite que os futuros pesquisadores se concentrem melhor na solução dos desafios remanescentes. Sendo assim, ao atingir os objetivos propostos, o presente estudo retifica sua importância de execução.

Por fim, diante de todas essas características enumeradas, os NFTs vêm sendo tratados pelos acionistas e investidores como uma alternativa para os problemas da compra e venda de arte digital, por se beneficiarem do rápido desenvolvimento do cripto mercado. Assim, é possível afirmar que os NFTs alteraram de forma sistemática o mercado de arte digital ao conseguir fixar de modo claro a propriedade desses objetos por meio do registro em rede, assim como diversas esferas que tangem a realidade humana.

## **6.2 Limitações do estudo**

Semelhante ao que foi identificado em outros artigos revisados neste trabalho (BAO, ROUBAUD, 2021; KARANDIKAR et al 2021), as investigações aprofundadas de NFTs por pesquisadores acadêmicos ainda são bastante escassas. Além disso, o atual corpo de conhecimento carece de melhores práticas, experiência em projetos de desenvolvimento e insights para desenvolvimento de software baseado em *blockchain*. Dessa forma, conclui-se que existe uma clara lacuna de pesquisa, a qual dificulta melhor exploração e estruturação do tema pela deficiência crítica existente e incógnitas ainda não exploradas.

## **6.3 Sugestões**

Ao mesmo tempo que a escassez de literatura sobre o tema seja um viés para a pesquisa, também representa oportunidade de preenchimento dessas lacunas. Dentro dessa perspectiva, sugere-se ampliação de estudos sobre os seguintes pontos:

- Explorar soluções emergentes e respostas para deficiências NFT como o alto gasto energético e o risco de fraudes;
- Fornecer recomendações sobre preservação digital de propriedade NFT;
- Pesquisar sobre a intenção geral de aceitação do NFT pelo usuário.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- APOLINÁRIO, W. A. **IMPLEMENTAÇÃO DE SMART CONTRACTS E TOKENS NÃO-FUNGÍVEIS NA GERAÇÃO E AQUISIÇÃO DE CERTIFICADOS DE ENERGIA RENOVÁVEL NO BRASIL**. 2021. 53 f. Monografia (Especialização) - Curso de Engenharia de Computação, Universidade Federal do Rio Grande do Norte UFRN, Natal, 2021.
- BAMAKAN, S. M. H.; NEZHADSISTANI, N.; BODAGHI, O.; QU, Q. **PATENTS AND INTELLECTUAL PROPERTY ASSETS AS NON-FUNGIBLE TOKENS; KEY TECHNOLOGIES AND CHALLENGES**. *Scientific Reports*, [S.L.], v. 12, n. 1, p. 2178-2191, 9 fev. 2022. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1038/s41598-022-05920-6>.
- BAO, H.; ROUBAUD, D. **RECENT DEVELOPMENT IN FINTECH: NON-FUNGIBLE TOKEN**. *Fintech*, [S.L.], v. 1, n. 1, p. 44-46, 13 dez. 2021. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/fintech1010003>.
- BARBOZA, H. L.; FERNEDA, A. S.; SASS, L. B. **A GARANTIA DE AUTENTICIDADE E AUTORIA POR MEIO DE NON-FUNGIBLE TOKENS (NFT'S) E SUA (IN)VALIDADE PARA A PROTEÇÃO DE OBRAS INTELECTUAIS**. *International Journal Of Digital Law*, [S.L.], v. 2, n. 2, p. 99-118, 15 ago. 2021. International Journal of Digital Law. <http://dx.doi.org/10.47975/ijdl.barboza.v.2.n.2>.
- CHIACCHIO, Ferdinando et al. **A NON-FUNGIBLE TOKEN SOLUTION FOR THE TRACK AND TRACE OF PHARMACEUTICAL SUPPLY CHAIN**. *Applied Sciences*, [S.L.], v. 12, n. 8, p. 4019-4072, 15 abr. 2022. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/app12084019>.
- CHO, K-H; LEE, W-B. **A STUDY ON INFLUENCING FACTORS ON INTENTION TO ADOPT NFTS USING UTAUT**. *The Journal Of The Korea Contents Association*, [S.L.], v. 22, n. 3, p. 17-34, 28 mar. 2022. 한국콘텐츠학회. <http://dx.doi.org/10.5392/JKCA.2022.22.03.017>.
- CHOHAN, U. W. **NON-FUNGIBLE TOKENS: BLOCKCHAINS, SCARCITY, AND VALUE**. *Ssrn Electronic Journal*, [S.L.], v. 1, n. 1, p. 1-14, mar. 2021. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.3822743>.
- DOWLING, M. **FERTILE LAND: PRICING NON-FUNGIBLE TOKENS**. *Finance Research Letters*, [S.L.], v. 44, p. 102096, jan. 2022. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.frl.2021.102096>.
- ITO, K; SHIBANO, K; MOGI, G. **PREDICTING THE BUBBLE OF NON-FUNGIBLE TOKENS (NFTS): AN EMPIRICAL INVESTIGATION**. *The University Of Tokyo*, Tokyo, v. 1, n. 12, p. 587-594, mar. 2022.
- KARANDIKAR, N.; CHAKRAVORTY, A.; RONG, C. **BLOCKCHAIN BASED TRANSACTION SYSTEM WITH FUNGIBLE AND NON-FUNGIBLE TOKENS FOR A COMMUNITY-BASED ENERGY INFRASTRUCTURE**. *Sensors*, [S.L.], v. 21, n. 11, p. 3822, 31 maio 2021. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/s21113822>
- LACERDA, G. V. B. **MANUAL DE COMUNICAÇÃO DO MERCADO CRIPTO: conteúdo de marca no contexto das criptomoedas e da gamificação de tokens**. 2022. 65 f. TCC (Graduação) - Curso de Comunicação Social, Universidade Federal do Rio Grande do Norte UFRN, Natal, 2022.

- MARTINS, J. S. **PERSPECTIVAS DA TRIBUTAÇÃO DOS TOKENS NÃO FUNGÍVEIS (NFTS) NO CONTEXTO BRASILEIRO**. 2022. 70 f. Monografia (Especialização) - Curso de Direito, Universidade Federal do Rio Grande do Norte – UFRN, Natal, 2022.
- MENOTTI, G. **CRIPTOARTE: A METAFÍSICA DO NFT E A TECNOCOLONIZAÇÃO DA AUTENTICIDADE**. Revista do Centro de Pesquisa e Formação, São Paulo Sp, v. 1, n. 13, p. 236-255, dez. 2021.
- OJOG, S. **THE EMERGING WORLD OF DECENTRALIZED FINANCE**. **INFORMATICA ECONOMICA**, [S.L.], v. 25, n. 4/2021, p. 43-52, 30 dez. 2021. Bucharest University of Economic Studies. <http://dx.doi.org/10.24818/issn14531305/25.4.2021.05>.
- PARHAM, A.; BREITINGER, C. **NON-FUNGIBLE TOKENS: PROMISE OR PERIL?** Bergische Universität Wuppertal, Wuppertal, Germany, v. 1, n. 12, p. 1-8, nov. 2021.
- PINTO-GUTIÉRREZ, C et al. **THE NFT HYPE: WHAT DRAWS ATTENTION TO NON-FUNGIBLE TOKENS?**. Mathematics, [S.L.], v. 10, n. 3, p. 335-348, 22 jan. 2022. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/math10030335>.
- SANTOS, H. H. N, et al. 2021, Aracaju. **A PROTEÇÃO DA PROPRIEDADE INTELECTUAL DOS NFTS (NON-FUNGIBLE TOKENS) DE OBRAS DE ARTE DIGITAL NO DIREITO BRASILEIRO**. Aracaju Se: Anais do VII Enpi, 2021. 8 p.
- SOUZA, V. D. R, 2021, Porto Alegre. **NFT A PROPRIEDADE DIGITAL DO FUTURO**. Porto Alegre RS: Faculdade e Escola Técnica Alcides Maya –, 2021. 25 p.
- UMAR, Z.; GUBAREVA, M.; TEPLOVA, T.; TRAN, D. K. **COVID-19 IMPACT ON NFTS AND MAJOR ASSET CLASSES INTERRELATIONS: INSIGHTS FROM THE WAVELET COHERENCE ANALYSIS**. Finance Research Letters, [S.L.], p. 102725-102733, fev. 2022. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.frl.2022.102725>.
- VALEONTI, F.; BIKAKIS, A.; TERRAS, M.; SPEED, C.; HUDSON-SMITH, A.; CHALKIAS, K. **CRYPTO COLLECTIBLES, MUSEUM FUNDING AND OPENGLAM: CHALLENGES, OPPORTUNITIES AND THE POTENTIAL OF NON-FUNGIBLE TOKENS (NFTS)**. Applied Sciences, [S.L.], v. 11, n. 21, p. 9931, 24 out. 2021. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/app11219931>.
- WANG, Q. et al. **NON-FUNGIBLE TOKEN (NFT): OVERVIEW, EVALUATION, OPPORTUNITIES AND CHALLENGES**. China: Southern University Of Science And Technology, 2021. 22 p.

**RESOLUÇÃO nº 038/2020 – CEPE**

**ANEXO I**

**APÊNDICE ao TCC**

**Termo de autorização de publicação de produção acadêmica**

O(A) estudante Pedro Gabriel Suet M.V. Figueiredo  
do Curso de Ciências da Computação matrícula 2016 10028 03590  
telefone: (62) 99621 2425 e-mail pgsmvf@gmail.com,  
na qualidade de titular dos direitos autorais, em consonância com a Lei nº 9.610/98 (Lei dos Direitos do Autor), autoriza a Pontifícia Universidade Católica de Goiás (PUC Goiás) a disponibilizar o Trabalho de Conclusão de Curso intitulado Non-Fungible Tokens: Propriedades, aplicações e novos desafios, gratuitamente, sem ressarcimento dos direitos autorais, por 5 (cinco) anos, conforme permissões do documento, em meio eletrônico, na rede mundial de computadores, no formato especificado (Texto(PDF); Imagem (GIF ou JPEG); Som (WAVE, MPEG, AIFF, SND); Vídeo (MPEG, MWV, AVI, QT); outros, específicos da área; para fins de leitura e/ou impressão pela internet, a título de divulgação da produção científica gerada nos cursos de graduação da PUC Goiás.

Goiânia, 23 de junho de 2022.

Assinatura do autor: pgsmvf

Nome completo do autor: Pedro Gabriel Suet M.V. Figueiredo

Assinatura do professor-orientador: Olegário Correa da Silva Neto

Nome completo do professor-orientador: Olegário Correa da Silva Neto