



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ  
CAMPUS UNIVERSITÁRIO DE SALINÓPOLIS  
FACULDADE DE FÍSICA

MÁRCIO WAGNER DE ARAÚJO SOUZA

**UMA INTRODUÇÃO A ECONOFÍSICA: ATRAVÉS DE HISTÓRIA EM QUADRINHOS**

SALINÓPOLIS - PA  
2023

MÁRCIO WAGNER DE ARAÚJO SOUZA

**UMA INTRODUÇÃO A ECONOFÍSICA: ATRAVÉS DE HISTÓRIA EM QUADRINHOS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Faculdade de Física, do Campus Universitário de Salinópolis, da Universidade Federal do Pará, como requisito parcial para obtenção do título de Licenciado em Física.

Orientador: Dr. Thiago Rafael Silva Moura.

SALINÓPOLIS - PA  
2023

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) de acordo com ISBD  
Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Pará  
Gerada automaticamente pelo módulo Ficat, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)**

---

S719i Souza, Márcio Wagner de Araújo.  
UMA INTRODUÇÃO A ECONOFÍSICA : ATRAVÉS DE  
HISTÓRIA EM QUADRINHOS / Márcio Wagner de Araújo  
Souza. — 2023.  
88 f. : il. color.

Orientador(a): Prof. Dr. Thiago Rafael Silva Moura  
Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade  
Federal do Pará, Campus Universitário de Salinópolis, Curso de  
Licenciatura em Física, Salinópolis, 2023.

1. Econofísica. 2. Mercado Financeiro . 3. Produto  
educacional. 4. História em Quadrinhos . I. Título.

CDD 530.07

---

MÁRCIO WAGNER DE ARAÚJO SOUZA

## UMA INTRODUÇÃO A ECONOFÍSICA: ATRAVÉS DE HISTÓRIA EM QUADRINHOS

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Faculdade de Física, do Campus Universitário de Salinópolis, da Universidade Federal do Pará, como requisito parcial para obtenção do título de Licenciado em Física.

Data da aprovação: 22 / 12 / 2023

Conceito: Excelente

### BANCA EXAMINADORA

Documento assinado digitalmente



**THIAGO RAFAEL DA SILVA MOURA**  
Data: 28/02/2024 10:15:09-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

---

Prof. Dr. Thiago Rafael Silva Moura (Orientador)  
Universidade Federal do Pará – Campus Salinópolis

Documento assinado digitalmente



**ANGELA COSTA SANTA BRIGIDA**  
Data: 24/04/2024 16:23:26-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

---

Prof (a). Dr (a). Angela Consta Santa Brígida (Membro Externo)  
Universidade Federal do Pará – Campus Ananideua

Documento assinado digitalmente



**MARIA LIDUINA DAS CHAGAS**  
Data: 22/04/2024 17:54:26-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

---

Prof (a). Dr (a). Maria Liduína das Chagas (Membro Externo)  
Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará

Documento assinado digitalmente



**SILVERIO SIROTHEAU CORREIA NETO**  
Data: 24/04/2024 15:22:54-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

---

Prof. Dr. Silvério Sirotheau Corrêa Neto (Membro Interno)  
Universidade Federal do Pará – Campus Salinópolis

Este trabalho é dedicado ao meu pai que sempre sonhou em ter um filho graduado e eu me sinto grato em realizar o seu sonho.

## **AGRADECIMENTOS**

Em primeiro lugar, quero agradecer ao pai celestial, que possibilitou eu chegar neste momento da graduação, com saúde e sabedoria para lidar com os desafios que o mundo impõe.

Agradecimento especial aos meus pais Almir da Costa e Maria Barros pelo incentivo dado em toda a minha trajetória acadêmica, por todo o apoio e pela ajuda dada ao longo desses quatro anos de estudos.

Aos meus irmãos, Márcia Luíza e Almir Jr por sempre me aconselharem e estarem disponíveis a me ajudar em momentos difíceis nos estudos e na vida.

Ao campus universitário de Salinópolis e a Universidade Federal do Pará, por todo o suporte dado e ao conhecimento repassado ao longo de todo o curso, estou muito grato em ter uma formação desta instituição tão renomada.

Ao meu orientador professor, Dr Thiago Rafael da Silva Moura, por todos os conselhos, pela ajuda e paciência com a qual guiaram o meu aprendizado até chegar na realização deste trabalho de conclusão de curso.

Aos demais professores da universidade ao qual tive o privilégio de ser aluno, grato por todo o conhecimento que todos repassaram a mim durante o curso.

Agradecimento especial aos meus amigos Felipe St. Brígida e Flávia Gabriele por compartilharem momentos importantes nesses anos de faculdade e em outros momentos de alegria, sou grato pela ajuda e incentivo que vocês me deram.

Aos demais amigos que fiz na universidade, Merilene Monteiro e Solange Cardoso pela ajuda que me deram ao longo dos estudos na universidade.

Ao meu amigo Cristian Rider por sempre me incentivar nessa trajetória até a minha formação.

Aos meus colegas e amigos de trabalho José Wiliam, Tiego Kleto, Marcos Paulo, Alisson Neto, Beatriz Silva, Fernanda Moura, Samara Dantas, Adrya Rabêlo, Valmir Pereira e aos demais outros colegas que sempre me deram palavras de apoio e incentivos para continuar a graduação.

“Inteligência é a capacidade de se adaptar à mudança”.

**Stephen Hawking**

## RESUMO

A econofísica é uma disciplina que utiliza os princípios da física estatística para analisar fenômenos econômicos, como o comportamento de ações no mercado financeiro, entre outros. Uma alternativa de divulgar e ensinar a econofísica para o público que não tem conhecimento desta área, é através da criação de produtos educacionais como as histórias em quadrinhos, os quais são recursos didáticos que retêm a atenção e desperta a imaginação dos leitores, além de facilitar a compreensão de conceitos difíceis por meio de uma linguagem simples, visual e lúdica. O objetivo deste trabalho, é apresentar um produto educacional como a história em quadrinhos para explicar os principais conceitos e aplicações que envolvem esta área, bem como os estudos e novas abordagens. A metodologia para elaborar este produto educacional consiste na elaboração de um roteiro de uma história em quadrinhos que aborde de uma maneira simples e objetiva a econofísica, trazendo os conceitos principais que envolve essa área interdisciplinar da física.

Palavras-chave: Econofísica, Mercado financeiro, Produto educacional, História em quadrinhos.

## **ABSTRACT**

Econophysics is a discipline that uses the principles of statistical physics to analyze economic phenomena, such as the behavior of shares in the financial market, among others. An alternative to disseminating and teaching econophysics to the public who have no knowledge of this area, is through the creation of educational products such as comic books, which are teaching resources that retain the attention and awaken the imagination of readers, in addition to facilitating understanding difficult concepts through simple, visual and playful language. The objective of this work is to present an educational product such as comic books to explain the main concepts and applications that involve this area, as well as studies and new approaches. The methodology for developing this educational product consists of creating a script for a comic book that addresses econophysics in a simple and objective way, bringing out the main concepts that involve this interdisciplinary area of physics.

**Keywords:** Econophysics, Financial market, Educational product, Comic books.

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	10
1.1 Justificativa .....	11
1.2 Objetivos .....	11
1.2.1 Objetivo Geral .....	11
1.2.2 Objetivos Específicos .....	11
<b>2 REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	12
2.1 Sistemas Complexos .....	12
2.2 A Econofísica .....	15
2.2.1 Período Pré Econofísica .....	16
2.2.2 Período Contemporâneo da Econofísica .....	21
2.3 Mercado Financeiro.....	27
2.3.1 Preços .....	29
2.3.2 Riscos e Retornos .....	30
2.4 Movimento Browniano .....	31
2.5 O Modelo de Black-Scholes Para Precificação.....	33
2.6 Redes Complexas .....	35
2.6.1 Redes Complexas em Finanças .....	36
2.7 Conceitos Introdutórios de Finanças Quânticas .....	40
<b>3 HISTÓRIAS EM QUADRINHOS</b> .....	41
3.1 A Origem.....	46
3.1.1 O Primeiro Quadrinho .....	48
3.1.2 As Histórias em Quadrinhos no Brasil .....	49
3.2 Histórias em Quadrinhos como Ferramenta de Ensino .....	52
3.2.1 Histórias em Quadrinhos no Ensino de Física.....	53
<b>4 APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA</b> .....	55
4.1 Subsúnciores.....	57
4.1.2 Materiais Potencialmente Significativos .....	58
<b>5 METODOLOGIA</b> .....	58
5.1 Procedimentos Metodológicos .....	59
5.1.2 A Imagem.....	60
5.1.3 O Texto.....	61
5.1.4 A Combinação de Texto e Imagem.....	62
5.1.5 A Fala dos Personagens.....	63
5.1.6 Os Quadrinhos.....	64
<b>6 PRODUTO EDUCACIONAL</b> .....	65

<b>7</b>	<b>RESULTADOS</b> .....	69
<b>8</b>	<b>CONCLUSÃO</b> .....	80
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	81
	<b>ANEXOS</b> .....	88

## 1 INTRODUÇÃO

A relação entre física e economia está se tornando cada vez mais importante para entender fenômenos econômicos complexos. A econofísica é uma área de estudo que usa alguns princípios da física estatística para analisar e modelar o comportamento de ativos no mercado financeiro e analisar outras atividades econômicas. No entanto, esses conceitos são frequentemente difíceis de entender para o público. As histórias em quadrinhos surgem como uma ferramenta fundamental de comunicação, capaz de transmitir informações de maneira visualmente atraente e acessível, capaz de atrair diversos públicos e facilitar a abordagem de qualquer tema exposto nesse tipo de trabalho.

Ao combinar a econofísica com o formato das histórias em quadrinhos, é possível criar uma abordagem simples e sofisticada dos conceitos econômicos muitas vezes vistos como complexos, tornando-os mais compreensíveis e interessante para um público amplo. As histórias em quadrinhos têm um jeito particular de se comunicar, que usa elementos visuais próprio deste tipo de recursos literário, para expressar informações e sentimentos. A popularidade das histórias em quadrinhos, principalmente entre os jovens e crianças, facilita o acesso e compreensão de um determinado assunto, utilizar ela como recurso educacional é uma excelente estratégia para os educadores.

Tendo em vista essa facilidade didática, abordar este devido tema em quadrinhos é desafiador, mas também motivador, pois leva ao leitor de quadrinhos um assunto que está muito ligado ao mundo interdisciplinar acadêmico, e assim contribuir para o avanço da econofísica e outras ciências através das histórias em quadrinhos. O acesso a informações que por muitas vezes alguns estudantes só teriam oportunidade de conhecer quando estivessem em um curso avançado, como a econofísica, a história em quadrinhos ajuda este aluno ou qualquer outro leitor de quadrinhos a conhecer melhor os princípios científicos. Ao unir esta área interdisciplinar da física com histórias em quadrinhos, cria-se a expectativa de proporcionar uma nova visão de aprendizagem.

Este trabalho visa introduzir os conceitos desta disciplina em histórias em quadrinhos, buscando apresentar de uma forma simples e resumida a história da econofísica, onde ela está envolvida na economia, mostrar de maneira simples, os principais conceitos que envolve esta área da física por meio de uma história em quadrinhos baseada no referencial teórico apresentado neste trabalho. Ao realizar este trabalho, cria-se um produto educacional que pode levar o conhecimento desse assunto para diversos lugares e atingir muitos leitores através da

história em quadrinhos apresentada neste trabalho. O objetivo deste trabalho é introduzir e facilitar o estudo desta área interdisciplinar, tornando mais acessível a qualquer público através das histórias em quadrinhos.

### **1.1 Justificativa**

Fazer uma introdução da econofísica visando abordar os principais conceitos que envolve esta área de uma forma didática e lúdica. A econofísica é uma área bastante interessante que vem ganhando destaques nos últimos anos por meio de livros e artigos publicados, porém, ela ainda não atingiu uma visibilidade considerável, haja vista que seus conceitos são diretamente ligados a uma área de bastante importância na sociedade, a economia. Levar esse conhecimento para inúmeras pessoas é fundamental para o conhecimento desta área, e utilizar de recursos de aprendizagem significativa, como os quadrinhos, é um ótimo artifício didático que professores e pesquisadores desta área podem utilizar.

### **1.2 Objetivos**

Os objetivos deste trabalho é fazer uma introdução desta disciplina, mostrar como essa área da física estatística se desenvolveu ao longo da história por meio de estudos primários de grandes cientistas. Esta introdução a econofísica é uma revisão bibliográfica de artigos e livros que falam sobre o tema, alguns conceitos de economia estão presente nesta revisão abordada de maneira bem introdutória. Com o auxílio do produto educacional, pretende-se expandir os conceitos da econofísica para o maior número de estudantes e possíveis pesquisadores que se interessem por essa área, que está em constante desenvolvimento. Através da aprendizagem significativa das histórias em quadrinhos, pretende-se despertar o interesse pelo conteúdo apresentado.

#### **1.2.1 Objetivo Geral**

Criar um produto educacional do tipo história em quadrinhos, com a finalidade de introduzir a econofísica para alunos do ensino médio, tendo como conceito teórico para a criação dessa história, a aprendizagem significativa de David Ausubel.

#### **1.2.2 Objetivos Específicos**

- i) Fundamentar os conceitos da econofísica através de pesquisas bibliográficas;
- ii) Fundamentar a econofísica na teoria de David Ausubel para a criação do produto educacional;
- iii) Mostrar os passos de uma história em quadrinhos sobre a econofísica.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 Sistemas Complexos

Diferente de outros conceitos, a definição de sistemas complexos não é nada muito trivial, diferentes pontos de vista são observados em vários livros e artigos relacionados a este tema. Nas visões de Martins (2020) e Mitchell (2006), existe uma dificuldade na definição dos sistemas complexos, fazendo com que não exista uma definição formal para esse tema. Essa falta de consenso referente a definição do conceito desse assunto, decorre muito da abrangência dos sistemas complexos em diferentes áreas, cada uma com a sua natureza de estudo diferente. Portanto, é essencial considerar as distintas perspectivas quando se trata da abordagem dos sistemas complexos.

A maioria dos especialistas aceita que os sistemas complexos possuem várias partes que se relacionam entre si, e que o comportamento geral dessas partes é maior do que a simples soma de seus comportamentos individuais (Newman, 2011). Este comportamento irregular dessas interações de um sistema complexo, podem levar a emergência de propriedades e novos comportamentos, causando a imprevisibilidade desse tipo de sistema. Na ausência de uma definição concreta, a não-linearidade do sistema e as interações dos elementos pode ser usada como uma definição genérica. Por isso, reconhecer a complexidade e considerar as diversas formas que esse sistema pode apresentar é fundamental para a sua compreensão.

Para Gleria et al.(2004) e Boccara (2010) os sistemas complexos são identificados em diversos contextos, da simples formação de teias de aranhas, organização de células no corpo humano, previsão de frequência de avalanches, previsão de terremotos, extinção de espécie até no mercado financeiro. Podemos observar a amplitude desse tema nos vários exemplos que encontramos na natureza, nas literaturas e nos estudos relacionado ao sistema complexo. Essas aplicabilidades citadas acima, nos ajudam a entender a interconectividade e as propriedades emergentes desses sistemas. Vejamos alguns de muitos exemplos de sistemas complexos existentes. Kwapien e Drozd (2012., p. 127. Tradução nossa), mostra o cérebro humano como um dos exemplos de sistemas complexos, segundo ele

O cérebro humano pode ser visto quase como um exemplo arquetípico de um sistema complexo. Um enorme número de células neuronais ( $10^{10}$ ) e suas interconexões ( $10^{14}$ ), incríveis habilidades funcionais e adaptativas e o fenômeno da consciência tornam a formulação de qualquer modelo abrangente ou pelo menos parcial do cérebro humano ainda fora do alcance da ciência contemporânea. A complexidade do cérebro é observada em diferentes níveis de sua organização, desde o nível das interações moleculares, passando pela estrutura e ação dos neurônios individuais, até a estrutura da rede neuronal e a rede de regiões especializadas. A sua estrutura complexa é, por um lado, produto da longa evolução dos genes e, por outro

lado, do processo de auto-organização da estrutura cerebral ao longo da sua vida (Kwapień e Drożdż., 2012, p. 127).<sup>1</sup>

A complexidade desse sistema é que torna o cérebro humano tão especial e capaz de realizar inúmeras funções. Estudar esse sistema é essencial para o avanço do campo da neurociência e desvendar os mistérios que cercam a forma de como a racionalidade humana funciona. Uma formiga pode também exemplificar um sistema complexo na visão de Mitchell (2006), segundo o autor, a funcionalidade individual da formiga já é complexa por si só. Seguindo a ideia do referido autor, se analisarmos a funcionalidades desta formiga em uma colônia, o comportamento se tornará simplificado em relação ao comportamento do sistema em geral.

Outro exemplo de sistemas complexos são as cidades. Sistemas complexos nas cidades referem-se à interconexão e interdependência de vários elementos, como transportes, infraestrutura, meio ambiente, economia e sociedade. Segundo Garcia (2018), no ambiente urbano, ocorre uma diversidade de interações entre indivíduos e instituições, onde ambos tomam decisões autônomas que possuem uma influência mútua nas tomadas de decisões dos integrantes desse sistema. O autor destaca que, a forma de interação entre as pessoas e as instituições com o ambiente ao longo do tempo, tem um impacto significativo no comportamento e nas características das cidades em uma escala maior.

Independente de não possuir definição exata, os sistemas complexos seguem uma série de padrões nas diferentes situações em que esse conceito se encontra. Podemos dizer que esses padrões podem ser definidos como as propriedades dos sistemas complexos. Essas propriedades ajudam a identificar os sistemas complexos e facilita o seu estudo, e lidar com a complexidade nas diversas áreas em que o sistema complexo se encontra. De modo geral, essas propriedades são aceitas pelos estudiosos desta área. Estas propriedades estão classificadas de sete maneiras e seguindo esta seguinte forma:

- i) Sistemas complexos transitam entre instabilidade e a estabilidade em curtíssimo intervalo de tempo, dificultando e/ou inviabilizando a previsibilidade de longo prazo;

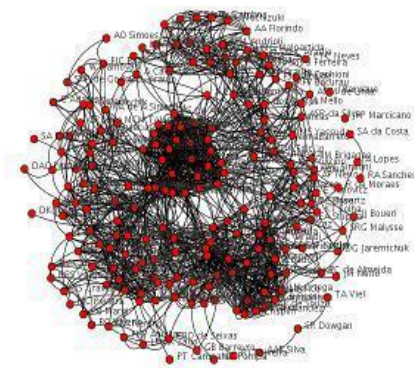
---

<sup>1</sup> No original [The human brain can be viewed as almost an archetypal example of a complex system. An enormous number of neuronal cells ( $10^{10}$ ) and their interconnections ( $10^{14}$ ), amazing functional and adaptive abilities, and the phenomenon of consciousness make formulation of any comprehensive or at least a partial model of the human brain still beyond reach for contemporary science. Complexity of the brain is observed at different levels of its organization, from the level of molecular interactions, through the structure and action of individual neurons, to the structure of the neuronal network and the network of specialized regions. Its complex structure is, on the one hand, a product of long evolution of genes and, on the other hand, of the process of self-organization of the brain structure throughout its lifespan (Kwapień e Drożdż., 2012, p. 127.)]

- ii) Os sistemas complexos são constituídos de um grande número de agentes que interagem, cada um em uma vizinhança próxima, produzindo incessantes modificações micro e macroscópicas;
- iii) Na fronteira dessas, micro interações, surgem ações antagônicas que impedem, uma a outra, o desfecho que cada uma pressupõe;
- iv) Os diversos agentes que participam das, micro interações do sistema, acumulam e dissipam, abruptamente, grande quantidade de energia;
- v) As correlações entre as micro interações se desenvolvem no tempo e na estrutura, produzindo uma auto-organização conectante;
- vi) Macro propriedades qualitativas podem emergir do sistema, as quais não possuem nenhuma correlação com as micro propriedades apresentadas nas partes;
- vii) Os equilíbrios momentâneos do sistema são muito tênues e quebrados por pequenas perturbações que sejam (Nussenzveig, 1999 apud. Soares, 2016, p. 66).

As propriedades mencionadas acima são essenciais para auxiliar na tentativa de definir um sistema complexo. Podemos dizer que essas características são diversificadas e interconectadas, resultando em padrões que diferenciam os sistemas complexos de outros sistemas existentes. A diversidade contribui para a variedade de elementos e suas iterações presente no sistema, enquanto a interconectividade permite a troca de informações e influências entre esses elementos. Antes de discutirmos as propriedades que serão usadas para resolver o problema, é importante fazer a distinção entre um problema ser considerado como sistema complexo e o campo de estudo considerado como sistema complexo. As figuras 1, 2 e 3 mostra a diversidade desse assunto em diferentes campos.

Figura – 1: Diagrama representativo de um sistema complexo.



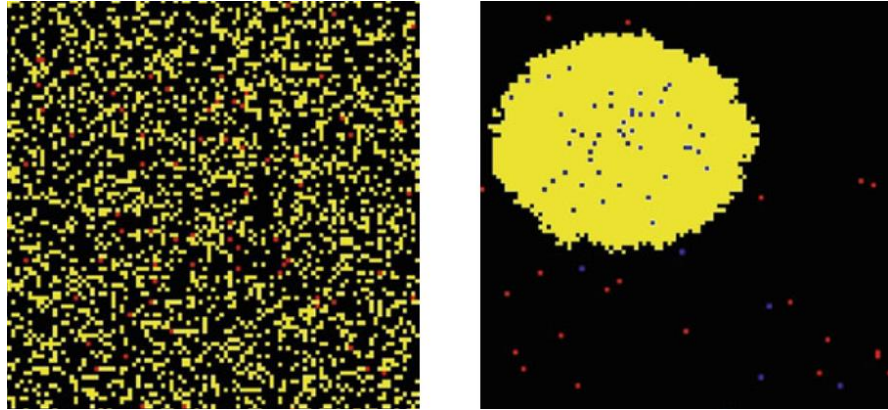
Fonte: Complexeach (2010)

Figura – 2: Vista aérea da cidade de Nova York a noite. Devido as interações de pessoas com instituições que compõe uma cidade e suas causas e efeitos, podemos considerar o sistema urbano como um sistema complexo.



Fonte: Mattilus (2017)

Figura – 3: Representação de asparas de madeira sendo coletadas por cupins vista de um software. Lascas de madeira distribuídas aleatoriamente (figura à esquerda) acabam formando uma única pilha (figura à direita). Densidade da madeira: 0,25; número de cupins, 75. Embora seja um modelo simples, podemos considerar este sistema como complexo devido as interações dos cupins com as asparas e como essa situação saiu de um estado aleatório para um estado organizado.



Fonte: Boccara (2010, p. 5)

## 2.2 A Econofísica

A econofísica é uma área interdisciplinar da física estatística que procura abordar certas situações do mercado financeiro. Podemos considerar a econofísica um sistema complexo pois, esta área detém algumas propriedades que o caracterizam esse tipo de sistema. O termo surgiu a partir da junção das palavras economia e física. Com base em Pereira (2015) e Dash (2019), sendo um campo dos sistemas complexos, este neologismo interdisciplinar utilizado pelos os estudiosos da área, procura explicar e solucionar problemas econômicos em especial do mercado financeiro, através das propriedades estatísticas que estão presentes nesta área. A importância desta nova área para a ciência busca melhorar as previsões dos investidores, empresas e qualquer outro agente que esteja envolvido com o mercado financeiro.

A presença de físicos na economia traz uma perspectiva valiosa, permitindo uma análise mais abrangente e embasada dos sistemas econômicos. A capacidade dos físicos em aplicar métodos quantitativos e suas habilidades em lidar com dados complexos tem uma grande valia nos assuntos econômicos. Para Mantegna e Stanley (1999), as ferramentas e metodologias desenvolvidas na física estatística auxiliam na modelagem desses sistemas. Conforme o autor citado, os físicos contribuem para a modelagem de sistemas complexos, haja vista que os mercados financeiros fazem parte desse conjunto de sistemas com monitoramento constante em múltiplas escalas de tempo.

Conforme explicado acima, através do emprego de ferramentas e metodologias desenvolvidas nesse campo, os físicos têm tido um papel fundamental na área das finanças,

juntamente com os economistas e matemáticos que já eram pioneiros nos estudos sobre o mercado financeiro. Além disso, os físicos trazem uma visão única para a análise financeira, através da probabilidade e estatística. Portanto, a contribuição dos físicos na área das finanças tem sido fundamental para impulsionar avanços e inovações nesse campo. Como aponta Nascimento Junior et al. (2007), a crescente participação dos físicos na economia se deu pelo avanço de pesquisas, publicações e trabalhos nesta área nos últimos anos.

Os físicos estão atualmente contribuindo para a modelagem de ‘sistemas complexos’ utilizando ferramentas e metodologias desenvolvidas em mecânica estatística e física teórica. Os mercados financeiros são sistemas complexos e notavelmente bem definidos, monitorados continuamente em escalas de tempo de segundos. Além disso, praticamente todas as transações econômicas são registradas e uma fração crescente do número total de dados econômicos registrados tornar-se acessível aos pesquisadores interessados. Fatos como estes tornam os mercados financeiros extremamente atrativos para pesquisadores interessados em desenvolver um conhecimento mais profundo da modelagem de sistemas complexos (Mantegna e Stanley.,1999, p. 8, tradução nossa).<sup>2</sup>

Por estas razões, a econofísica oferece uma abordagem inovadora para a compreensão dos fenômenos econômicos, trazendo insights importantes para as análises e previsões do mercado financeiro. Prever o mercado financeiro é um grande desafio para quem está envolvido nesse campo pois, as incertezas fazem parte dos ativos financeiros fazendo assim a necessidade em busca novos métodos com maior precisão para auxiliar nessas análises. Esta combinação dos conceitos da física, introduzido nas finanças, potencializa os estudos dessa área interdisciplinar, fazendo com que o estudo dos sistemas complexos na economia seja mais preciso.

### **2.2.1 Período Pré Econofísica**

Muito antes da econofísica ser reconhecida da forma como ela é atualmente, alguns conceitos primários como valor do dinheiro, cunhagem de moedas, distribuição de renda, etc. já vinham sendo discutidos muito antes da nossa era. A princípio, podemos entender que esses conceitos foram abordados por economistas, mas essas contribuições foram discutidas por diversos estudiosos de diferentes áreas que mostraram seus interesses pela economia. Do ponto de vista histórico, a econofísica já está presente na humanidade de maneira implícita há muito

---

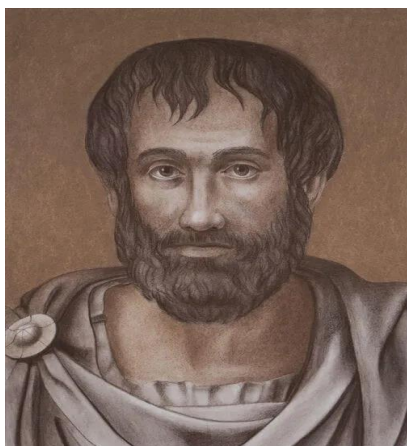
<sup>2</sup> No original [ Physicists are currently contributing to the modeling of ‘complex systems’ by using tools and methodologies developed in statistical mechanics and theoretical physics. Financial markets are remarkably well-defined complex systems, which are continuously monitored – down to time scales of seconds. Further, virtually every economic transaction is recorded, and an increasing fraction of the total number of recorded economic data is becoming accessible to interested researchers. Facts such as these make financial markets extremely attractive for researchers interested in developing a deeper understanding of modeling of complex systems (Mantegna e Stanley., 1999, p. 8).]

tempo. De acordo com Dash (2019), no início das civilizações, não havia divisões entre estudos de diferentes áreas do conhecimento.

Seguindo o pensamento do autor citado, não existia especializações em uma única área como é comum nos tempos atuais, um filósofo por exemplo, poderia prestar sua contribuição em qualquer estudo de diferentes áreas. Nesse sentido, o autor afirma que esse foi um período de muito trânsito de cientistas de suas áreas de atuação para outras, principalmente das ciências naturais para as ciências sociais ou o caminho contrário. Assim como em outras áreas a economia teve seus estudos iniciais, estudos estes que formaram a base da economia e por consequência contam a história inicial da econofísica. A seguir, vamos fazer uma abordagem histórica do período da pré econofísica, mostrando os primeiros estudos e estudiosos que contribuíram para o seu desenvolvimento.

- *Conceito de dinheiro*

Figura – 4: Aristóteles (384-322 a.C.): Filósofo grego que fez suas contribuições em diversas áreas além da filosofia.



Fonte: Porfírio S.I

Os conceitos primitivos da economia começam a ser discutidos através das visões de Aristóteles, figura 4, sobre as ideias de moeda e mercado, o filósofo procurava explicar como esses assuntos afetavam a vida em sociedade. Muito antes dos economistas, Aristóteles defendia a ideia de que a existência de um mercado e do dinheiro seria essencial para a vida em uma comunidade política (Antunes, 2015). Percebemos que essas ideias fazem parte da nossa vida.

Aristóteles presava pela ética nas ações econômicas, na visão do filósofo existia apenas duas formas de se fazer transações de mercadorias e o dinheiro servia apenas como uma ferramenta de troca e nada mais além que essa função. Conforme Aristóteles (Poli., I, 77-87, 1257a-1258b), existe duas formas para fazer transações de mercadorias: a troca natural e a troca artificial<sup>3</sup>. Seguindo esses pensamentos, a moeda é capaz de exercer apenas uma única função, servir de meio intermediário entre trocas de bens.

<sup>3</sup> A troca natural: é a troca onde alguém produz uma mercadoria e efetua sua troca por outra visando a necessidade de sobrevivência;

A troca artificial: é a troca de mercadoria em que alguém não era detentor da produção dessa mercadoria mas efetua a troca com o objetivo de obter dinheiro em função desta transação. Referência: *POLÍTICA, Aristóteles. Edição Bilingue. Tradução: Antônio Campelo Amaral e Carlos Gomes, veja universidade/ciências sociais, p. 665. ISBN:972-699-561-2. (I, 77-87, 1257a-1258b)*

- *O valor do dinheiro*

Através de suas atuações na cunhagem de moedas no reino da Prússia, Nicolau Copérnico, figura 5, não se limitou apenas em trabalhos na astronomia e outras ciências e foi mais uma figura importante a contribuir no período inicial da economia. Quando conselheiro do rei da Prússia em questões de cunhagem de moedas, Copérnico participou de discussões deste assunto e suas recomendações foram seguidas por líderes de alguns outros reinos (Dash, 2019).

Em seu artigo *Moneto cudente ratio* (sistema de cunhagem de moeda) escrito em 1526, Copérnico associa a influência do dinheiro em vários aspectos na política e na sociedade em geral (Custódio; Custódio, 2015). Este artigo explora de uma maneira geral, o declínio da moeda do reino da Prússia e o aumento da inflação, possivelmente este estudo feito por Copérnico, foi uma das abordagens pioneiras relacionados aos estudos monetários de cunhagem de moedas.

Figura – 5: Nicolau Copérnico (1473-1543): Astrônomo com atuação em várias áreas como; matemática, economia, medicina e direito canônico.



Fonte: (Dash., 2019, p. 8)

- *O padrão ouro*

Figura – 6: Isaac Newton (1643-1727): físico e matemático que contribuiu para a cunhagem de moedas da Grã-Bretanha de 1696 até o ano de sua morte.



Fonte: Radioagência brasil de fato (2017)

Isaac Newton, figura 6, fez contribuições significativas para a economia através de seu trabalho como diretor da casa da moeda real na Inglaterra. Segundo (Dash, 2019), Newton reformulou a cunhagem de moedas do país fazendo algumas reformas, entre elas, a valorização do ouro em detrimento a prata de maneira que esse sistema se tornou padrão na Grã-Bretanha. Esse sistema monetário ajudou a estabilizar a economia inglesa.

Para (Rolf e Burtle, 1973, p. 25; Cooper, 1982, p. 44. apud. Gontijo, 2014), as moedas de prata inglesas recém cunhadas foram prontamente retiradas de circulação e enviadas para o exterior devido ao alto preço do guinéu de ouro, resultando eventualmente em sua escassez no mercado interno. Seguindo o pensamento do autor citado, na Inglaterra, a cunhagem de moedas de prata foi completamente extinta em 1798, exceto como moeda de troca. O referido autor ainda cita que a cunhagem do ouro começou a ser instituída na Inglaterra no ano de 1816.

- *Fundamentos do seguro de vida*

Edmond Halley, figura 7, muito conhecido pelo cometa que leva o seu sobrenome, *Halley*, em 1693 desenvolveu a tábua da mortalidade, estudo este que mostrava a taxa de mortalidade de pessoas em vários períodos de idade (Beltrão e Pinheiro, 2002). Esse estudo foi um marco importante no estudo da expectativa de vida e da demografia populacional. A tábua de Breslaw, é considerada a primeira tabela de mortalidade baseada em fundamentos científicos. (Silva et al. 2019).

Figura – 7 Edmond Halley (1656-1742): Ganhrou renome como um cientista do Reino Unido, conhecido por sua exatidão em observar a trajetória e calcular a tempo do cometa Halley, em 1696.



Fonte: (Dash., 2019, p. 11)

- *O modelo fisiocrata*

Figura – 7: François Quesnay (1694-1774): Médico e economista de origem francesa. Figura principal do modelo econômico fisiocrata.



Fonte: (Dash., 2019, p. 15)

Segundo Batista (2012), este modelo econômico de origem francesa teve seu início no século XVIII d. C., como uma resposta ao tradicionalismo Feudal e a injunção mercantilista que imperava nesta época. François Quesnay, figura 7, foi um dos precursores desse movimento, ele defendia que a agricultura era a única fonte real de riqueza de uma nação. Sua contribuição na economia se deu pelo fato de Quesnay associar as circulações sanguínea a circulações econômicas (Dash, 2019).

Na visão de Adam Smith (1723-1790. apud. Ribeiro; Cantarino, 2016), Quesnay era um médico que adotava uma abordagem altamente teórica. De acordo com Catarino (op. Cit), Smith faz uma análise sobre a obra “*A riqueza das nações*”, livro IV especificamente no capítulo IX, sobre a doutrina fisiocrática e cita de maneira inédita a ideia de uma possível influência da formação médica no pensamento econômico de Quesnay. Embora as ideias fisiocratas tenham perdido influência ao longo do tempo, elas tiveram um impacto significativo no pensamento

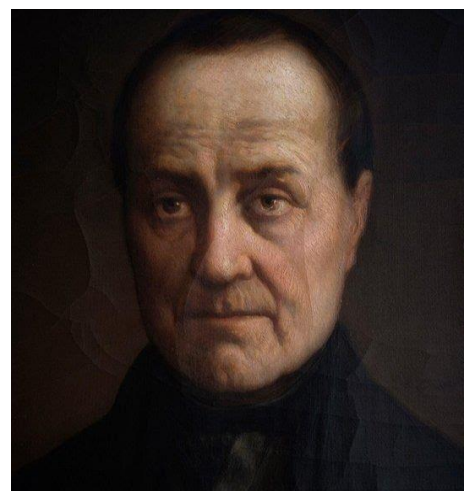
econômico, especialmente no desenvolvimento posterior da teoria do valor e na compreensão dos fluxos econômicos.

- *Ciência da Sociedade*

Auguste Comte, figura 8, é considerado um dos fundadores da sociologia, fez a distinção dos termos ciências sociais e ciências naturais, também foi ele que renomeou o termo física social para sociologia (Dash,2019). Comte enfatizou a importância da observação empírica, do método científico e da análise dos fenômenos sociais para compreender as leis que reagem a sociedade.

Segundo (Dash, 2019), Comte publicou uma obra intitulada *Uma visão geral do positivismo*, com cinco volumes, nos quais os primeiros três volumes fazem a distinção das ciências. Suas contribuições ajudaram a estabelecer a sociologia como uma disciplina acadêmica distinta. O sociólogo acreditava que a sociologia poderia fornecer uma compreensão objetiva das leis sociais e contribuir para o progresso da sociedade.

Figura – 8 Auguste Comte (1798-1857): Foi um pensador francês que formulou a doutrina do positivismo. Comte também é creditado como o fundador da disciplina acadêmica da sociologia.



Fonte: Mendes (2020)

- *Microeconomia e distribuição de renda.*

Figura – 9 Vilfredo Pareto (1848-1923): Italiano, tinha seus interesses voltados para a ciência político, sociólogo e economista.



Fonte: (Dash., 2019, p. 25)

Vilfredo Pareto, figura 9, foi um economista italiano que contribuiu com o seu estudo de distribuição de renda em todas as sociedades (Mantegna e Stanley,1999). Essa distribuição ficou conhecida como distribuição de Pareto, essa distribuição descreve uma desigualdade observada em muitos fenômenos, onde aproximadamente 80% dos efeitos são causados por 20% das causas. Pareto analisou que este conceito se aplicava em várias sociedades do mundo seja das mais ricas ou a mais pobre, a distribuição da riqueza seguia o mesmo padrão (Mantegna e Stanley, 1999).

Para Rosser (2021), Sendo  $A$  e  $\beta$  constantes positivas, então  $N$  representa o número de observações de uma variável que é maior que  $x$ .

Seguindo esse argumento, a distribuição de Pareto possui a seguinte forma

$$N = Ax^{-\beta} \quad (1)$$

podemos entender o escalonamento como:

$$\ln(N) = \ln A - \beta \ln(x), \quad (2)$$

dessa forma, é viável fazer uma generalização estocásticas ao substituir  $N$  pela probabilidade de ocorrer uma observação  $x$ . De acordo com o autor citado, a representação log-log dessa situação é de maneira linear. O princípio de Pareto é comumente aplicado em áreas como economia, negócios, marketing e gestão, para identificar os principais impulsionadores de resultados e focar esforços onde eles são mais importantes.

### 2.2.2 Período Contemporâneo da Econofísica

Podemos dizer que, este período é quando a econofísica começa a ter suas características atuais que conhecemos hoje, muitas colaborações surgiram nesse período afim de entender e usar as ferramentas da econofísica nos mercados financeiros. Conceitos da física estatística já são observados em alguns estudos como, os de Bachelier sobre o movimento browniano em ações do mercado financeiro, a precificação de ações através do modelo de Black-Scholes e outras contribuições. Neste período, ocorreu uma colaboração intensa nesta nova área interdisciplinar, muitos artigos, livros e workshops foram organizados com o objetivo de apresentar esta nova área (Dash, 2019).

- *Matemática Financeira e Processos Estocásticos*

O período moderno da econofísica começa no início dos anos de 1900 com uma abordagem pioneira do matemático francês Louis Bachelier, figura 10, sobre modelagem matemática dos mercados financeiros, através do conceito do movimento browniano. Conceito este que posteriormente em 1905, teve sua formulação matemática descrita através de Albert Einstein, figura 11. Segundo Dash, 2019, em sua tese de doutorado chamada de *A teoria da Especulação (1900)*, Bachelier usa o movimento browniano para descrever as opções de ações no mercado financeiro, essa foi a primeira abordagem do movimento browniano antes mesmo da formulação feita por Albert Einstein.

Figura – 10: Louis Bachelier (1870-1946) foi um matemático francês que fez importantes contribuições para a teoria econômica, especialmente no campo da economia financeira.



Fonte: [Louis Bachelier's Theory of Speculation \(1900\) \(privatdozent.co\)](#). Acesso em 25/02/24

Figura – 11: Albert Einstein (1879-1955) contribuiu de forma indireta na economia, através da formulação do movimento browniano. Essa formulação deu mais compreensão nos processos estocásticos que envolvia as finanças.



Fonte: Wang e Valente (2022)

A principal característica do movimento browniano é a aleatoriedade. Os preços dos ativos financeiros não seguem uma trajetória linear ou determinística, mas sim flutuam de forma aleatória ao longo do tempo. O movimento browniano tem sua origem em 1827 através das observações do botânico inglês Robert Brown, Brown percebeu através de observações microscópicas o movimento contínuo de partículas minúsculas de pólen presente na água, ele observou que esses movimentos eram bastante instáveis (Nussenzveig, 2014). Podemos dizer que o movimento browniano é a aplicação mais direta da física nas finanças, no subtópico 2.4 iremos mostrar as equações do movimento browniano.

- *Equações diferenciais estocásticas*

As equações diferenciais estocásticas são equações diferenciais que possuem um elemento estocástico, isto é, um fator que introduz imprevisibilidade ou aleatoriedade no sistema. Essas equações estão presente em vários ramos da ciência, com o intuito de moldar algum evento que se enquadre nas condições de processos estocásticos (Braumann, 2005). Essas equações tiveram sua formulação através do matemático Kiyosi Itô, figura 12, que praticamente introduziu a linguagem dos cálculos na econofísica, já que esta área utiliza os conceitos de aleatoriedade e processos estocásticos no sistema em que está sendo estudado. As contribuições matemáticas de Itô em econofísica pode ser vista no movimento browniano geométrico e equações de Black-Scholes (Braumann, 2005).

Figura – 12: Kiyoshi Itô (1915-2008), um visionário na teoria das probabilidades, deixou um impacto significativo no avanço dessa área e suas aplicações se estenderam a diversos campos.



Fonte: Society (S.I)

As principais definições dos cálculos de Itô para o entendimento matemático da econofísica são; integração estocástica, processo de Itô e o lema de Itô. Ambas as definições terão como base as definições de Braumann (op.cit). Salientando que não iremos fazer demonstrações mais aprofundadas dos cálculos e sim, mostrar o que é essencial para o uso dos conceitos abordados tanto nos cálculos de Itô como no movimento browniano e equações de Black-Scholes.

#### - Integração estocástica

Seja uma função  $H(t)$  e  $W(t)$  um processo de Wiener, processo estocástico presente em diversas áreas principalmente na teoria das probabilidades, a integral estocástica é definida como

$$\int_{t_0}^t H(t) dT(t) = \sum_{i=1}^n H(t_{i-1}) (W(t_i) - W(t_{i-1})), \quad (3)$$

essa integral também é conhecida como a integral de Itô, em sua homenagem.

- Processo de Itô

Este processo é uma extensão do cálculo estocástico que permite a integração de funções em relação a um processo estocástico. O movimento browniano geométrico é um processo de Itô, aplicado em situações que envolve o mercado financeiro que satisfaz a equação diferencial estocástica abaixo (Vasconcelos, 2004). O processo de Itô é dado por

$$dS = \mu S dt + \sigma S dW \quad (4)$$

onde  $S$  representa o movimento browniano geométrico,  $W$  é a representação de Wiener ou movimento browniano e  $\mu$  e  $\sigma$  são constantes.

- Lema de Itô

Supondo que  $T$  seja um processo de Itô definido como um movimento browniano geométrico, e considerando as condições mencionadas anteriormente, podemos dizer que existe uma função  $F(T, t)$ , então

$$dF = \left( \frac{\partial F}{\partial T} \mu(T, t) + \frac{\partial F}{\partial t} + \frac{1}{2} \frac{\partial^2 F}{\partial T^2} \sigma(T, t) \right) dt + \frac{\partial F}{\partial T} \sigma(T, t) dW, \quad (5)$$

onde  $dW$  é o processo de Wiener mencionado anteriormente. O lema de Itô também pode ser reescrito da seguinte forma

$$dF = \frac{\partial F}{\partial t} \sigma(T, t) dW. \quad (6)$$

O lema de Itô desempenha um papel fundamental na modelagem do comportamento de um ativo financeiro. O modelo de Black-Scholes é um exemplo da aplicação deste lema.

- *O modelo de Black-Scholes*

No início dos anos de 1970, muitas mudanças ocorreram nas finanças, entre novas ferramentas de estudos, volume intenso de negociações no mercado e financeiro e novos ativos que começaram a integrar essa área. Um marco significativo ocorreu em 1973, quando as moedas começaram a ser comercializadas nos mercados financeiros, tendo seus valores estabelecidos pelo mercado de câmbio, o qual opera de forma ininterrupta no mundo todo, 24 horas por dia (Mantegna e Stanley, 1999). Segundo o autor citado, neste mesmo ano de 1973, um modelo matemático foi criado para precificar o preço de opções financeiras de modo racional, este modelo é conhecido no mundo das finanças como o modelo de Black-Scholes.

O desenvolvimento do modelo Black-Scholes se deu por três importantes economistas: Fisher Black, Myron Scholes e Robert C. Merton, ambos representados na figura abaixo. Esse modelo foi o pioneiro em determinar o valor das opções e é capaz de estimar o preço adequado por meio da avaliação de diferentes variáveis (Outi, 2023). O modelo Black-Scholes leva em consideração fatores como preço do ativo subjacente, preço de exercício, volatilidade, taxa de juros e tempo até o vencimento, permitindo aos investidores tomar decisões informadas sobre a compra ou venda de ativos. No entanto, é importante ressaltar que o modelo possui algumas premissas simplificadoras e pressupostos que podem limitar sua precisão em certas situações.

Figura – 13: Os criadores do principal modelo de precificação de ativos financeiros na economia e econofísica, do lado esquerdo temos Fisher Black (1938-1995); economista formado em Harvard no ano de 1959. No centro temos Myron Scholes (1941-); professor de finanças na Stanford Graduate School of Business e laureado com o prêmio Nobel de ciências econômicas. No lado direito temos, Robert C. Merton (1944-); outro economista laureado com o prêmio Nobel em ciências econômicas, professor de finanças no MIT Sloan School of Management e pesquisador residente na Dimensional Fund Advisors.



Fonte: Billie (2016)

Segundo Mantegna e Stanley, 1999, para calcular o preço de uma opção através do modelo de Black-Scholes, algumas condições são adotadas, essas condições são:

- O preço do ativo financeiro segue um processo estocástico de Itô;
- A compra e venda de títulos financeiros ocorre de forma ininterrupta;
- Não existem possibilidades de aproveitar diferenças de preços para obter lucro no mercado;
- É possível realizar transações de títulos financeiros a qualquer momento;
- As transações não possuem custos associados;
- A taxa de juros de mercado  $r$  é mantida constante ao longo do tempo;
- Durante o período de tempo entre  $t = 0$  e  $t = T$ , não são distribuídos dividendo.

Uma outra suposição sobre este modelo é que os retornos dos ativos subjacentes seguem uma distribuição normal logarítmica, no modelo tradicional de Black-Scholes, quando realizamos uma transformação logarítmica padrão nas variáveis, a equação original se torna uma equação com coeficientes constantes (Ekström e Tysk, 2010). As afirmações ditas acima podem não se concretizar em uma operação, já que os mercados financeiros podem ser afetados por imprevisibilidades externas. As ferramentas matemáticas utilizadas nesse modelo serão apresentadas no subtópico 2.5, onde mostraremos a equação de Black-Scholes e algumas outras condições que envolve este modelo essencial para o mercado.

- *O neologismo criado e o estudo da Standard & Poors 500*

Sabemos da literatura que um neologismo significa emprego de palavras novas ou derivadas de outras palavras, isso é bastante comum de se encontrar. Na física temos alguns neologismos como a astrofísica, biofísica, geofísica e o mais recente de todos a econofísica. O termo econofísica foi cunhado no ano de 1995 durante a conferência de física estatística na cidade indiana de Calcutá, pelo físico Harry Eugene Stanley (Dash, 2019). Stanley abriu novas perspectivas no entendimento dos fenômenos econômicos complexos, utilizando ferramentas e conceitos da física estatísticas. Com isso, podemos dizer que Stanley foi o pai da econofísica, pois foi o primeiro cientista a usar este termo para descrever os fenômenos físicos na economia.

A contribuição de Stanley para a econofísica se deu pelos artigos publicados sobre o índice da bolsa americana Standard & Poors 500, e suas relações com a econofísica. Muitos desses trabalhos em parceria com Rosario Nunzio Mantegna, outro físico e entusiasta de fenômenos físicos na economia. Esse estudo da Standard & Poors 5000, foi o primeiro trabalho relacionado a esta área emergente (Gleria et al. 2004). Através destes artigos, os dois cientistas reuniram esses estudos em um livro que é a base dos estudos para a econofísica, *An introduction to econophysics* (Uma introdução à econofísica), foi a obra criada por estes dois físicos, que reúne todos os estudos feitos por ambos e apresenta outras ferramentas usadas para calcular e prevê os ativos no mercado financeiros.

Figura – 14: Harry Eugene Stanley (1941-), físico norte americano, fez contribuições à física estatística e é pioneiro nas pesquisas sobre econofísica.



Fonte: (Dash., 2019, p. 49)

Figura – 15: Rosario Nunzio Mantegna (1960-), professor da universidade de Palermo e ao lado de Stanley fez as primeiras contribuições diretas para a econofísica.



Fonte: Scientists (S.I)

### 2.3 Mercado Financeiro

Algumas vezes nos deparamos com notícias em meios de comunicação como “o dólar fechou em queda na cotação de hoje” ou a “taxa Selic está em 11% ao ano” ou “a bolsa norte americana fechou em alta nesta tarde”, mesmo sem um conhecimento prévio de economia, esse tipo de notícia já nos dão uma visão básica de mercado financeiro. Mas o mercado financeiro vai muito além desses conceitos, e essas atividades podem fazer parte de uma certa forma da nossa vida. O mercado financeiro é uma instituição presente na economia, que integra agentes econômicos (pessoas ou organizações), com interesses em obter ou conceder recursos financeiros com diferentes razões e objetivos (Santos e Santos, 2005).

Essa integração oferece oportunidades para esses agentes se relacionarem entre si de maneira direta ou indireta, com a finalidade de fazer transações de ativos financeiros (Pesente, 2019). O papel desses agentes é fundamental para os processos econômicos, pois são os principais tomadores de decisões e impulsionadores do crescimento do mercado. Podemos considerar como agentes econômicos as famílias, empresas e governos. Em resumo, os agentes econômicos através de suas interações criam um sistema complexo de trocas, produtos e distribuição de bens e serviços, que estimula o crescimento econômico e determina certas ações aos agentes envolvidos no mercado financeiro.

De acordo com Santos e Santos (2004), além dos agentes econômicos, existe também os intermediários, que são instituições encarregadas de deixar o mercado mais prático para as transações econômicas dos agentes. Seguindo o pensamento do autor citado, os intermediários são responsáveis por reunir os investidores e facilitar a realização de transações, recebendo uma comissão por realizar esses processos. Podemos compreender por intermediários do mercado financeiro as instituições financeiras como os bancos, corretoras de valores, seguradoras, fundos de investimentos, entre outras. Os intermediários têm papel fundamental para solucionar eventuais desafios causados pela falta de informação entre as partes envolvidas e são mais eficazes em reduzir custos de transações (Pesente, 2019).

Como em qualquer outra área, o mercado financeiro possui suas divisões ou subdivisões afim de atender aos mais variados tipos de investidores que queiram integrar a esse tipo de sistema, seja para investimentos mais conservadores considerados de baixo risco ao capital do investidor, ou os investimentos de alto risco com lucros mais atrativos, mas com um risco de perda total de patrimônio muito maior. De acordo com Assaf Neto (2015), o mercado financeiro é subdividido em quatro áreas onde os agentes podem fazer as suas transações, essas subdivisões são: mercado de crédito, mercado de capitais, mercado monetário e o mercado cambial. A tabela 1 mostra a explicação básica de cada um desses mercados.

Tabela – 1: Características do mercado financeiro segundo Selan (2015)

MERCADO DE	CARACTERÍSTICAS
CRÉDITO	O mercado de crédito é o local onde ocorre a oferta e demanda de empréstimos e financiamento entre instituições financeiras, empresas e pessoas. Os principais componentes do mercado de crédito são os bancos, corretoras, agências de créditos, títulos de dívidas e cartões de crédito.
CAPITAIS	O mercado de capitais é o ambiente onde as negociações de ações, títulos de dívidas, valores mobiliários e outros ativos são realizadas. É através deste mercado que instituições financeiras agregam recursos para investimentos e os investidores podem fazer negociações de compra e venda desses ativos, afim de rentabilidade ao longo prazo.
MONETÁRIO	O mercado monetário é o segmento do mercado financeiro onde as negociações de curto prazo são realizadas, os ativos que são negociados

	são títulos do governo, certificados de depósitos bancários (CDBs) e letras financeiras.
CAMBIAL	O mercado de cambial ou mercado de câmbio, refere-se ao ambiente do mercado financeiro onde ocorre as compras e vendas de moedas de outros países, permitindo a conversão entre elas. Este mercado realiza entre os investidores envolvidos, transações internacionais e também é uma opção para aqueles que buscam proteção contra flutuações cambiais.

Fonte: Elaboração própria do autor baseado em Selan (2015)

Para Vasconcelos (2004), existe também outros instrumentos financeiros além dos instrumentos pertencentes as quatro subdivisões citados na tabela acima, esses outros instrumentos são chamados de derivativos (opções ou contratos futuros). Eles oferecem aos investidores a oportunidade de negociar o direito de comprar ou vender ativos subjacentes (ações, câmbio, títulos do governo etc.) acordado em uma data futura. Do ponto de vista de Assaf Neto (2015), em vez de negociar diretamente esses ativos, os investidores especulam sobre seus futuros preços e assumem obrigações de pagamento e entrega por meio de contratos. Ainda de acordo com Assaf Neto (op.cit), esses instrumentos de negociações não têm valor intrínseco, mas são derivados do valor do ativo de referência.

### 2.3.1 Preços

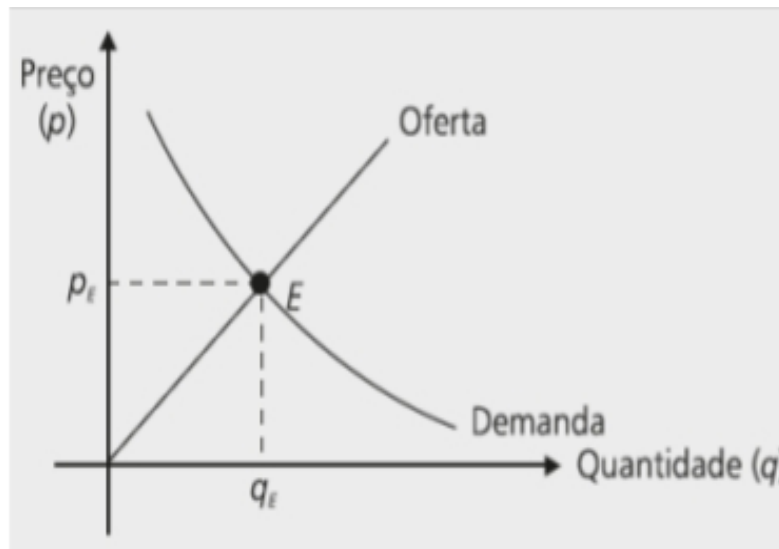
Para efetuar as transações entre os agentes econômicos precisa-se da precificação dos ativos que vão fazer parte deste processo. Informações prévias são necessárias na hora de precificar um ativo, encontrar o preço adequado para um produto ou serviço, considerando o mercado, requer equilíbrio do valor determinado com base nos custos e despesas, juntamente com o preço praticado no mercado<sup>4</sup>. Precificar um ativo financeiro, requer expectativas de volatilidade desses ativos no mercado, diversos fatores podem influenciar na precificação como oferta e demanda, condições econômicas, políticas de governos e algum evento em escala global. Recomenda-se, a análise cuidadosamente desses fatores antes de tomar decisões de investimento.

Conforme mencionado por Assaf Neto (2015), quando ocorre uma negociação com um preço estipulado, também ocorre a geração de informações sobre o valor pelo qual o vendedor

<sup>4</sup> Mercado e Vendas. Como definir o preço de vendas de um produto ou serviço. SEBRAE, 2014. Disponível em: <https://sebrae.com.br/sites/PortalSebrae/artigos/como-definir-o-preco-de-venda-de-um-produto-ou-servico,cc9836627a963410VgnVCM1000003b74010aRCRD>. Acesso em 22/11/2023

ou comprador estaria disposto a negociar um ativo no mercado financeiro. Seguindo os pensamentos do referido autor, na economia de mercado, o preço de um ativo é estabelecido quando as curvas de oferta e demanda se cruzam, indicando um ponto de equilíbrio do mercado. A figura 16 expressa essas curvas se intersectando em função do preço  $p$  a quantidade  $q$ :

Figura -16 : Intersecção das curvas de oferta e demanda de preços em função de  $p$  e  $q$



Fonte: Assaf Neto (2015, p. 27)

### 2.3.2 Riscos e Retornos

O risco financeiro refere-se à possibilidade de perdas financeiras devido as incertezas e flutuações nos preços dos ativos. De acordo com Selan (2015), o risco em economia é usado como sinônimo de incerteza e está ligado as variações dos resultados associados a um ativo financeiro. Muitos investidores analisam com cautela essa situação, pois a probabilidade de uma operação ser bem executada são mínimas. Conforme Selan (2015, p. 49), “os ativos mais ariscados são aqueles que oferecem maiores possibilidades à perda financeira”. Segundo Assaf Neto (2015, p. 354), “o risco é definido como uma medida de variação dos possíveis retornos de um ativo”.

Além disso, eventos imprevistos, como crises financeiras ou desastres naturais, podem causar volatilidade e perdas nos investimentos. Com base em Assaf Neto (2015), podemos calcular o risco de uma aplicação no mercado financeiro através do desvio padrão, medida esta que provem da estatística e que indica a incerteza com a relação do comportamento de um ativo na operação financeira. O risco de uma aplicação é dado por

$$\sigma_t = \sqrt{\sum_{j=1}^n Pr_j \times (x_j - \bar{x})^2} \quad (7)$$

Sendo  $r_j$  o retorno para o  $j$ -ésimo resultado,  $Pr_j$  a probabilidade de ocorrer o  $j$ -ésimo resultado e  $\bar{x}$  a média dos retornos calculados da seguinte forma  $\bar{x} = \sum_{j=1}^n r_j \times Pr_j$  (Selan, 2015). Com base nas análises de risco, outro conceito aparece nesse conjunto de análises de risco de uma aplicação, o conceito de retorno. O retorno no mercado financeiro é os ganhos ou perdas financeiras que um investidor pode obter ao investir em diferentes ativos financeiros. Conforme mencionado por Selan, 2015, o retorno está intrinsecamente relacionado ao risco. Como mencionado por Assaf Neto (2015), o retorno pode ser interpretado como o lucro ou prejuízo gerado por um investimento determinado ao longo de um período específico de tempo. O retorno é calculado da seguinte forma:

$$r_t = \frac{C_t + P_t - P_{t-1}}{P_{t-1}} \quad (8)$$

onde  $r_t$  é a taxa de retorno esperada no período  $t$ ;  $C_t$  o fluxo de caixa adquirido em proveniência do investimento em um ativo durante o tempo  $t - 1$  a  $t$ ;  $P_t$  é o preço do ativo financeiro no tempo  $t$  e  $P_{t-1}$ , o preço do ativo no período  $t - 1$ .

## 2.4 Movimento Browniano

O movimento browniano é um fenômeno estocástico que descreve a trajetória aleatória de partículas suspensas em um fluido. Sua descoberta foi em 1827 através das observações do botânico inglês Robert Brown, o botânico também observou as características desse movimento em partículas inorgânicas de fuligem, levando-o ao convencimento de que se tratava de um fenômeno físico (Salinas, 2005). No início de suas observações, Robert Brown pensou que essas partículas se tratavam de seres vivos, devido ao movimento aleatório que estas partículas executavam. Depois de muitas análises, observou-se que se tratava de colisões entre as partículas suspensas e o fluido em que esse processo ocorre.

De uma forma resumida, o movimento browniano é um fenômeno estocásticos que ocorre devido a um processo de caminhada aleatória que se aproxima gradualmente de um limite contínuo:  $\Delta t \rightarrow 0, 1 \rightarrow 0, N \rightarrow \infty, n \rightarrow \infty$  tal que  $t = N\Delta t$  e  $x = nl$  continuam finitos (Vasconcelos, 2004). Seguindo a ideia do autor citado, é crucial adotar precauções em relação aos limites, afim de assegurar que a função de densidade de probabilidade  $p(x, t)$  seja obtida:

deve-se tomar  $\Delta \rightarrow 0$  e  $l \rightarrow 0$ , tal que  $l^2 = \sigma \Delta t$ , onde  $\sigma$  é uma constante. As análises a seguir serão baseadas no autor citado acima. Nesta análise, obtém-se a densidade de probabilidade por uma distribuição gaussiana dada por

$$p(x, t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2 t}} \exp\left(-\frac{x^2}{2\sigma^2 t}\right). \quad (9)$$

Vamos adotar algumas notações para as definições a seguir. Seja  $\Omega$  uma variável aleatória com função de densidade de probabilidade dada por  $\mu(x)$ . O valor esperado será escrito como  $E[\cdot]$  ou  $\langle \cdot \rangle$ , ou seja,

$$E[f(\Omega)] \equiv \langle f(\Omega) \rangle = \int_{-\infty}^{\infty} f(x)\mu(x)d(x), \quad (10)$$

onde  $f(x)$  é uma função casual. A distribuição gaussiana, também conhecida como distribuição normal, com média  $m$  e desvio padrão  $\sigma$  é representado por  $N(m, \sigma)$ , onde função de densidade de probabilidade é

$$pN(x, t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} \exp\left(-\frac{(x-m)^2}{2\sigma^2}\right). \quad (11)$$

Os momentos da distribuição gaussiana são

$$E[\Omega] = m, \quad E[\Omega^2] = \sigma^2, \quad (12)$$

$$E[\Omega^{2n}] = 1 \cdot 3 \cdot 5 \cdot \dots \cdot (2n-1)\sigma^{2n}, \quad (13)$$

lembrando que os momentos da distribuição são não nulos. Segundo Vasconcelos (2004), este processo tem uma importância significativa em finanças, sua definição é a solução da seguinte equação diferencial estocásticas

$$dS = \mu S dt + \sigma S dW, \quad (14)$$

onde  $\mu$  e  $\sigma$  são constantes condicionadas a uma condição genérica inicial  $S(t_0) = S_0$ . Fazendo uma mudança de variável  $Z = \ln S$ , também vamos rescrevendo  $\mu S = a$ ,  $\sigma = b$  e  $F(S) = \ln S$ , temos

$$dZ = \left(\mu - \frac{1}{2}\sigma^2\right) dt + \sigma dW, \quad (15)$$

depois da integração, resulta

$$Z(t) = Z_0 + \left(\mu - \frac{1}{2}\sigma^2\right)(t - t_0) + \sigma[W(t) - W(t_0)], \quad (16)$$

onde  $Z_0 = \ln S_0$ . Revertendo para a variável  $S$ , conseguimos a solução explícita da Eq (15)

$$S(t) = S_0 \exp \left\{ \left( \mu - \frac{1}{2} \sigma^2 \right) (t - t_0) + \sigma [W(t) - W t_0] \right\}. \quad (17)$$

Da Eq (16), observamos que  $N \left( \left( \mu - \frac{1}{2} \sigma^2 \right) \tau, \sigma \sqrt{\tau} \right)$ , onde  $\tau = t - t_0$ . Então, o movimento browniano geométrico com valor inicial  $S(t_0) = S_0$  possui a seguinte distribuição log-normal:

$$p(S, t, S_0, t_0) = \frac{1}{\sqrt{2\sigma^2\tau S}} \exp \left\{ - \frac{\left[ \ln \left( \frac{S}{S_0} \right) - \left( \mu - \frac{1}{2} \sigma^2 \right) \tau \right]^2}{2\sigma^2\tau} \right\}. \quad (18)$$

O movimento básico utilizado para explicar as flutuações dos preços das ações no mercado financeiro, conforme a equação de Black-Scholes ao qual iremos fazer uma abordagem na seção 2.5, é o movimento browniano geométrico (Vasconcelos, 2004). O gráfico do movimento browniano e um exemplo de movimento browniano em ativos financeiros estão em anexo.

## 2.5 O Modelo de Black-Scholes Para Precificação

Para Mantegna e Stanley (1999), se assumirmos que o comportamento do preço de uma ação é descrito por um processo do movimento browniano geométrico, todas as funções de  $Y$  devem ser solução da equação diferencial parcial para um movimento browniano geométrico descrito como,

$$dC = \left[ \frac{\partial C}{\partial Y} \mu Y + \frac{\partial C}{\partial t} + \frac{1}{2} \frac{\partial^2 C}{\partial Y^2} \sigma^2 Y^2 \right] dt + \frac{\partial C}{\partial Y} \sigma Y dW. \quad (19)$$

Para fins de definição do modelo de precificação Black-Scholes, vamos considerar uma carteira de investimentos  $\Delta$ -hedge, compreendida em possuir uma opção de compra com conjunto com uma posição de venda em  $\Delta$  ações. O valor atribuído a carteira  $\tau(t)$  é

$$\tau(t) = C(S, t) - \Delta S. \quad (20)$$

A mudança no valor da carteira em uma variação de tempo  $dS$  resultando na seguinte equação

$$d\tau = dC - \Delta dS, \quad (21)$$

atribuindo o lema de Itô em (21), temos

$$d\tau = \left[ \frac{\partial C}{\partial t} + \mu S \frac{\partial C}{\partial S} + \frac{1}{2} \sigma^2 S^2 \frac{\partial^2 C}{\partial S^2} - \mu \Delta S \right] dt + \sigma S \left( \frac{\partial C}{\partial S} - \Delta \right) dW. \quad (22)$$

Agora iremos simplificar a equação (22) através do movimento browniano geométrico, a equação (22) será reescrita da seguinte forma

$$d\tau = \left[ \frac{\partial C}{\partial t} + \frac{1}{2} \sigma^2 S^2 \frac{\partial^2 C}{\partial S^2} \right] dt. \quad (23)$$

Isso implica que, uma vez que possuímos uma certa  $\Delta$ -hedge sem risco, ela deve gerar um rendimento equivalente à taxa de retorno, o que implica na situação de  $d\tau = r\tau dt$ . Sabendo destas condições podemos obter a equação de Black-Scholes para um preço considerado justo em uma operação financeira da seguinte forma

$$\frac{\partial C}{\partial t} + \frac{1}{2} \sigma^2 S^2 \frac{\partial^2 C}{\partial S^2} + rS \frac{\partial C}{\partial S} - rC = 0. \quad (24)$$

Se analisarmos as condições de compra e venda em opções europeias, a solução da equação de Black-Scholes vai depender destas condições citadas. Em uma situação de compra temos

$$C(S, T) = \max(S - K, 0), \text{ quando } 0 < x;$$

$$C(0, t) = 0, \text{ quando } 0 \leq t \leq T;$$

$$\lim_{x \rightarrow \infty} C(S, T) = x \text{ quando } 0 \leq t \leq T.$$

Em uma situação de venda temos

$$C(S, T) = \max(S - K, 0), \text{ quando } 0 < x;$$

$$C(0, t) = K, \text{ quando } 0 \leq t \leq T;$$

$$\lim_{x \rightarrow \infty} C(S, T) = x \text{ quando } 0 \leq t \leq T.$$

Depois destas condições, a solução analítica para a equação de Black-Scholes é

$$C(Y, t) = YN(d_1) - Ke^{r(t-T)}N(d_2), \quad (25)$$

onde  $N(x)$  é a função de distribuição agregada que representa a probabilidade acumulada para uma variável gaussiana com média zero e desvio padrão igual a um,

$$d_1 \equiv \frac{\ln(Y/K) + (r + \sigma^2/2)(T - t)}{\sigma\sqrt{T - t}}, \quad (26)$$

e

$$d_2 = d_1 - \sigma\sqrt{T - t}. \quad (27)$$

## 2.6 Redes Complexas

Podemos observar que muitas coisas em nossa volta de uma forma ou outra possui algum tipo de ligação ou conectividade, essas ligações por sua vez estão organizadas em forma de rede, seja uma rede de tráfegos de informações na internet, rede de dados relacionados a ativos financeiros ou como um vírus pode infectar uma rede de pessoas em uma determinada localidade. Esses conceitos se enquadram no entendimento interdisciplinar das redes complexas. Segundo Barabási (2003) apud. Metz et. al (2007), o termo rede complexas refere-se a representações gráficas compostas por nós (vértices) conectados por meio de arestas, apresentando uma estrutura topográfica incomum.

Essa forma de estudo é a base da matemática discreta observado nas diversas áreas da ciência como, física, biologia, informática e etc., e teve seu início em 1736 quando Leonhard Euler solucionou o problema das chamadas pontes de Königsberg utilizando os conceitos de nós e arestas (Pereira, 2015). Essa análise de Euler sobre este problema, revolucionou os conceitos citados, introduzindo os estudos de nós e arestas que tempos depois seria conhecido como redes complexas. Assim, é possível utilizar analogias para resolver problemas específicos, representando diversos aspectos do mundo real por meio de redes complexas (Metz et. al, 2007).

Paul Erdős e Alfred Rényi, matemáticos da antiguidade, propuseram tempos depois de Euler a teoria dos grafos aleatórios, possibilitando a análise das redes através da probabilidade (Pereira, 2015). O autor referido ainda cita outras combinações nos estudos das redes: a combinação do efeito mundo pequeno feita pelos estudiosos Stanley Milgron (1967), Duncan Wattz e Steven Strogatz (1998) e a combinação em redes livres de escala, feita por Albert-László Barabasi e Réka Albert (1999). Apesar de todos esses conceitos fazerem parte das redes complexas, nem todos os estudos de grafos podem ser considerados uma rede complexa pois algumas propriedades precisam ser identificadas para uma rede se enquadrar a esses conceitos de grafos.

De acordo com Metz et. al (2007, p. 4), essas propriedades são:

**Coefficiente de aglomeração:** os agrupamentos intrínsecos as redes são quantificadas por meio do coeficiente de aglomeração, também conhecido como fenômeno de transitividade;

**Distribuição de Graus:** o grau de um vértice qualquer em uma rede define o número de arestas que incidem (conectam) aquele vértice;

**Resistência:** indica a capacidade de resistência da rede quanto às remoções de alguns vértices, sem que haja perda de sua funcionalidade;

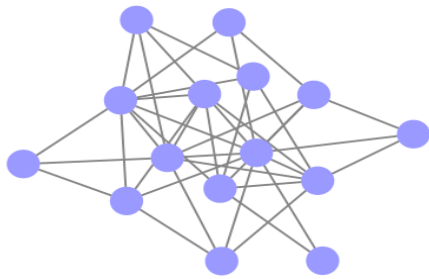
**Mistura de Padrões:** alguns tipos de redes apresentam uma mistura de padrões diferentes onde os vértices podem representar diferentes tipos de objetos;

**Correlação de Graus:** indica se as arestas em uma rede associam vértices com graus parecidos.

Na visão matemática podemos representar uma rede complexa através de um conjunto  $T$  onde, podemos analisar esse conjunto pela visão dos vértices e arestas, o conjunto é definido como  $T(u_i, v_j)$ , onde  $u_i = \{u_1, u_2, u_3...u_n\}$  são os nós (vértices) e  $v_j = \{v_1, v_2, v_3...v_m\}$  são as conexões com os nós (as arestas).

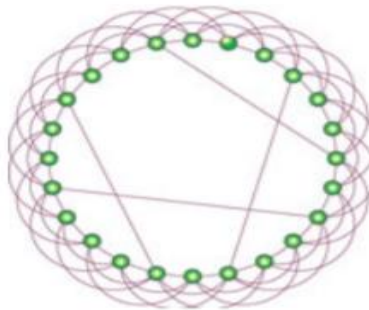
As figuras abaixo mostram como essas redes se apresentam nas três combinações que foram citadas anteriormente.

Figura – 17: Grafos aleatórios com  $u_i = 15$  e  $v_j = 40$ . O tamanho do vértice é equivalente ao seu grau.



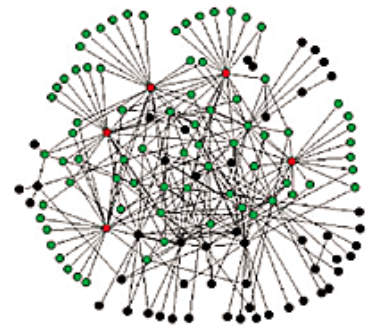
Fonte: Burke (2016, p. 11)

Figura – 18: Rede complexa pequeno mundo.



Fonte: Metz et. al (2007, p. 7)

Figura – 19: Exemplo de rede livre de escala.



Fonte: Araújo (2013, p. 7)

### 2.6.1 Redes Complexas em Finanças

Como citado na seção anterior, algumas situações ou eventos estão de uma certa forma ligados, essas ligações por muitas vezes formam grafos compostos por nós (vértices) conectados por meio de arestas, nas finanças não seria diferente, o grande volume de dados e informações sobre ações, empresas, tipos de mercados e até economias de países e continentes estão de alguma forma ligas em um sistema de redes complexas. Para Pereira (2015), a aplicação desses conceitos no âmbito dos mercados financeiros tem possibilitado uma nova

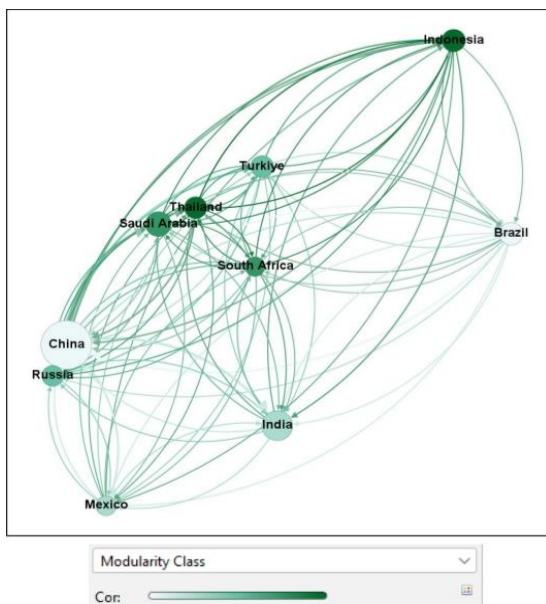
abordagem, sobretudo no que se refere à avaliação da interligação financeira entre bolsas de valores, ativos, instituições bancárias e empresas. O autor ainda cita que os nós são uma forma representativa dos ativos, bancos e países. A figura 20 representa redes complexas de ativos financeiros na bolsa de valores brasileira e transações e acordos comerciais entre países emergentes.

Figura – 20: Redes complexas na bolsa de mercados futuros Bovespa (bolsa de valores brasileira).



Fonte: Pereira (2015, p. 4)

Figura – 21: Rede complexa do comércio exterior entre os países emergentes.



Fonte: Dutra (2023, p. 40)

Figura – 22: Rede complexa do grupo econômico formado por Brasil, Rússia, Índia, China e África do Sul (South Africa), conhecido mundialmente por BRICS.



Fonte: Dutra (2023, p. 43)

As cores indicadas em ambas as situações, mostram a influência de cada país nas negociações e comércio, os nós indicam os países que compõe o sistema estudado. Já as arestas

mostram as conexões de comércio e outras ações econômicas. Quanto mais nítido for o tom de cor e mais ampliado for a aresta, o volume de ações econômicas entre os nós ligados por essas arestas é maior. Através dessas redes complexas podemos observar a influência da China em todas as ações econômicas, e isso se concretiza no mundo real pois a China é considerada a segunda maior economia do planeta com um produto interno bruto (PIB) calculado em US\$ 11, 2 trilhões, ficando atrás dos Estados Unidos com um PIB de US\$ 18, 6 trilhões<sup>5</sup>.

É natural que países com maior economia rejam o sistema financeiro mundial, e isso é perceptivo nas figuras acima com o destaque maior para a China. Nas palavras de Pereira (2015, p. 4): “Para os mercados financeiros, a maior contribuição das redes complexas, até o momento, tem sido mostrar os mercados financeiros como interdependentes e passíveis de fragilidade financeira”. Essas fragilidades decorrem muitas vezes de crises econômicas que podem aparecer no decorrer dos tempos. Podemos citar as três principais crises econômicas que afetaram o mundo; a grande depressão de 1929 que teve início nos Estados Unidos e se espalhou para o resto do mundo capitalista; crise do Subprime de 2008 que teve seu início também nos Estados Unidos; e a crise econômica causada pelo novo coronavírus (SARS-Cov-2) de 2020.

Percebemos que qualquer evento pode afetar e mudar situações econômicas e por consequência pode levar a uma crise, preços de ações e outros títulos financeiros podem variar e taxas de juros bancárias podem ser adotadas para tentar se adequar a situação adversa que um país ou o mundo pode estar passando. Essa fragilidade muitas das vezes causam mudanças significativas nas bolsas de valores ou no sistema monetário de uma nação, causando impactos para empresas e pessoas. Durante períodos de incerteza financeira, há uma maior conexão entre as bolsas de valores, o que pode levar a transformações substanciais na política econômica e monetária de um país (Pereira, 2015).

- *Os grafos na produção*

As interações econômicas entre diferentes setores desempenham uma função fundamental no desenvolvimento e crescimento econômico. Essas interações referem-se as relações e interdependência entre diferentes setores, onde as ações de um setor afetam e são afetadas pelas atividades de outros setores distintos. Pereira (2015), afirma que essas

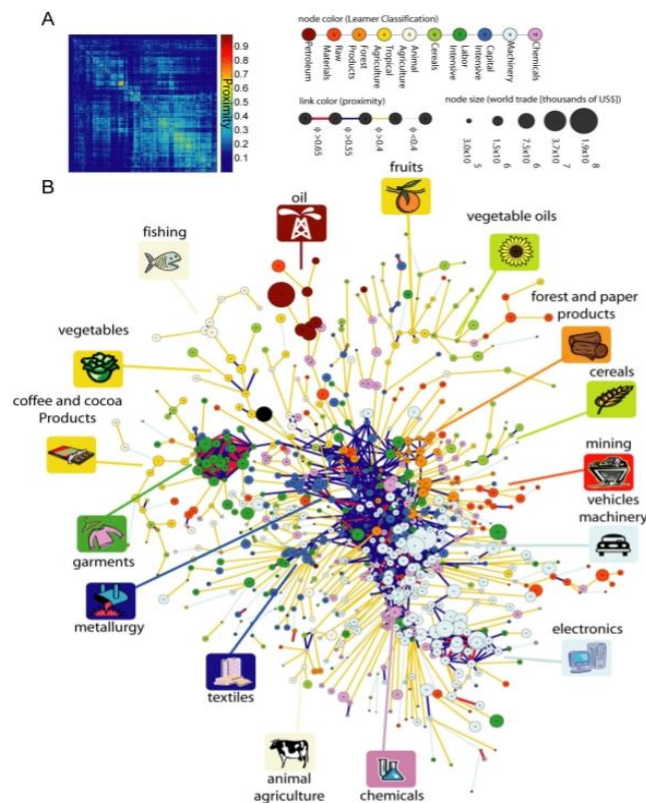
---

<sup>5</sup> Canal Agro Estadão, Como são medidas as maiores economias do mundo. Estadão, 2023. Disponível em: <https://www.google.com/amp/s/summitagro.estadao.com.br/comercio-exterior/como-sao-medidas-as-maiores-economias-do-mundo/amp/>. Acesso em 21/11/2023

concepções através das redes complexas representam uma evolução nas interações econômicas, segundo o autor citado “por exemplo, para produzir um computador a empresa deve confiar em outras que vão produzir a bateria, o visor de cristal líquido, os chips, o mouse, o software, etc” (Pereira, 2015, p. 4).

Novas concepções estão surgindo para medir o nível dessas conexões nas redes complexas, Pereira (2015) afirma que, os pesquisadores Ricardo Hausmann, economista, e Cesar Hidalgo, físico estão colaborando para o desenvolvimento de uma nova visão sobre o nível de crescimento econômico, com o intuito de medir essas interconexões entre esses distintos setores, seja no campo das exportações ou importações. Através dessas novas visões, temos uma análise geral sobre o comportamento da economia sobre a visão das redes complexas e como essas conexões de setores distintos se conectam em determinados processos. A figura 23 mostra uma rede complexa de vários setores interligados.

Figura – 23: Representações de redes complexas de produtos importados e exportados durante os anos de 1998-2000.



Fonte: Abreu (2018, p. 49)

As redes complexas desempenham um papel crucial na economia, permitindo análise das interações entre agentes econômicos através dos seus conceitos de interconectividades entre agentes econômicos. Essas redes fornecem visões sobre a estrutura e dinâmica dos sistemas

econômicos, facilitando a compreensão de fenômenos como crises, alta e queda de preços, países mais influentes nas negociações e interferências de um setor em outro, por exemplo. Assim, as redes complexas se mostram importante para quem deseja analisar a economia de uma forma mais ampla e perceber como uma escolha ou uma atividade pode por consequência interferir em outras situações.

## **2.7 Conceitos Introdutórios de Finanças Quânticas**

Finanças quânticas é um campo emergente da econofísica que usa os princípios da mecânica quântica na análise e modelagem de sistemas financeiros. As finanças quânticas divergem das finanças tradicionais ao adotar os processos recentes da teoria quântica de campos e da mecânica quântica para analisar a dinâmica concreta das partículas financeiras quânticas (Lee, 2019). A aplicação da teoria quântica no campo das finanças, oferece uma nova abordagem a análise de sistemas financeiros, sendo uma ferramenta a mais para obter uma maior exatidão nas atividades econômicas. Logo, a aplicação dos princípios de mecânica quântica na área de finanças, através das finanças quânticas, mostra um grande potencial para a análise e modelagem do mercado financeiro.

Como aponta Monteiro (2023), os conceitos da física quântica vem sendo explorando na área das finanças afim de entender e modelar a complexidade dos fenômenos financeiros. Ao aplicar os princípios da física quântica, é possível obter uma compreensão mais profunda dos mercados financeiros e desenvolver modelos mais precisos para prever certos comportamentos e tomar decisões mais estratégicas em uma operação financeira. Por essas razões, a atividade financeira pode ser entendida como uma atividade que requer um alto nível de conhecimento dos agentes envolvidos nessas atividades (investidores e reguladores) do mercado mundial (Lee, 2019).

Os principais conceitos das finanças quânticas na visão de Monteiro (2023), são os de superposição, entrelaçamento e algoritmos quânticos. Seguindo a ideia do referido autor, a usabilidade das finanças quânticas na economia age nos conceitos de otimização de portfólio, previsão de mercado, análise de risco e criptografia quântica. Dentre os conceitos citados o que vem ganhando mais destaque e que se tem uma promessa de grandes avanços nas finanças e em outras áreas afins, são os algoritmos quânticos. Esta área vem se desenvolvendo rapidamente e muitos estudos se concentram neste campo para tentar entender suas aplicabilidades e seu funcionamento, já que os algoritmos quânticos seguem um padrão diferente da computação comum que conhecemos.

Diferente dos algoritmos tradicionais que conhecemos na computação, codificados em bits 0 ou 1, os algoritmos quânticos permitem a combinação de diferentes estados simultaneamente, sendo o qubit, ou em inglês *quantum bit* (bit quântico), um elemento essencial nesse processo (B. Schumacher, 1995. M. A. Nielsen and I. L., 2011 apud. Canabarro et al, 2022). Isso proporciona um potencial de processamento de dados muito maior e a capacidade de resolver problemas complexos de forma mais eficiente. Dessa forma, podemos entender do porque o interesse dos pesquisadores nos algoritmos quânticos em finanças, já que o tráfego de dados nessa área é intenso e com a rapidez de processamento que o bit quântico oferece, esses dados financeiros teriam uma análise mais embasada na hora de tomar qualquer decisão.

Utiliza-se da seguinte argumentação de Canabarro et al, (2022, p.3), “o qubit é associado a qualquer sistema quântico com dois estados bem definidos, chamada base computacional, são descritos pelos estados  $|0\rangle$  e  $|1\rangle$ ”. O autor ainda reitera a superposição dos qubits em contraste com os bits clássicos. Esses estados são descritos matematicamente da seguinte forma,

$$|\Phi\rangle = \alpha \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \end{pmatrix} + \beta \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \end{pmatrix} \quad (28)$$

onde  $\alpha$  e  $\beta$  são amplitude de probabilidade pertencente aos conjuntos dos números complexos. Esses conceitos apresentados estão em desenvolvimento nas finanças quânticas e por sua vez, novos assuntos e novas ideias podem emergir através dessas pesquisas ainda em desenvolvimento. Dessa forma, as finanças quânticas contribuem para o desenvolvimento dos métodos financeiros e por consequência coloca a econofísica em um holofote maior nas pesquisas e atraindo mais interessados para esta nova área da economia.

### 3 HISTÓRIAS EM QUADRINHOS

As histórias em quadrinhos, também conhecidas popularmente como HQs, são uma forma criativa de contar uma história ou abordar algum assunto por meio de uma combinação que só esse tipo de ferramenta literária oferece ao combinar textos com arte gráfica. Segundo Pessoa (2012), esse tipo de história possui uma forma de mídia de grande alcance, direcionada principalmente para crianças e adolescentes. Além disso, as HQs são uma forma acessível de promover a alfabetização visual e incentiva a imaginação criativa. Com seu impacto duradouro na cultura popular, as histórias em quadrinhos continuam a encantar e inspirar um grande número de pessoas. A figura 24 mostra um exemplo desse tipo de arte.

Figura – 24: Histórias em quadrinhos do personagem Mendelêvio, autoria de João Marcos.



Fonte: Blog do Xandro.

De acordo com Pessoa (op.cit), as HQs em algumas ocasiões, são o primeiro contato da criança com a leitura e através deste contato, cria-se a base para outras formas de arte como, cinema, teatro, dentre outros. Esse contato com outros tipos de artes se deve ao fato do fortalecimento e incentivo à leitura proporcionada pelos quadrinhos. Possuindo essas atribuições positivas, as histórias em quadrinhos se tornam também um recurso para o ensino nas escolas, tendo em vista o poder que essa ferramenta tem de prender a atenção do leitor a história que está sendo contada. Sendo assim, essa ferramenta literária é uma das mais práticas não somente para uma simples leitura mas também uma ótima forma de ensinar um assunto.

#### Segundo Melgarejo e Fruet (2011)

Esse tipo de história tem inúmeros pontos positivos, visto que estimula a leitura e a produção de textos. Também pode tornar a leitura mais crítica, auxiliar na interpretação de textos, aprimorando a ortografia e também pode desenvolver, nos alunos, a criatividade, coesão na escrita, entre outras habilidades. As HQs podem tratar de diversos assuntos, diferentes personalidades e pensamentos (dos personagens), diversidades de lugares e fatos, etc (Melgarejo e Fruet, 2011, p. 6)

Para Souza (2018), esse tipo de arte é muito comum, principalmente nos dias atuais com a popularidade das redes sociais. O autor cita que, é mais atrativo e prático para o leitor fazer uma leitura visual de uma imagem com textos resumidos, seja esta individual ou em forma sequencial, do que um texto longo e mais detalhados de informações. O autor citado ainda frisa que na linguagem da internet, esse tipo de arte ganha o nome de “memes”. O autor citado ainda reitera que na maioria dos casos, o leitor tende a preferir uma leitura de imagens com textos

curtos, ao invés de um texto longo. As figuras 25 e 26 mostram alguns exemplos de quadrinhos visto nas redes sociais, os “memes”.

Figura – 25: Representação de um meme visto em muitas redes sociais.

- Gostou do brigadeiro fitness de chuchu que eu fiz, amigo?

- Delícia!



Fonte: Esmeraldo/Dicionário Popular

Figura – 26: Sequência de duas imagens em um contexto de meme.



Fonte: Esmeraldo/Dicionário Popular

Os mangás também são outras formas de histórias em quadrinhos. Originalmente conhecidos como quadrinhos japoneses, esse tipo de categoria de HQs abrangem uma ampla variedade de gêneros, incluindo ação, aventura, romance, fantasia, horror e muito outros enredos. “O mangá é, acima de tudo, um objeto cultural criado no Japão. Todavia, para a construção do mangá moderno, ampla e nada efêmera influência de outras partes do mundo foi necessária” (Zanone, 2020, p. 98). Com ilustrações distintas e narrativas que prendem a atenção do leitor, esse tipo de HQs ganham um número significativo de leitores. As figuras 27 e 28 mostram um exemplo de histórias em mangás.

Figura – 27: Capa da edição 21/22 da Shonen Jump<sup>6</sup>.

Fonte: GUY. Anime Your.

Figura – 28: Uma parte da história do Mangá do Naruto.



Fonte: Mirinda Uzamaki/Fan Pop.

As tirinhas, também são uma forma de arte sequencial, geralmente combina humor com boas ilustrações. Esse tipo de quadrinhos geralmente tem em sua composição uma série de quadros curtos, as tirinhas conseguem transmitir uma mensagem ou contar uma história de forma concisa e impactante. As tirinhas abordam uma série de temas, como situações do dia a dia contadas de forma lúdica, explicar conceitos educacionais até críticas sociais e políticas. Para Souza (2018), na educação, esse tipo de quadrinhos são empregadas para exemplificar conceitos ou simplesmente decorar um texto ou exercícios. Os personagens das tirinhas muitas vezes ganham fama e são facilmente reconhecido pelo público.

Uma tirinha muito famosa é a do colunista argentino Quino, Mafalda (figura 29), essa tirinha conta a história de uma menina que faz algumas críticas com alguns temas da sociedade. Esse tipo de HQs são muitas vezes vistas em jornais mas com o avanço da redes sociais, esse tipo de arte sequencial também é vista no mundo virtual, como citado anteriormente, através dos “memes”. Souza (2018), mostra algumas categorias de tirinhas que o autor define como, ilustrativas, explicativas, motivadora e instigadora. As figuras 30, 31, 32 e 33 mostram essas categorias de tirinhas e suas devidas explicações.

<sup>6</sup> Shonen Jump são séries semanais de mangás publicadas no Japão, tendo como público alvo os meninos pré – adolescentes a partir de 9 anos de idade. Fonte da informação disponível em: [Weekly Shōnen Jump – Wikipédia, a enciclopédia livre \(wikipedia.org\)](https://pt.wikipedia.org/wiki/Weekly_Shōnen_Jump). Data de acesso: 27/01/2024

Figura – 29: Tirinha da Mafalda mostrando uma forma de ver o patriotismo além das datas desatinadas a esse tipo de evento.



Fonte: Souza (2018, p. 62)

Figura – 30: Exemplo de tirinhas ilustrativas. Esse tipo de tirinha é usada para exemplificar uma ideia ou servir de guia para explicar um exercício.



Fonte: Souza (2018, p. 42)

Figura – 31: Exemplo de tirinhas explicativas. Esse tipo de tirinha são utilizadas para aprofundar conceitos já explicados sobre algum fenômeno da realidade.



Fonte: Souza (2018, p. 43)

Figura – 32: Exemplo de tirinhas motivadora. Nesse tipo de tirinha, o leitor precisa ter um conhecimento prévio sobre o assunto abordado na tira, para poder entender a situação mostrada.



Fonte: Souza (2018, p. 44)

Figura – 33: Exemplo de tirinhas instigadoras. Nessa categoria de tirinha, ela busca instigar o leitor, dentro do seu enredo, principalmente fazer uma reflexão sobre o tema abordado.

62. Leia os quadrinhos a seguir.



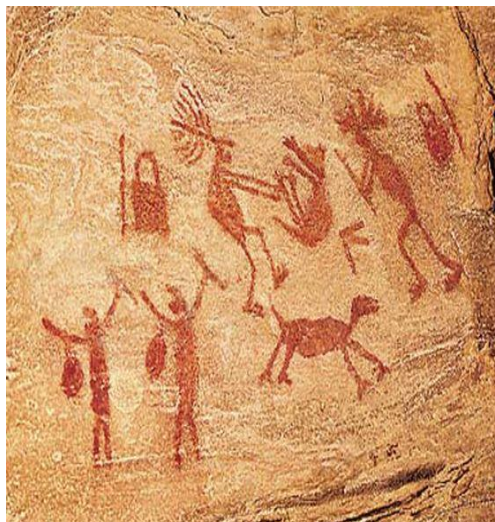
Fonte: Souza (2018, p. 45)

### 3.1 A Origem

Esse tipo de arte tem suas origens segundo alguns autores e alguns registros, nos antigos murais e pinturas rupestres que contavam histórias por meio de imagens. De acordo com Rahde (1996), no início das civilizações, é possível identificar vestígios de imagens produzidas pelo ser humano, as quais essas imagens retratavam suas observações dos elementos que estavam em sua volta como de animais selvagens por exemplo. Essas pinturas eram encontradas em cavernas e rochas, muitas vezes retratavam as caças de animais selvagens e algumas figuras

místicas, ao qual essas civilizações pré-históricas tinham algum tipo de crença. A figura 34 mostra um exemplo dessas pinturas pré-históricas.

Figura – 34: Registro de pinturas pré-históricas em paredes de cavernas.



Fonte: [\(8\) Pinterest.com](#). Acesso em 04/02/2024

Algumas dúvidas surgiram em torno desse tipo de arte, quais motivos levaram os homens pré-históricos a fazer registros da sua rotina em paredes de cavernas, umas das hipóteses era o de comunicação, outra era que essas artes era o início do pensamento lógico destes homens. Segundo Rahde (1996, p. 103) ... “Certamente os traços e as modelagens executadas pelos homens primitivos, teriam sido indícios dos primeiros signos que ocasionariam, posteriormente, estudos interpretativos de inteligência emergente no mundo pré-histórico”. Alguns estudiosos dizem que estas gravuras foram os primeiros quadrinhos feito pelo homem. De acordo com Gaiarasa (1970) apud Rahde (1996):

Os acadêmicos ... dizem que os desenhos famosos das cavernas pré-históricas – que foram a primeira história em quadrinhos que já se fez eram um ‘ensaio de controlar magicamente o mundo’ ... Ora ... estes desenhos controlavam ... a realidade e eram mágicos – sem mais” (Gaiarasa , 1970, p . 115 apud Rahde, 1996, p. 103).

Independente dos motivos que levaram estes homens a fazer esse tipo de arte, elas serviram de objeto de estudos e de reflexão para o entendimento das expressões artísticas nos dias atuais. Essas pinturas também nos ajuda a compreender a cultura e o modo de vida desses povos primitivos. Ao observar esse tipo de arte pré-históricas, somos levados para um passado em que a comunicação visual era primordial e os desenhos em cavernas era uma forma de registrar a história e a vida cotidiana. Portanto, a comunicação visual é o paralelo dessas artes

antigas com os quadrinhos dos dias atuais, com o incremento da escrita, podemos dizer que os quadrinhos é a forma de arte visual evoluída.

### 3.1.1 O Primeiro Quadrinho

As histórias em quadrinhos começou a ter suas características como a conhecemos hoje no final do século XIX. Não se tem uma exatidão sobre o verdadeiro dito ‘primeiro quadrinho’, mas duas obras ganham notoriedade quando o assunto é ser considerado as que deram origem a esse tipo de literatura. Para Ochaba (2021), algumas fontes apontam como primeira revista em quadrinhos a *Comic Cuts*, revista essa lançada em 17 de maio de 1890 por Lord Nortcliffe em Londres. De acordo com o autor citado, essa revista atingiu a marca de 300 mil exemplares trinta dias depois de seu lançamento, o conteúdo que a revista abordava era um humor satírico. A figura 35 mostra o primeiro exemplar da revista.

Figura – 35: exemplar de número 1 da Comic Custs de 17 de maio 1890.



Fonte: [Comic Cuts | UK Comics Wiki | Fandom](#). Acesso em 28/01/24

Ochaba (Op cit) cita que outras fontes apontam como o primeiro quadrinho a história criada pelo norte americano Richard Ocutcalt, *The Yellow Kid* (O Garoto Amarelo), revista essa que teve sua séries de publicações a partir de 1897 através do *New York Journal*, as publicações da história era feita sempre aos domingos. O personagem criado por Richard é conhecido por usar um longo camisolão amarelo, o conteúdo da história retrata um menino que vivia em regiões de muita pobreza que exista no início do século XX na cidade de Nova York. A fala do

personagem era carregada de gírias e eram mostradas através de sua roupa, retratando uma possível crítica aos painéis de publicidades da época. A figura 36 mostra um exemplar dessa história norte-americana.

Figura – 36: Um dos exemplares da história de Richard Ocutcalt, O garoto amarelo.



Fonte: [The Yellow Kid \(itakehistory.com\)](http://TheYellowKid(itakehistory.com)). Acesso 28/01/24

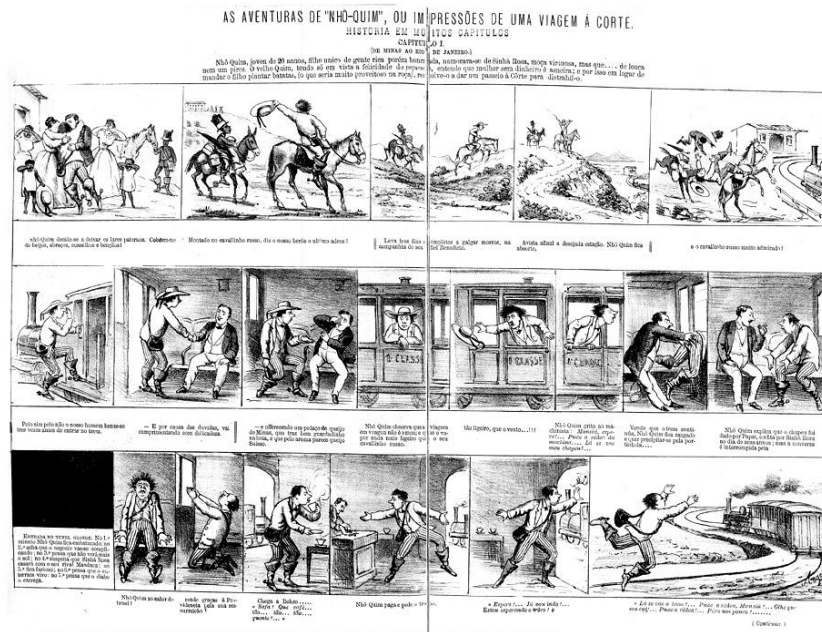
Essas duas histórias foram uma grande novidade para a época pois, esse tipo de conteúdo ainda não era muito comum nesse período e essas histórias em quadrinhos serviram de inspiração para outras que surgiram mais tarde. Rahde (1996) aponta que, existia um atrativo das pessoas por esse tipo de história. O autor citado ainda afirma que os periódicos dessa época começaram a ser mais carregados com desenhos. Coma (1979, p. 9 apud Rahde, 1996, p. 105) faz a seguinte reflexão: “Tudo confluía em atração do amplo conteúdo gráfico da imprensa; e, quando esta descobriu a cor e advertiu que o melhor emprego da mesma se conseguiu a partir de desenhos... o primeiro passo para a origem das histórias em quadrinhos estava dado.”

### 3.1.2 As Histórias em Quadrinhos no Brasil

As histórias ilustradas no formato de quadrinhos têm percorrido um extenso caminho ao longo da história do Brasil e desfrutaram de uma posição de relevância e significativa na cultura do país. No Brasil, o primeiro registro desse tipo de história foi no ano de 1869, para o jornal *Vida Fluminense*, *As Aventuras de Nhô Quim* (Ochaba, 2021). Nesse sentido, o autor afirma que o criador dessa história em quadrinhos foi o desenhista ítalo-brasileiro Ângelo Agostini. Podemos dizer que a história brasileira está entre as mais antigas do mundo e pode

também ser considerada uma das primeiras histórias em quadrinhos, assim como as que foram citadas anteriormente.<sup>7</sup> A figura 37 mostra um exemplar dessa história em quadrinhos.

Figura – 37: Exemplar das Aventuras de Nhô Quim no jornal Vida Fluminense



Fonte: [1869 – As Aventuras de Nhô-Quim, ou Uma Viagem à Corte – NANQUIM.com.br](http://1869-As Aventuras de Nhô-Quim, ou Uma Viagem à Corte - NANQUIM.com.br). Acesso em 28/01/24

Visto o potencial desse tipo de abordagem, tempos mais tarde O mesmo Ângelo Agostini deu origem a primeira revista em quadrinhos do Brasil. No ano 1905, a revista “Tico-Tico” (figura 38), foi lançada no país, seu conteúdo era diversificado com passatempos, contos em quadrinhos e conteúdos educacionais (Santos, Cruz e Vieira, 2014). A partir dos trabalhos de Agostini, outros trabalhos começaram a surgir com os mais diversos temas e personagens fazendo com que as histórias em quadrinhos se tornassem mais atrativas aos leitores brasileiros. Muitas histórias marcaram gerações e até nos dias atuais elas são lembradas por muitos leitores de HQs.

<sup>7</sup> Se formos considerar a questão de data para definir a primeira história em quadrinhos, certamente a história brasileira seria considerada a primeira, porém, estudiosos deste tema adotam outros critérios de definição e por isso não temos uma certeza absoluta de qual história em quadrinho é considerada a primeira do mundo.

Figura – 38: Exemplar da revista em quadrinhos Tico – Tico de 11 de outubro de 1905



Fonte: [1905 – O Tico-Tico – NANQUIM.com.br](http://1905-O-Tico-Tico-NANQUIM.com.br). Acesso em 30/01/24

Segundo Santos, Cruz e Vieira, (2014), a partir da década de 1950, houve um grande número de publicações desse tipo de história no Brasil, em especial, temos a revista ‘Gibi’ (figura 39), revista essa criada por Roberto Marinho e se tornou sinônimo de revistas de histórias em quadrinhos no país. De acordo com o autor citado, as histórias produzidas em território nacional tinham os mais diversificados temas, as histórias iam de temas infantis, histórias religiosas, personagens da política nacional, histórias educativas e até revistas em quadrinhos com conteúdo adulto. O autor ainda cita três publicações de relevância pra época, ‘Pererê’ (1959) de Ziraldo, ‘Bidu’ (1959) de Maurício de Souza e ‘Os Catecismos’ (1950) de Carlos Zéfiro. Outra obra que ganhou muito destaque principalmente do público infantil foi a ‘Turma da Mônica’ (1959) também do autor Maurício de Souza.

Figura – 39: Capa de um exemplar da revista Gibi

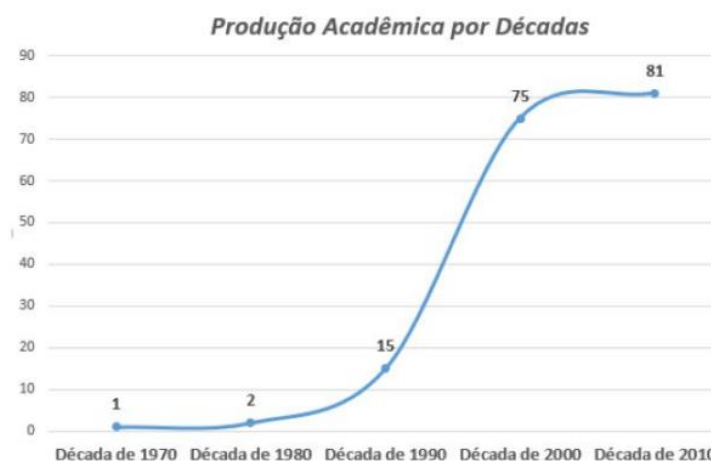


Fonte: [Charlie Chan \(quadripop.blogspot.com\)](http://Charlie-Chan-quadripop.blogspot.com). Acesso em 07/02/24

### 3.2 Histórias em Quadrinhos como Ferramenta de Ensino

Vários professores têm integrado as histórias em quadrinhos em suas estratégias de ensino, percebendo a capacidade dessas narrativas de envolver os estudantes e facilitar a transmissão de conhecimento de maneira acessível e prazerosa. Souza (2018) afirma que o uso dos quadrinhos como forma de ensino vem aumentando consideravelmente nos últimos tempos, o autor apresenta um panorama das pesquisas realizadas nas universidades sobre o tema. O referido autor tem como base para apresentar esse panorama, os estudos de Callari e Gentil (2016), a pesquisa teve como base a consulta de 106 sites de universidades públicas brasileiras para encontrar trabalhos acadêmicos com o tema de histórias em quadrinhos. A figura 40 mostra o crescimento desse tipo de trabalho.

Figura – 40: Produção Acadêmica sobre Quadrinhos por décadas



Fonte: Souza (2018, p. 36)

Segundo Pizarro (2009) apud Souza (2018), a disseminação das histórias em quadrinhos em vários segmentos da sociedade, tais como empresas, movimentos sindicais, empresas, indústrias, igrejas e outras organizações, aliada à sua integração nos materiais didáticos, foi apontada como razão primordial para a adoção das histórias em quadrinhos pelos profissionais da educação:

Pode-se dizer que, a partir da aceitação dos quadrinhos nos livros didáticos, a ideia de nocividade dos mesmos cai por terra. Embora essa linguagem, muitas vezes seja empregada nos livros de maneira errônea, foi a entrada das historinhas nos livros didáticos que fez com que as mesmas passassem a ser vistas (até mesmo pelos mais tradicionais) como possível material educativo, uma vez que agora estavam presentes no material didático indicado para a sala de aula. (Pizarro, 2009, p. 25 apud Souza, 2018, p. 36).

A inclusão das histórias em quadrinhos na educação foi oficializada com a promulgação da Lei de Diretrizes e Bases da Educação (LDB) em 20 de dezembro de 1996, conforme observado por Vergueiro (2015) apud Souza (2018). De acordo com o autor, a lei destaca “importância da incorporação de outras formas de expressão artística no currículo do ensino fundamental e médio” (p. 10):

Item II do art. 3º da lei diz que a liberdade de aprender, ensinar, pesquisar e divulgar a cultura, o pensamento, a arte e o saber” é uma das bases do ensino”; Item II do § 1º do art. 36 registra, de forma mais explícita, que, entre as diretrizes para o currículo do ensino médio, está o conhecimento de ‘formas contemporâneas de linguagem’. (VERGUEIRO, 2015, p. 10 apud Souza, 2018, p. 37).

Na visão de Souza (2018), através das condições citadas anteriormente, os quadrinhos se tornaram comuns como uma ferramenta de ensino. É comum vermos livros didáticos, questões de vestibulares e alguns projetos acadêmicos utilizando esse tipo de abordagem de ensino para apresentar vários temas. O autor ainda cita que através da internet as histórias em quadrinhos digitalizadas se tornaram mais acessível para o uso didático. Para Aragão (2002) apud Souza (2018), “o advento da internet e dos softwares gráficos ajuda ainda mais na produção e na utilização das tirinhas na educação tornando a questão da acessibilidade ainda maior”.

### **3.2.1 Histórias em Quadrinhos no Ensino de Física**

As histórias em quadrinhos são uma expressão artística que mescla imagens e textos para narrar histórias, por meio de painéis sequencial que retratam personagens, diálogos e ações, resultando em um universo visualmente envolvente. As histórias em quadrinhos despertam interesse e inspiração, pois conseguem harmonizar de forma eficiente o texto e as imagens, incentivando a criatividade do leitor (Pereira, Olenka e Oliveira, 2016). Essas histórias podem abordar uma série de temas, desde super-heróis até questões sociais ou até mesmo temas educacionais como a física por exemplo. As histórias em quadrinhos não apenas entretêm, mas educam e inspiram, promovendo a leitura e o desenvolvimento de habilidades literárias nos leitores de todas as idades.

Segundo Gomes et al. (2023), as histórias em quadrinhos podem se relacionar a algumas competências da Base Nacional Comum Curricular (BNCC), dentre as 10 competências citadas pela BNCC as histórias em quadrinhos se relacionam nas seguintes competências: competência 2 (pensamento científico, crítico e criativo); competência 4 (comunicação) e competência 5 (Cultura Digital). Por ter essas competências, as histórias em quadrinhos se tornam uma

ferramenta muito eficiente para o ensino de qualquer matéria, no ensino de física, essa ferramenta se torna bem atrativa para os professores utilizarem esse recurso para ensinar a física de uma maneira muito mais didática.

A utilização das histórias em quadrinhos no ensino de física demonstra ser um método bem eficaz para envolver os estudantes, uma vez que interage os elementos citados anteriormente (visuais e narrativos), com o intuito de simplificar e tornar mais interessante os conceitos da física, fugindo um pouco do modelo tradicional de ensino. De acordo com o pensamento de Pereira, Olenka e Oliveira (2016), o modelo tradicional de ensino com bastante teorias e exercícios, os casos de memorização de equações nas disciplinas de ciências exatas sem muitas aplicações visuais para os alunos, causam a falta de motivação dos alunos a aprender os conceitos ministrados em sala de aula.

Souza (2018) afirma que vários trabalhos utilizando personagens de histórias em quadrinhos como Mafalda, Garfield, Turma da Mônica entre outros, podem ser usados para apresentar temas relacionados a física. A utilização de personagens já conhecidos, facilita a abordagem de temas como a física, tendo em vista o conhecimento dos personagens fazendo com que o assunto apresentado tenha a maior atenção dos leitores. Sendo assim, o ensino da física através dos quadrinhos se torna mais didático para apresentar os temas da física que por muitas vezes é vista pelos alunos como difíceis. Para Anastácio (2022), as histórias em quadrinhos despertam o interesse do aluno pela física, devido muitas vezes a compreensão dos conceitos matemáticos que está presente nesta disciplina possuir algumas dificuldades para os alunos.

Muitos trabalhos em histórias em quadrinhos são de projetos acadêmicos, artigos, eventos, entre outros, porém existe muitos materiais na forma de livros ou revista feitas propriamente para introduzir conteúdos de física, (Souza, 2018). Esses livros e revistas muitas vezes abordam tópicos científicos importantes, como mecânica quântica, relatividade, eletromagnetismo e outras áreas da física, de uma forma que é visualmente estimulante e informativa. Algumas dessas obras de física são *The Cartoon History of the Universe de Larry Gonick*, *Guia Mangá de Eletricidade* e *Investigating the Scientific Method with Max Axiom*. A figura (41) mostra esses livros.

Figura – 41: Capas dos livros citadas acima.



Fonte: Souza (2018, p. 41).

Com o recurso dos quadrinhos, a aprendizagem dos alunos se torna mais eficiente e os conteúdos apresentados na história são melhores absorvidos pelo o estudante. Para Pereira, Olenka e Oliveira, (2016, p. 899), “Entre os principais requisitos para uma aprendizagem duradoura, apontam-se: materiais potencialmente significativos e motivação do aluno”. Esses materiais significativos promove uma maior motivação para aprender, pois os estudantes percebem a relevância e aplicabilidade do conteúdo que estão estudando. Esse modelo de aprendizagem que muitos profissionais da educação utilizam nas suas metodologias de ensino, é caracterizado como aprendizagem significativa.

#### 4. APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA

A aprendizagem significativa é um processo em que os novos conhecimentos são relacionados de forma relevante e coerente com os conhecimentos prévios do indivíduo, tornando-se assim mais significativos e duradouros. Quando uma pessoa consegue relacionar a nova informação com seus conhecimentos prévios de forma relevante, estabelecendo uma conexão sólida e não arbitrária, dizemos que ela está aprendendo de maneira significativa (Valadares, 2011). O aprendizado significativo teve suas origens através do psicólogo norte americano David Ausubel (1918-2008). Ausubel usou sua insatisfação com a aprendizagem obtida no tempo de escola para criar sua teoria (Silva, 2020).

Ausubel enfatiza a importância da organização e estruturação do conhecimento na mente do indivíduo para facilitar a aprendizagem. O psicólogo acreditava que a aprendizagem é mais eficaz quando o material é apresentado de forma clara e estruturada, fornecendo um

ponto de partida para o aluno. Ausubuel enfatizava a importância da motivação do aluno e da relevância do conteúdo para promover uma aprendizagem significativa, ele também destaca na sua teoria, a necessidade de uma abordagem didática que promova a compreensão em vez da memorização.

processo da compreensão, transformação, armazenamento e uso da informação envolvida na cognição, e tem como objetivo identificar os padrões estruturados dessa transformação. É uma teoria particular, cuja asserção central é a de que ver, ouvir, cheirar etc., assim como lembrar, são atos de construção que podem fazer maior ou menor uso dos estímulos externos, dependendo da circunstância, isto é, das condições pessoais de quem realiza o processo (Moreira; Masini, 2001, p. 13 apud Farias, 2022, p.62).

Contextos da sociedade também são levados em consideração nesta teoria, pois dependendo da situação onde o aluno se enquadra na sociedade, a aprendizagem significativa deste aluno será de alguma forma influenciada. Na aprendizagem, é essencial levar em conta o contexto social, cultural e econômico do indivíduo, proporcionando condições que permitam a aprendizagem significativa (Moreira; Masini, 2001 apud Farias, 2022). Ainda de acordo com o autor citado, em vez de se basear em leis abstratas gerais de aprendizagem, é importante adaptar a abordagem educacional às circunstâncias específicas do sujeito. Por isso, é fundamental os educadores está a parte do contexto em que o aluno está inserido e direcionar uma aprendizagem adequada para cada situação.

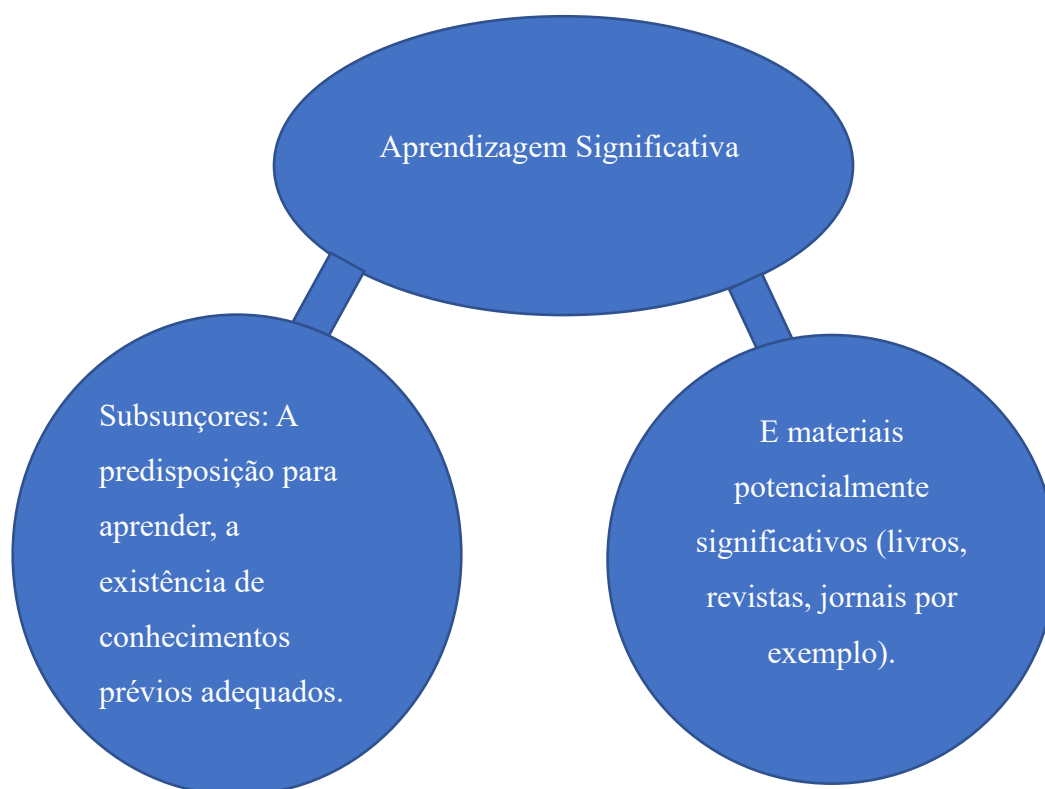
Na visão de Paulo Freire, a aprendizagem significativa é aquela que se baseia na construção coletiva do conhecimento, considerando a realidade e as experiências dos alunos. É um processo que busca a conscientização, a transformação social e a emancipação dos indivíduos, promovendo a reflexão crítica e ação transformadora. Segundo Gomes, Franco e Rocha (2020), Freire nas suas práticas pedagógicas, acreditava que o aluno absolvía os conhecimentos de forma dialética com a realidade, e que o aluno podia trilhar seu próprio caminho e moldando a sua aprendizagem, em vez de seguir um caminho pré-estabelecido. Segundo Freire (1997, p. 21 apud Gomes, Franco e Rocha, 2020, p. 14) “Ensinar não é transferir conhecimento, mas criar as possibilidades para a sua própria produção ou a sua construção”.

As histórias em quadrinhos podem ser muito bem utilizadas no processo de aprendizagem significativa, ela possui os elementos que Ausubuel e Freire citam em suas metodologias de ensino. Essa atividade criativa não apenas torna o aprendizado mais envolvente, mas também incentiva os alunos a expressar suas ideias de maneira única e original. Além disso, as histórias em quadrinhos estimulam a criatividade dos alunos, permitindo que eles sejam os protagonistas e criem suas próprias histórias usando sua criatividade, e

consequentemente moldado sua aprendizagem ao seu modo. Portanto, o uso dessa ferramenta como processo de aprendizagem é enriquecedor para o ensino.

Segundo Silva (2020), a aprendizagem significativa possui algumas etapas que visam promover uma compreensão profunda e duradoura dos conteúdos, tornando a aprendizagem mais significativa para o estudante. Essas etapas passam por conhecimentos prévios dos alunos em um determinado assunto ou matérias possivelmente significativos onde os alunos não podem ter o conhecimento do conteúdo, mas o material utilizado pode facilitar a aprendizagem de um novo conteúdo. O diagrama abaixo mostra essas etapas segundo a visão de Silva (2020).

Diagrama -1: Etapas da aprendizagem significativa segundo Silva (2020)



Fonte: Elaboração do próprio autor .

#### 4.1 Subsunçores

Os subsunçores desempenham um papel essencial na teoria da aprendizagem significativa de David Ausubel. Eles consistem em conceitos mais amplos e abrangentes que funcionam como pontos de referência para a incorporação de novos conhecimentos (Silva, 2020). Os subsunçores servem como estruturas mentais que facilitam a conexão e a integração de novas informações com o conhecimento prévio do aprendiz, contribuindo para a construção de significado e uma compreensão mais profunda. Para Moreira (2012) apud Silva (2020, p. 5)

“subsunçores são conhecimentos específicos, previamente existentes na estrutura cognitiva do sujeito, e que permite dar significado a um novo conhecimento”.

#### **4.1.2 Materiais Potencialmente Significativos**

Materiais potencialmente significativos referem-se a recursos educacionais que têm o potencial de promover a aprendizagem significativa. Para Valadares (2011) apud Silva (2020)

O material potencialmente significativo, também denominado por Valadares (2011) de “conteúdo potencialmente significativo”, deve apresentar significado lógico, coerente, plausível, suscetível de ser logicamente relacionável com qualquer estrutura cognitiva apropriada Valadares (2011) apud Silva (2020, p. 9).

Estes materiais são projetados para facilitar a conexão entre novos conhecimentos e o conhecimento prévio dos alunos, visando a construção de significado e compreensão mais profunda. Eles podem incluir, textos, atividades práticas, recursos audiovisuais e outras ferramentas que estimulam a reflexão, a análise e a aplicação do conhecimento, contribuindo assim para uma aprendizagem mais eficaz e duradoura. Os quadrinhos também podem ser considerados materiais potencialmente significativo, através de seus recursos didáticos, os alunos podem aprender um novo assunto ou aprimorar e aprofundar conhecimentos previamente aprendido por esses alunos.

### **5. METODOLOGIA**

O presente capítulo apresenta a metodologia da pesquisa e a realização da construção do produto educacional história em quadrinhos. A determinada pesquisa tem como finalidade a criação de uma história em quadrinhos tendo como base o referencial teórico da econofísica. O tipo de pesquisa utilizada neste trabalho foi a pesquisa bibliográfica. Neste sentido, a construção de histórias em quadrinhos como um produto educacional tem o intuito de simplificar o conceito apresentado através da aprendizagem significativas. Aprendizagem esta, fundamentada por David Ausubel. Segundo Moreira (2012), este tipo de aprendizagem ocorre quando ideias simbolizadas se relacionam de forma profunda e coerente com o conceito prévio que o indivíduo já possui.

Logo, a pesquisa tem o objetivo de abordar uma introdução de econofísica para alunos do ensino médio através de uma linguagem acessível, sendo assim, a criação de uma história em quadrinhos se torna um recurso didático para abordar este assunto. Os quadrinhos são na

maioria dos casos o primeiro contato ou a forma mais prática do leitor interagir com uma história seja ela de qualquer tema, a partir destes conhecimentos prévios dos quadrinhos, introduzir um novo tema que o aluno não possui um conhecimento prévio a alguma ferramenta que ele já tem um conhecimento ou uma facilidade de compreensão, torna o ensino de um novo conteúdo mais atrativo.

### **5.1 Procedimentos Metodológicos**

Durante a pesquisa, o primeiro passo realizado foi a pesquisa de fontes bibliográficas para elaborar o referencial teórico, livros, artigos, revistas e sites, fizeram parte do processo. Tais referencias foram consultadas em grande maioria no portal de artigos e periódicos Scielo.br<sup>8</sup>. Depois de embasar a teoria, o próximo passo foi escolher uma ferramenta para a criação dos personagens e todo a sequência da história em quadrinhos. A ferramenta escolhida e utilizada nesta pesquisa foi o site de animações pixton.com<sup>9</sup>, o devido site possui o suporte e recursos necessários para professores e aluno desenvolverem trabalhos e outros projetos desta categoria.

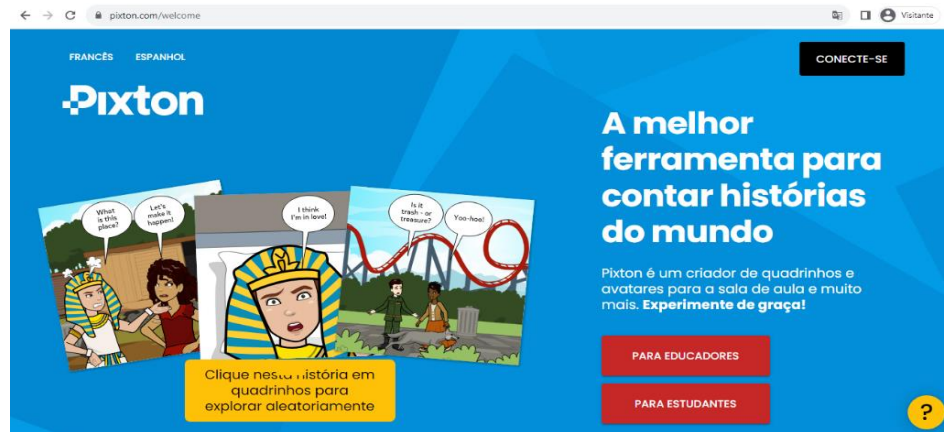
A figura 42 mostra o layout do site pixton.com, a versão original do site se encontra em francês e espanhol mas através do tradutor do navegador que o usuário estiver utilizando, a tradução do site se torna automática. Em seguida após a escolha da ferramenta, a história em quadrinhos começou a ser construída tendo como base para construção as características de Souza (2018). Em sua tese, *Física em Quadrinhos: Uma Metodologia de Utilização de Quadrinhos Para o Ensino de Física*, (2018, p. 58-90), o autor cita a construção de uma história em quadrinhos através de certos processos sequenciais os quais vão dar aspectos lúdicos para a história apresenta neste tipo de abordagem, cada etapa desses processos possui suas características em particular. O fluxo grama 1 mostra essa sequência e através desse processo a revista em quadrinhos desta pesquisa foi elaborada.

---

<sup>8</sup> O portal de artigos e periódicos pode ser acessado no seguinte endereço eletrônico: <https://www.scielo.br>

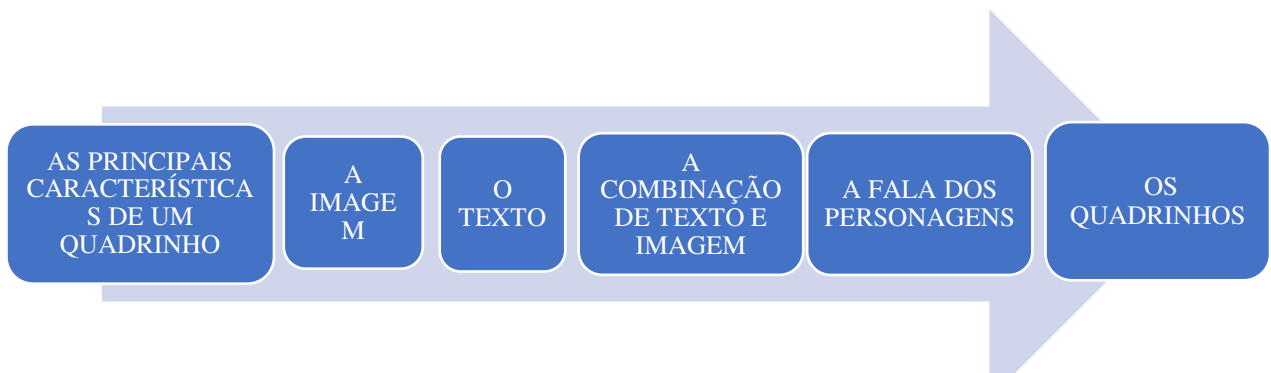
<sup>9</sup> O site pode ser acessado no seguinte endereço eletrônico: <https://www.pixton.com/welcome>

Figura – 42: Site de criação de histórias em quadrinhos Pixton.com traduzido para o português br.



Fonte: Pixton.com

Fluxograma – 1: As principais características da criação de uma história em quadrinhos segundo Souza (2018).



Fonte: do próprio autor com base em Souza (2018).

### 5.1.2 A Imagem

A imagem é um dos elementos essenciais das histórias em quadrinhos, pois retrata de forma facilmente identificável o comportamento dos personagens da história que está sendo representada. Ações, expressões faciais, gestos e emoções dos personagens são facilmente vistas pelo leitor de maneira clara e reconhecível. Através das imagens, os leitores podem acompanhar a narrativa e se envolver com os eventos da história. De acordo Eisner (2001) apud Souza (2018) retrata que:

É preciso que se desenvolva essa interação, porque o artista está evocando imagens armazenadas nas mentes de ambas as partes.

O sucesso ou fracasso desse método de comunicação depende da facilidade com que o leitor reconhece o significado e o impacto emocional da imagem. Portanto, a competência da representação e a universalidade da forma escolhida são cruciais. O estilo e a adequação da técnica são acessórios da imagem e do que ela está tentando dizer. (Eisner, 2001, p. 14 apud Souza, p. 64).

A habilidade de criar representações visuais que retratam a conduta humana, seja de forma realista ou estilizada, é crucial para o sucesso das histórias em quadrinhos e outras formas de arte sequencial. Na história em quadrinhos criada através dos procedimentos metodológicos citados, temos a interação de dois personagens que narram a história intitulada ‘*Uma Jornada Pela Econofísica*’, as imagens destes personagens definem suas características, a ação que está ocorrendo, as expressões e o ambiente onde a história se passa. A figura 25 mostra a imagem dos dois personagens da história criada em uma das situações da trama.

Figura – 43: Personagens interagindo em um ambiente universitário



Fonte: do próprio autor.

### 5.1.3 O Texto

Ao criar um texto para uma história em quadrinhos, é fundamental considerar a interação entre o texto criado e as imagens construídas. A escolha das frases devem ser cuidadosamente planejada para dar o sentido e a conexão necessária com as imagens da história em quadrinhos. Essas interações devem refletir a personalidade e as ações que estão presente na história, o texto deve complementar as imagens, acrescentando significado e profundidade à experiência do leitor. Na narrativa dos quadrinhos, o texto deve desempenhar um papel secundário (Souza,

2018). Com base em Roland Barthes, Cagnin (2014) apud Souza (2018) menciona as duas funções do texto em uma narrativa gráfica: a função de fixação e a de ligação.

Toda a criação do conteúdo textual da história em quadrinhos proveniente desta pesquisa tem como início partir do tema da revista, '*Uma Jornada Pela Econofísica*', o referido tema tem como objetivo principal a abordagem introdutória da econofísica. Através deste título, o roteiro criado pelo próprio autor da pesquisa começou a ser desenvolvido e adaptado para fazer as devidas conexões com as imagens. O roteiro também define o prosseguimento da história, atribuindo o local onde a trama ocorre, a definição das devidas falas dos personagens e a sequência da abordagem dos assuntos, fazendo assim a devida combinação de texto e imagem.

Após a combinação destes dois elementos, a história começa a ganhar o sentido necessário para a abordagem do tema através do produto educacional criado. O roteiro ainda apresenta a definição do nome dos personagens e suas devidas funções na história, a trama conta com o estudante de física 'Araújo' e a economista 'Nanda'. Ambos os personagens narram a história em um ambiente universitário através de uma conversação entre os dois. Os cinco primeiros quadrinhos são de apresentação dos personagens ao leitor, os detalhes desta etapa da pesquisa será apresentado com mais detalhes no capítulo 6.

#### **5.1.4 A Combinação de Texto e Imagem**

A combinação deste dois elementos em uma história em quadrinhos é fundamental para transmitir a narrativa de forma eficaz e envolvente. Souza (2018) aponta que: "O texto e a imagem são as constituintes básicas das narrativas gráficas" (Souza, 2018, p. 71). As imagens permitem que os leitores visualizem o universo da história e as ações, expressões e emoções dos personagens, capturando detalhes presente na narrativa gráfica. O texto por sua vez, fornece os diálogos, narrações e pensamentos que aprofundam o entendimento da história que está sendo contada, contextualizando as cenas e desenvolvendo a personalidade das figuras e imagens contidas nos quadrinhos.

De acordo com Souza (2018), a combinação de texto e imagem têm potencial de manifestar diversas configurações representativas e expressar várias sensações por meio do sentido visual. A harmoniosa combinação entre texto e imagem possibilita que os leitores se envolvam com a personalidade das figuras. A interações desses dois componentes gera um ritmo que direciona o leitor ao longo da narrativa, prendendo a atenção do leitor do início ao fim, a partir destes elementos, a história narrada nesse neste tipo de categoria de revista ganha

aspectos lúdicos e interativos tornando assim, o assunto apresentado nos quadrinhos é mais interativo e didático.

A interação destes dois elementos importantes em uma história em quadrinhos pode ser vista na figura 26. A respectiva figura mostra um diálogo entre Araújo e Nanda falando sobre o surgimento da econofísica, a figura também mostra as expressões dos personagens dando o aspecto visual de situação de conversa entre eles. A parte textual fica evidente nos balões presentes no quadrinho, esse recurso é a parte que representa os diálogos, pensamentos, narrações e efeitos sonoros presentes na história. Esse tipo de recurso pode ter várias características, os balões em histórias em quadrinhos será discutido com um pouco mais de detalhes na seção seguinte.

Figura – 44: Diálogo de Araújo e Nanda na história em quadrinhos Uma jornada pela econofísica.

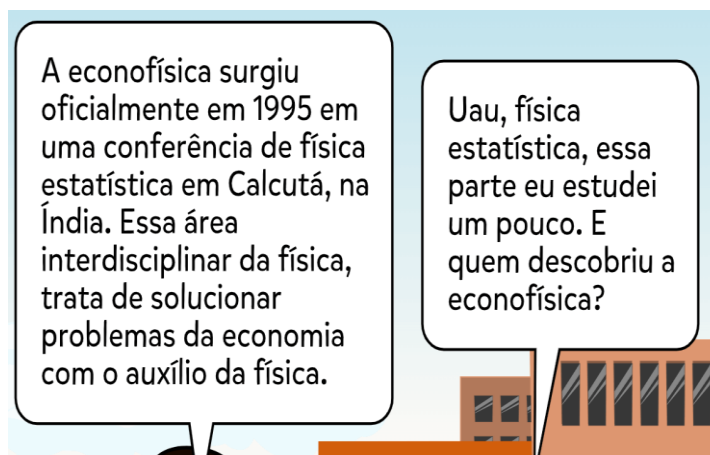


Fonte: do próprio autor.

### 5.1.5 A Fala dos Personagens

A fala dos personagens em uma história em quadrinhos é proveniente da combinação dos dois elementos vistos anteriormente, imagem e texto. Essa etapa dos quadrinhos tem um papel essencial para as narrativas visuais da história. As ações de pensar e falar dos personagens, nas histórias em quadrinhos, tem sua representatividade a partir dos balões (Souza, 2018). Os balões podem ter diferentes formas e tamanhos, de acordo com o contexto e a intenção do autor. Eles ajudam a dar vida aos personagens, transmitir emoções e guiar a narrativa, tornando os quadrinhos uma forma única de expressão artística. A figura 27 mostra os balões dos quadrinhos da história criada nesta pesquisa.

Figura – 45: Fala dos personagens representada por textos escritos em balões ilustrativos de histórias em quadrinhos.



Fonte: do próprio autor.

A combinação entre texto e arte nas falas dos personagens é fundamental para a compreensão da trama e o desenvolvimento dos arcos narrativos. Dessa forma, o leitor tem uma experiência mais formidável com o conteúdo apresentado na história, enriquecendo ainda mais sua compreensão com o assunto abordado. Assim, a fim de compreender a mensagem presente no balão, é essencial levar em consideração tanto a imagem quanto o texto (Souza, 2018). O próximo subtópico mostra todas essas interações desses recursos citados nas seções anteriores na construção de fato de uma história em quadrinhos.

### 5.1.6 Os Quadrinhos

Os quadrinhos se dispõem das combinações citadas anteriormente; imagem, texto e fala dos personagens em balões, para transmitir uma determinada história. “Os quadrinhos são uma mídia de fragmentos, um pouco de texto aqui, uma figura recortada ali, mas quando dão certo, seus leitores combinam esses fragmentos conforme leem e experimentam sua história como um todo” (McCloud, 2008, p. 129) apud (Souza, 2018, p. 71). O presente produto educacional produzido através da pesquisa deste trabalho, traz essas condições citadas nesses processos, A figura 28 e 29 mostra os quadrinhos feito através dos processos metodológicos abordado neste capítulo.

Figura – 46: Apresentação dos personagens Araújo e Nanda na história em quadrinhos, Uma jornada pela econofísica.



Fonte: do próprio autor

Figura – 47: Personagens interagindo no decorrer da história. Os elementos: imagem, texto e fala dos personagens são vistos nesses quadrinhos sequenciais.



Fonte: do próprio autor

## 6 PRODUTO EDUCACIONAL

O presente trabalho traz como produto educacional a história em quadrinhos intitulada *Uma jornada pela econofísica*. A revista em quadrinhos conta uma situação de encontro de dois personagens, um estudante de física chamado Araújo e uma economista chamada Nanda em um ambiente universitário. Após o encontro desses personagens e uma longa conversa entre eles, esses personagens chegam em um assunto incomum, a econofísica. Araújo, é um jovem pesquisador da econofísica que sempre frequenta a biblioteca da universidade para seus devidos estudos sobre a área, já a economista Nanda, frequenta eventos e palestras em ambientes universitários para obter mais conhecimento sobre economia e é uma entusiasta do tema estudado por Araújo.

A história começa com ambos os personagens fazendo suas devidas apresentações ao leitor. No capítulo 1, Araújo na biblioteca da universidade faz suas pesquisas rotineiras sobre econofísica, ao sair da biblioteca, ele passeia pelo campus e encontra Nanda que procurava a biblioteca, logo após sair de uma palestra na universidade. Ao encontrar Araújo, Nanda pede informações a ele de como chegar até a biblioteca, Nanda se encontra um pouco perdida no campus pois não o frequentava a um tempo. Araújo se dispõe a ajuda-la e a encontrar a

biblioteca, então ambos se identificam e começam o passeio. As figuras 48 e 49 mostram os dois personagens criado no site de animação pixton.com.

Figura – 48: Estudante de física Araújo.



Fonte: do próprio autor.

Figura – 49: Economista Nanda.



Fonte: do próprio autor.

As figuras 50, 51 e 52 mostram alguns quadrinhos relacionado a história.

Figura – 50 Capítulo 1, Araújo e Nanda se conhecem no campus universitário.



Fonte: do próprio autor

Figura – 51: Nanda pede informações a Araújo sobre a biblioteca e ele se dispõe a leva até o caminho da biblioteca.



Fonte: do próprio autor

Figura – 52: Araújo se identifica e junto com Nanda começam a caminhar para biblioteca do campus.



Figura: do próprio autor.

A história foi elaborada em quatro capítulos com um total de 56 quadrinhos que retratam uma conversa entre os personagens sobre a econofísica. O autor do trabalho se baseou na construção da história através do seguinte roteiro elaborado pelo próprio;

Título: Uma Jornada Pela Econofísica

Personagem 1: Araújo – Um estudante de física que faz pesquisas sobre a área interdisciplinar da física chamada econofísica.

Personagem 2: Nanda – Uma economista que adora adquirir conhecimentos sobre sua área de atuação.

Os três primeiros quadrinhos são dedicados a apresentação dos personagens ao leitor e o motivo do interesse deles pela econofísica.

Capítulo 1:

- Araújo se encontra na biblioteca da universidade fazendo sua pesquisa rotineira sobre econofísica através dos livros que a biblioteca possui.

- Em seguida, Araújo faz um passeio pelo campus depois de sair da biblioteca e encontra Nanda.

- Nanda pede uma informação sobre o caminho da biblioteca e Araújo fala que tinha acabado de sair deste local, mas que ajudaria Nanda a achar a biblioteca. Em seguida ambos se identificam e começam o passeio a caminho da biblioteca.

## Capítulo 2:

- Araújo comenta que conhece o campus devido estar por lá constantemente, Nanda acha interessante e faz uma pergunta a Araújo sobre o que ele estuda na universidade.

- No decorrer da conversa, Araújo comenta que é um estudante de física e faz alguns comentários sobre seu curso.

- Nanda se surpreende com a resposta de Araújo e comenta que no seu tempo de ensino médio ela adorava estudar essa matéria, mas ela comenta que se graduou em outra área.

- Araújo pergunta em qual área ela estuda. Nanda responde que é formada em economia. E complementa que sempre frequenta palestras para adquirir ainda mais conhecimento sobre seu tema de estudo.

- Araújo fica surpreso em saber que Nanda é economista e logo em seguida, comenta que está estudando uma área da física que se relaciona com a economia. Nanda também fica surpresa e prevê que Araújo está estudando econofísica. Araújo confirma sua dedução e complementa que faz um tempo que ele estuda os conceitos desta área da física.

- Nanda comenta que já tinha ouvido falar sobre econofísica no seu tempo de universidade, mas que nunca dedicou um tempo para estudar essa matéria. Em seguida, ela pede informações a Araújo sobre a econofísica e Araújo começa a explicar o seu surgimento.

- Araújo explica o surgimento da econofísica, fala que esta é uma área da física estatística e comenta os estudos desta área e os estudiosos envolvidos na sua construção.

- Nanda se surpreende com o número de cientistas que fizeram parte da construção da econofísica, ela percebe que Araújo sabe muitas informações sobre esta área e faz perguntas para saber mais sobre a econofísica.

## Capítulo 3:

- Nanda faz o questionamento se na econofísica possui equações e quais áreas da economia ela se aplica.

- Araújo responde sua pergunta falando das ferramentas usadas e processos usados para formular os cálculos em econofísica.

- O diálogo dos dois personagens segue até o momento em que Araújo cita a equação de Black-Scholes. Nanda já que ela já tinha um conhecimento prévio desse assunto, pois já tinha estudado esse assunto em economia.

#### Capítulo 4:

- Araújo comenta com Nada que ele ainda não entendeu muito bem a equação quando ele a estuda e Nanda disse que iria esclarecer suas dúvidas sobre a equação de Black-Scholes. Pois ela estudou essa equação no seu tempo de faculdade e na sua profissão muitas vezes essa equação é usada para a precificação de ativos financeiros.

- Nanda começa suas explicações falando sobre os criadores da equação, e continua sua explicação falando sobre o uso da equação.

- Nanda fala as características da equação e explica cada termo que compõe a equação.

- Araújo se impressiona sobre as finalidades da equação de Black-Scholes.

- Em seguida, Araújo responde a Nanda sobre as aplicações da econofísica na economia.

- Araújo cita os principais conceitos que relacionam as duas áreas.

- Os dois chegam até o caminho da biblioteca, ambos agradecem pelo conhecimento compartilhado ao longo da conversa. Em seguida ambos se despedem.

O roteiro acima faz uma abordagem genérica dos acontecimentos da história, a história em quadrinhos será mostrada no tópico seguinte deste trabalho.

## 7 RESULTADOS

Após as devidas pesquisas realizadas nos artigos e livros relacionados a econofísica, e a criação da história através do roteiro elaborado pelo autor, o resultado obtido pela pesquisa foi a revista em quadrinhos, *Uma jornada pela econofísica*. Revista essa que se baseia no referencial teórico pesquisado pelo autor do trabalho, a história procura trazer a econofísica da maneira mais resumida, simples e didática para o leitor e assim despertar seu interesse em investigar mais sobre a econofísica. O objetivo desta história é levar a econofísica ao público do ensino médio. O produto educacional obtido após as pesquisas do tema principal deste trabalho está representado abaixo.

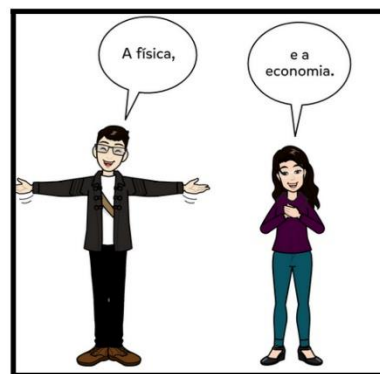
Produto Educacional: Uma jornada pela econofísica.

Nº1

**Física em**

# **Uma jornada pela econofísica**







Araújo acompanha Nanda a caminho da biblioteca e ao longo do trajeto, ambos conversam sobre suas áreas de conhecimento:

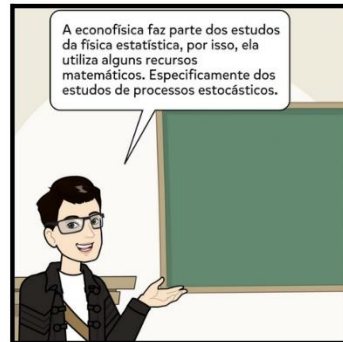


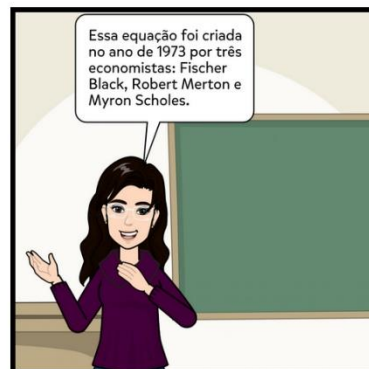
Capítulo 2



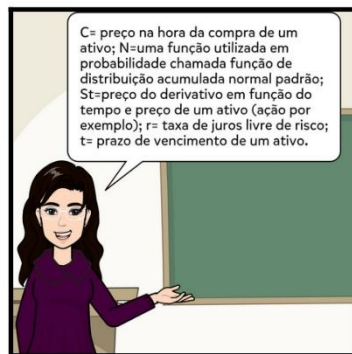


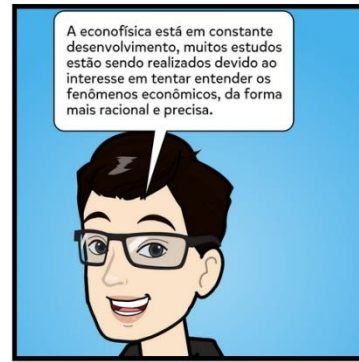






$$C = N(d_1)S_t - N(d_2)Ke^{-rt}$$







## 8 CONCLUSÃO

A econofísica é uma área interdisciplinar que vem se desenvolvendo ao longo do tempo, essa área pode ser um recurso a mais para economistas efetuarem suas análises na economia e para os físicos mais um modelo físico a ser estudado e compreendido através das ferramentas da física estatística. Conceitos da economia como distribuição de renda, flutuações de preços, crescimento econômico, crises e como o mercado financeiro está organizado, pode ter uma nova visão através dos conceitos físicos trabalhados na econofísica.

Atrelar esses conceitos com histórias em quadrinhos é uma forma mais criativa de explicar esses conceitos teóricos, utilizando todos os artifícios que a história em quadrinho dispõe, imagens, textos resumidos e ilustrações criativas, estimulam o leitor a se interessar pelo assunto que está sendo apresentado. Em muitas ocasiões, esse recurso é bem eficiente para levar qualquer assunto a diferentes tipos de pessoas, repassando o conhecimento de forma mais didática e lúdica ao leitor.

Neste trabalho, foi proposto uma forma de ensinar e aprender econofísica a partir de histórias em quadrinhos, utilizando alguns conhecimentos do referencial teórico deste trabalho para explicar como a física e a economia se relacionam. O referido tema foi proposto de uma forma bem introdutória na história em quadrinhos, afim de repassar conhecimentos visto por muitos como avançado, de maneira mais didática possível. Conceitos como movimento browniano, equação de Black-Scholes, finanças quânticas, foram citados nessa história de maneira bem sucinta, visando o entendimento do leitor.

A perspectiva desta pesquisa é expandir essa história em quadrinhos, acrescentado os conceitos históricos e contemporâneo da econofísica, visando uma melhor experiência da abordagem desse assunto para o leitor. Após acrescentar com mais informações a revista em quadrinhos, a finalidade é publicar em uma editora e doar para as escolas do ensino médio do município de Salinópolis fazendo assim, que os estudantes possam ver uma outra área da física através do ensino por quadrinhos e desta forma atribuir mais conhecimentos a estes estudantes. Portanto, desejamos que as histórias em quadrinhos sejam uma ferramenta inspiradora e facilitadora para o ensino e aprendizagem da econofísica, tanto no âmbito estudantil quanto em outras esferas, e que este trabalho possa estimular o interesse e a satisfação pelo conhecimento científico.

## REFERÊNCIAS

ABREU, Mariana Piaia. A complexidade da estrutura produtiva e financeira: uma análise de redes para o brasil. **Unpublished**, [S.L.], p. 13-122, 2018. S.I. Unpublished. <http://dx.doi.org/10.13140/RG.2.2.22910.61762>.

ANASTÁCIO, Simone A. Fernandes. Mina de HQ. **Quadrinhos no Ensino de Física**, 2022. Disponível em: <https://minadehq.com.br/historias-em-quadrinhos-em-sala-de-aula-ensino-de-fisica/>. Acesso em: 20 dez 2023.

ARAÚJO, Romes. A emancipação humana e as redes cibernéticas de aprendizagem colaborativa: researchgate. **Unpublished**: researchgate, [S.L.], p. 1-41, 2013. S.I. Unpublished. <http://dx.doi.org/10.13140/RG.2.2.25672.83201>.

ARAÚJO, Marcos Vinícius dos Santos . **Aplicação do Movimento Browniano Geométrico para Simulação de Preços de Ações do Índice Brasileiro de Small Caps**. arXiv e-prints, p. arXiv: 2011.08128, 2020.

ASSAF NETO, Alexandre. **Mercado Financeiro**: mercados capitais. 13. ed. São Paulo: Gen, 2015. 492 p. ISBN:978-85-970-0194-5.

BELTRÃO, Kaizô Iwakami; PINHEIRO, Sonoe Sugahara. Estimativa de mortalidade para a população coberta pelos seguros privados. **IPEA, Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada**. Rio de Janeiro, 2002. 57 p. Disponível em: <https://repositorio.ipea.gov.br/handle/11058/2098>.

BOCCARA, Nino. **Modeling Complex Systems**: second edition. Chicago: Springer, 2010. 489 p. ISSN 1868-4513, ISBN 978-1-4419-6561-5, e-ISSN 1868-4521, e-ISBN 978-1-4419-6562-2, DOI 10.1007/978-1-4419-6562-2.

BRAUMANN, Carlos A.. Introdução às equações diferenciais estocásticas e aplicações: s.i. Portugal: Sociedade Portuguesa de Estatística, 2005. 192 p. (III congresso anual). IBSN: 972-8890-06-0.

BURKE, Paulo E. P.. Representation of Whole Cells using Complex Networks. **Unpublished**, [S.L.], p. 3-58, 2016. [S.L.]. Unpublished. <http://dx.doi.org/10.13140/RG.2.2.29133.44000>

Billie, ZZ. **Arbitragem, Prêmio Nobel de Economia, LTCM e União Soviética**: s.i. S.I. 2016. Revisão de investimento. Disponível em: <https://2ndflight.tistory.com/30>. Acesso em: 28 nov. 2023.

CANABARRO, Askery; MENDONÇA, Taysa M.; NERY, Ranieri; MORENO, George; ALBINO, Anton S.; JESUS, Gleydson F. de; CHAVES, Rafael. Quantum Finance: um tutorial de computação quântica aplicada ao mercado financeiro. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, [S.L.], v. 44, p. 2-17, 2022. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/1806-9126-rbef-2022-0099>.

COMPLEXEACH, (São Paulo). Pós Graduação em Sistemas Complexos Each/Usp. Sistemas complexos. Perfil criado em fevereiro de 2010. **Twitter**: @complexeach. Disponível em: [https://x.com/complexeach?t=sKQUHDbUWzGT3\\_QUdZNcg&s=09](https://x.com/complexeach?t=sKQUHDbUWzGT3_QUdZNcg&s=09). Acesso em: 14 nov. 2023.

CUSTÓDIO, Márcio Augusto Damin; CUSTÓDIO, Sueli Sampaio Damin. O valor da moeda em Oresme e Copérnico. **Scientiae Studia**, [S.L.], v. 13, n. 4, p. 731-757, dez. 2015. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1678-31662015000400002>.

DASH, Kishore Chandra. **The Story of Econophysics**. Cambridge: Cambridge Scholars Publishing, 2019. 214 p. ISBN (10): 1-5275-3757-9.

DUTRA, Jefferson Nepomuceno. **A relevância comercial do Brasil entre os países emergentes**: uma abordagem de redes complexas. Brasília: Idp, 2023. 50 p. Mestrado Profissional em Economia.

ESMERALDO, Sabryna. **45 memes super engraçados para rir**: S.I. 2017-2024. Dicionário Popular. Disponível em: <https://www.dicionariopopular.com/memes-engracados/>. Acesso em: 27 jan. 2024.

EKSTRÖM, Erik; TYSK, Johan. The Black–Scholes equation in stochastic volatility models. **Journal Of Mathematical Analysis And Applications**, [S.L.], v. 368, n. 2, p. 498-507, ago. 2010. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jmaa.2010.04.014>.

GARCIA, Leandro. Sistemas complexos: uma nova abordagem para a promoção da atividade física em populações. **Revista Brasileira de Atividade Física & Saúde**, [S.L.], v. 22, n. 6, p. 499-500, 5 jul. 2018. Brazilian Society of Physical Activity and Health. <http://dx.doi.org/10.12820/rbafs.v.22n6p499-500>.

GLERIA, Iram *et al.* Sistemas complexos, criticalidade e leis de potência. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, [S.L.], v. 26, n. 2, p. 99-108, 2004. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0102-47442004000200004>.

GOMES, Yasmim Danny de Souza *et al.* HISTÓRIAS EM QUADRINHOS: um recurso didático no ensino de física. **Educere - Revista da Educação da Unipar**, [S.L.], v. 23, n. 3, p. 1167-1186, 14 set. 2023. Universidade Paranaense. <http://dx.doi.org/10.25110/educere.v23i3.2023-009>.

GOMES, Érica Cupertino; FRANCO, Xaieny Luiza de Souza Oliveira; ROCHA, Alexsandro Silvestre da. **USO DE SIMULADORES PARA POTENCIALIZAR A APRENDIZAGEM NO ENSINO DE FÍSICA**. Araguaína: Eduft, 2020. 64 p. Universidade Federal do Tocantins.

GUY. Anime Your. **Shonen Jump Issue 21/22 cover**: S.I. Reddit.com/manga/comments. Disponível em: [Shonen Jump Issue 21/22 Cover : r/manga \(reddit.com\)](https://www.reddit.com/r/manga/comments/). Acesso em: 27 jan. 2024.

KWAPIEŃ, Jarosław; DROŹDŹ, Stanisław. Physical approach to complex systems. **Physics Reports**, [S.L.], v. 515, n. 3-4, p. 115-226, jun. 2012. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.physrep.2012.01.007>.

LEE, Raymond S. T.. **Quantum Finance**: intelligent forecast and trading systems (english edition). S.I: Springer, 2019. (978-9813297951). Idioma: Inglês.

MANTEGNA, Rosario N; STANLEY, H. Eugene. **An Introduction To Econophysics: correlation and complexity in finance**. Cambridge: Cambridge University, 1999. 148 p. ISBN 0-511-03994-8.

MARTINS, André. **O que são Sistemas Complexos?:** (in portuguese). 2020. Universidade de São Paulo. Disponível em: <https://sites.usp.br/sistemascomplexos/o-que-sao-sistemas-complexos-in-portuguese/>. Acesso em: 13 nov. 2023.

MATTILUS, 258. Papel de Parede: paisagem urbana. 2017. **Wallhere.com**. Disponível em: [https://wallhere.com/pt/wallpaper/133505#google\\_vignette](https://wallhere.com/pt/wallpaper/133505#google_vignette). Acesso em: 14 nov. 2023.

MELGAREJO, Cristina Oliveira; FRUET, Fabiane Sarmiento Oliveira. **O potencial das histórias em quadrinhos no desenvolvimento da leitura e da escrita:** um estudo a partir de uma turma de 5º ano do ensino fundamental. Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria, 2011. Curso mídias na educação.

METZ, Jean *et al.* **Redes Complexas:** conceitos e aplicações. São Carlos: Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação, 2007. (ISSN-0103-2569).

MITCHELL, Melanie. **Complex systems: network thinking**. Artificial Intelligence, [S.L.], v. 170, n. 18, p. 1194-1212, dez. 2006. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.artint.2006.10.002>.

Mirinda Uzamaki. **Fan Pop. Quadrinhos**. Disponível em: [나루토 망가 quadrinhos - 망가 팬 Arte \(18572545\) - 팬팝 \(fanpop.com\)](http://www.fanpop.com). Data de Acesso: 28/01/2024

MONTEIRO, Cleber. **Finanças Quânticas, já ouviu esse termo ?:** s.i. S.I. 2023. Likedin. Disponível em: <https://pt.linkedin.com/pulse/finan%C3%A7as-qu%C3%A2nticas-j%C3%A1-ouviu-esse-termo-cleber-monteiro>. Acesso em: 28 nov. 2023.

MOREIRA, Marco Antonio. **O QUE É AFINAL APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA?:** after all, what is meaningful learning?. Porto Alegre – Rs: Instituto de Física – Ufrgs, 2012. 27 p. S.I.

NASCIMENTO JUNIOR, H.B. do *et al.* Porque as bolsas de valores quebram: a origem das caudas grossas nas distribuições de retornos. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, [S.L.], v. 29, n. 3, p. 341-346, 2007. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0102-47442007000300005>.

NEWMAN, M. E. J.. Complex Systems: a survey. Arxiv, [S.L.], p. 2-10, 2011. ArXiv. <http://dx.doi.org/10.48550/ARXIV.1112.1440>.

NUSSENZVEIG, H. Moyses. **Curso de Física Básica 2**: fluidos oscilador e ondas. 5. ed. São Paulo: Blucher, 2014. ISBN: 978-85-212-0747-4.

OCHABA, Sabine. **1890**: primeira revista em quadrinhos. Primeira revista em quadrinhos. 2021. Www.dw.com. Disponível em: <https://www.dw.com/pt-br/1890-primeira-revista-em-quadrinhos/a-834103>. Acesso em: 18 jan. 2024.

OUTI, Luis. Black and Scholes: conheça este modelo de precificação de opções. conheça este modelo de precificação de opções. 2023. Investing.com. Disponível em: <https://br.investing.com/analysis/black-and-scholes-conheca-este-modelo-de-precificacao-de-opcoes-200460993>. Acesso em: 29 nov. 2023.

PEREIRA, Eder. Breve Contribuição das Redes Complexas para a Econofísica. *In*: BRAZILIAN WORKSHOP ON SOCIAL NETWORK ANALYSIS AND MINING (BRASNAM), 4. , 2015, Recife. **Anais** [...]. Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Computação, 2015 . p. . ISSN 2595-6094. DOI: <https://doi.org/10.5753/brasnam.2015.6791>.

PEREIRA, Moisés Lobo D'almada Alves; OLENKA, Laudileni; OLIVEIRA, Paloma Emanuelle Duarte Fernandes. Física em Ação através de Tirinhas e Histórias em Quadrinhos. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, [S.L.], v. 33, n. 3, p. 896, 15 dez. 2016. Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). <http://dx.doi.org/10.5007/2175-7941.2016v33n3p896>.

PESENTE, Ronaldo. **Mercados Financeiros**: ufba, faculdade de ciências contábeis. Salvador: Cip: Sistema de Biblioteca da Ufba, 2019. ISBN:978-85-8292-190-6.

PESSOA, Alberto Ricardo. O processo de criação de uma história em quadrinhos em sala de aula: um estudo de caso. **Temática**, [s. l], p. 1-22, 03 mar. 2012. www.Insite.Pro.Br.

**POLÍTICA**, Aristóteles. Edição Bilingue. Tradução: Antônico Campelo Amaral e Carlos Gomes, veja universidade/ciências sociais, p. 665. ISBN:972-699-561-2.

PORFÍRIO, Francisco. “Aristóteles, **Brasil Escola**. Disponível em : <https://brasilecola.uol.com.br/filosofia/aristoteles.htm>. Acesso em 19 de outubro de 2023.

ROSSER, J. Barkley. Econophysics and the Entropic Foundations of Economics. *Entropy*, [S.L.], v. 23, n. 10, p. 2-15, 30 set. 2021. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/e23101286>.

RAHDE, Maria Beatriz. Origens e evolução da história em quadrinhos: s.i. **Famecos**, Porto Alegre, v. 5, p. 103-106, 05 nov. 1996. Semestral. S.i.

SALINAS, Silvio R.A.. Einstein e a teoria do movimento browniano. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, [S.L.], v. 27, n. 2, p. 263-269, jun. 2005. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1806-11172005000200013>.

SANTOS, José Odálio dos; SANTOS, José Augusto Rodrigues dos. Mercado de capitais: racionalidade versus emoção. **Revista Contabilidade & Finanças**, [S.L.], v. 16, n. 37, p. 103-110, abr. 2005. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1519-70772005000100008>.

SANTOS, Iury Givago Ribeiro Bispo de Almeida; CRUZ, Tiago André da; VIEIRA, Milton Luiz Horn. O desenvolvimento das histórias em quadrinhos no Brasil. **E-Revista Logo: S.I, S.I**, v. 2, p. 02-10, 31 mar. 2014. S.I.

SCIENTISTS, Top Italian. Rosario Nunzio Mantegna: top italian scientist in physics. Top Italian Scientist in Physics. S.I. Rosario N. Mantegna is Applied Physics professor at Palermo University, Palermo, Italy, and member of the External Faculty of the Complexity Science Hub Vienna.. Disponível em: [https://topitalianscientists.org/tis/1340/Rosario\\_Nunzio\\_Mantegna\\_-\\_Top\\_Italian\\_Scientist\\_in\\_Physics](https://topitalianscientists.org/tis/1340/Rosario_Nunzio_Mantegna_-_Top_Italian_Scientist_in_Physics). Acesso em: 20 nov. 2023.

SELAN, Beatriz. **Mercado Financeiro: mercados de capitais**. Rio de Janeiro: Estacio, 2014. IBSN:978-85-5548-012-6.

SILVA, J.M.; LIMA, J.A.s.. Quatro abordagens para o movimento browniano. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, [S.L.], v. 29, n. 1, p. 25-35, 2007. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1806-11172000100007>.

SILVA, João Batista da. A Teoria da Aprendizagem Significativa de David Ausubel: uma análise das condições necessárias. **Research, Society And Development**, [S.L.], v. 9, n. 4, p. 1-13, 13 mar. 2020. S.I. Research, Society and Development. <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v9i4.2803>.

SOARES, Marcelo Reicher. Matemática e Complexidade. **Complexitas – Revista de Filosofia Temática**, [S.L.], v. 1, n. 1, p. 63, 6 jul. 2016. Universidade Federal do Para. <http://dx.doi.org/10.18542/complexitas.v1i1.3413>.

SOCIETY, American Mathematical. **Notícias da AMS: kiyoshi itô, 1915-2008**. Kiyoshi Itô, 1915-2008. S.I. AMS. Disponível em: [https://www.ams.org/news?news\\_id=88](https://www.ams.org/news?news_id=88). Acesso em: 01 dez. 2023.

SOUZA, Eduardo Oliveira Ribeiro de et al. **Física em quadrinhos: uma metodologia de utilização de quadrinhos para o ensino de física**. 2018. Tese de Doutorado.

VALADARES, Jorge. A TEORIA DA APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA COMO TEORIA CONSTRUTIVISTA: the meaningful learning theory as a constructivist theory). **Meaningful Learning Review**: Universidade Nova de Lisboa, Portugal, p. 36-57, 2011. S.I. Unidade de Investigação em Educação e Desenvolvimento Portugal.

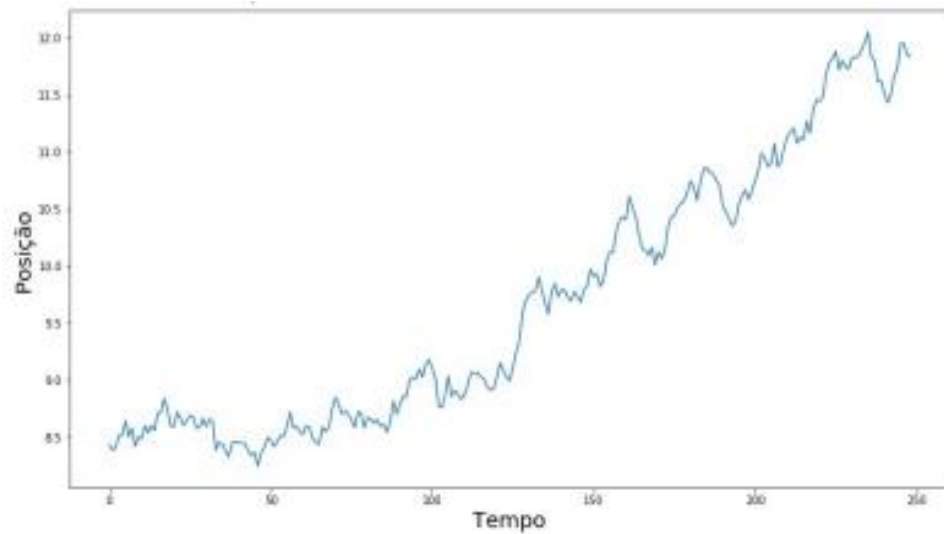
VASCONCELOS, Giovani L.. A guided Walk Wall Street: na introduction to econophysics. **Brazilian Journal Of Physics**, [S.L.], v. 34, n. 3, p. 1039-1065, set. 2004. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0103-97332004000600002>.

WANG, Felipe Espinosa; VALENTE, Augusto. **Há 110 anos, Einstein ensinava como lidar com trolls**: S.I. 2022. DW: Made for minds. Disponível em: <https://www.dw.com/pt-br/h%C3%A1-110-anos-einstein-ensinava-como-lidar-com-trolls/a-62632872?maca=bram-volltext-brasildefato-30219-html-copypaste>. Acesso em: 30 nov. 2023.

XANDRO. **Blog do Xandro**: hqs. HQs. 200?. Disponível em: <https://blogdoxandro.blogspot.com/2011/06/hqs-mendelevio-13-joao-marcos.html>. Acesso em: 27 jan. 2024.

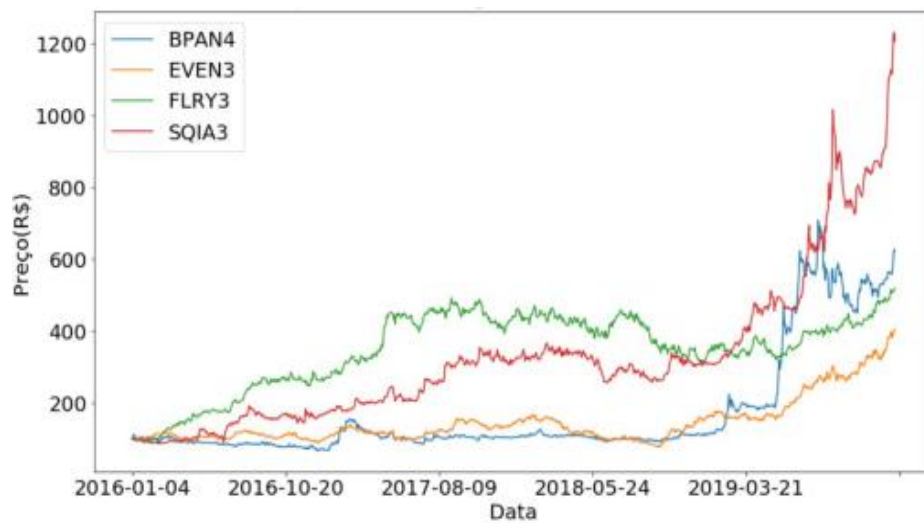
ZANONI, Antonio Augusto. O mangá como arte, história e narrativa: relações entre o .:eu: e o .:outro:. **Revista Angelus Novus**, [S.L.], n. 16, p. 97-114, 9 dez. 2020. Universidade de Sao Paulo, Agencia USP de Gestao da Informacao Academica (AGUIA). <http://dx.doi.org/10.11606/issn.2179-5487.v16i16p1-17>.

## ANEXOS

Anexo – 1: Movimento Browniano Geométrico com  $\mu = 0,0004$  e  $\sigma = 0,01$ 

Fonte: Araújo (2020, p. 18).

Anexo – 2: Histórico de preços diários normalizados por 100 de Banco Pan (BPAN4), Even (EVEN3), Fleury (FLRY3) e Sinqia (SQIA3) de 04/01/2016 até 30/12/2019



Fonte: Araújo (2020, p. 20).