

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
FACULDADE DE CIÊNCIAS ECONÔMICAS
CEDEPLAR

BRUNO AGUIAR CARRARA DE MELO

**A economia capitalista como sistema complexo:
evolução de preços do trigo e emergência de estrutura fractal do mercado**

Belo Horizonte

2024

BRUNO AGUIAR CARRARA DE MELO

**A economia capitalista como sistema complexo:
evolução de preços do trigo e emergência de estrutura fractal do mercado**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Economia da Faculdade de Ciências Econômicas, da Universidade Federal de Minas Gerais, como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutor em Economia.

Orientador: Prof. Dr. Eduardo da Motta e Albuquerque
Co-orientador: Prof. Dr. Leonardo Costa Ribeiro

Belo Horizonte

2024

Ficha Catalográfica

C313e Carrara, Bruno Aguiar.
2024 A economia capitalista como sistema complexo [manuscrito]:
evolução de preços do trigo e emergência de estrutura fractal do
mercado / Bruno Aguiar Carrara de Melo. – 2024.
267 f.: il., gráfs.

Orientador: Eduardo da Motta e Albuquerque.
Coorientador: Leonardo Costa Ribeiro.
Tese (doutorado) - Universidade Federal de Minas Gerais,
Centro de Desenvolvimento e Planejamento Regional.
Inclui bibliografia.

1. Economia – Teses. 2. Trigo – Comércio – Teses. 3.
Demanda (Teoria econômica) – Teses. I. Albuquerque, Eduardo da
Motta e. II. Ribeiro, Leandro Costa. III. Universidade Federal de
Minas Gerais. Centro de Desenvolvimento e Planejamento
Regional. IV. Título.

CDD: 330

Elaborado por Rosilene Santos CRB-6/2527
Biblioteca da FACE/UFMG. – 140/2024



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
FACULDADE DE CIÊNCIAS ECONÔMICAS
CENTRO DE DESENVOLVIMENTO E PLANEJAMENTO REGIONAL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ECONOMIA

FOLHA DE APROVAÇÃO

A ECONOMIA CAPITALISTA COMO SISTEMA COMPLEXO: EVOLUÇÃO DE PREÇOS DO TRIGO E EMERGÊNCIA DE ESTRUTURA FRACTAL DO MERCADO

BRUNO AGUIAR CARRARA DE MELO

Tese de Doutorado defendida e aprovada, no dia onze de julho de dois mil e vinte e quatro, pela Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em Economia da Universidade Federal de Minas Gerais constituída pelos seguintes professores:

Prof. Eduardo da Motta e Albuquerque (orientador) (Cedeplar/FACE/UFMG)

Prof. Leonardo Costa Ribeiro (coorientador) (Cedeplar/FACE/UFMG)

Prof. Hugo Eduardo Araujo da Gama Cerqueira (Cedeplar/FACE/UFMG)

Prof^a. Márcia Siqueira Rapini (Cedeplar/FACE/UFMG)

Prof. Américo Tristão Bernardes (Universidade Federal de Ouro Preto)

Prof. Carlos Bianchi (Universidad de la República de Uruguay)

Belo Horizonte, 11 de julho de 2024.



Documento assinado eletronicamente por **Hugo Eduardo Araujo da Gama Cerqueira, Professor do Magistério Superior**, em 12/07/2024, às 11:48, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Leonardo Costa Ribeiro, Professor do Magistério Superior**, em 12/07/2024, às 13:00, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Eduardo da Motta e Albuquerque, Professor do Magistério Superior**, em 12/07/2024, às 13:44, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Marcia Siqueira Rapini, Professora do Magistério Superior**, em 12/07/2024, às 15:17, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Carlos Federico Bianchi Pagola, Usuário Externo**, em 17/07/2024, às 09:45, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Américo Tristão Bernardes, Usuário Externo**, em 17/07/2024, às 15:59, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.ufmg.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **3373807** e o código CRC **58434381**.

AGRADECIMENTOS

Aos orientadores Eduardo da Motta e Albuquerque e Leonardo Costa Ribeiro pela inspiração, direcionamento e apoio em todas as fases do estudo. Contar com orientadores generosos e abertos ao diálogo torna o aprendizado prazeroso e o desafio mais leve. Esta tese não seria possível sem eles.

Aos membros da banca de avaliação Márcia Siqueira Rapini, Hugo da Gama Cerqueira, Carlos Bianchi e Américo Tristão Bernardes pelas significativas sugestões na qualificação e na fase de projeto e pela disposição em avaliar a tese.

À UFMG pela formação acadêmica e pelo ambiente favorável ao desenvolvimento.

A meus pais, Antônio Afonso e Eneida, por propiciarem os fundamentos para meu desenvolvimento pessoal, sempre apoiando minhas escolhas.

A Renata e Lucas, pela amizade e pela convivência estimulante nas várias fases da vida.

À Paula, pelo amor, carinho e companheirismo em todos os momentos.

Ao Filipe e ao Henrique, pela alegria de participar de suas vidas e por me ensinarem na prática que tudo se transforma.

Aos amigos, pela relação de confiança e pelas conversas instigantes.

À Lucélia, Luci, Nina, Edilon, Guilherme e Silvio pela condição de dedicar tempo aos estudos.

RESUMO

O estudo da economia como um sistema complexo exige considerar os efeitos das influências nas decisões tomadas pelos agentes econômicos. Estas decisões impactam o desempenho agregado e a propagação de perturbações, que por sua vez dependem da organização do sistema. Processos interativos recursivos podem levar à formação de redes com características fractais, exibindo semelhanças e detalhes em diversas escalas. Ocorre a emergência de grupos com correlações (sincronização) que possibilitam, por exemplo, a especialização do lado da oferta e comportamentos coletivos na demanda. Séries temporais de variáveis agregadas do sistema apresentam efeitos de memória e não linearidades devido à propagação de eventos em cadeia de *feedbacks*. Essas características são incompatíveis com análises que adotam o equilíbrio como pressuposto. Esta tese buscou avaliar se a economia capitalista se comporta como um sistema complexo e, caso afirmativo, como tal abordagem contribui para a compreensão do mercado. Para isso, foram discutidos conceitos e instrumentos de sistemas complexos e suas aplicações à economia. Espectros de transformada de Fourier e expoentes de Hurst de séries de preços do trigo desde 1264 indicaram assinaturas de sistemas complexos a partir do fim do séc. XIX, com uma longa transição que se intensificou com a Revolução Industrial. A análise do capitalismo contemporâneo indicou diferenças entre períodos de ordem econômica e de transições entre ordens. Durante as ordens, ou períodos com instituições e estruturas de mercado estabelecidas, há multifractalidade, com quebra da invariância na escala temporal: persistência no curto prazo, com tendência de reforço no sentido das variações, e anti-persistência no longo prazo, com crises sistêmicas e reversões abruptas. Há intermitência, isto é, períodos relativamente estáveis alternados por outros que concentram volatilidade. Já em transições de ordens, o longo prazo se comporta como o curto prazo, provavelmente devido à ruptura institucional e perda de conexões que ampliam a incerteza e impedem a adoção de horizontes mais longos para a tomada de decisões. Um levantamento histórico contribuiu para associar os resultados à evolução do mercado do trigo e para a compreensão dos processos subjacentes. Foram elaborados esquemas para ilustrar a emergência da estrutura fractal do mercado em diferentes escalas espaciais (local, regional, nacional e global) e ao longo da cadeia produtiva. Por fim, a economia capitalista como sistema complexo foi discutida teoricamente considerando a diversidade de agentes, tipos de relação, influências mútuas, mecanismos de auto-organização e de criticalidade auto-organizada. Foram destacados os efeitos de rendimentos crescentes, inovações e instituições associados a circularidades cumulativas que impõem dinâmicas fora do equilíbrio e mudanças qualitativas.

Palavras-chave: sistema complexo; complexidade; rede; fractal; mercado; preço; trigo.

ABSTRACT

The study of the economy as a complex system requires considering the effects of influences on decisions made by economic agents. These decisions impact aggregate performance and the propagation of disturbances, which in turn depend on the organization of the system. Recursive interactive processes can lead to the formation of networks with fractal characteristics, exhibiting similarities and details at different scales. There is the emergence of groups with correlations (synchronization) that enable, for example, specialization on the supply side and collective behaviors in demand. Temporal series of aggregated variables within the system exhibit memory effects and nonlinearities due to the propagation of feedback chain events. These characteristics are incompatible with equilibrium-based analyses. This doctoral thesis aimed to evaluate whether capitalist economics can be considered a complex system and, if so, how this perspective contributes to our understanding of the market. The study discussed complex systems concepts and tools and applied them to economics. By analyzing the price series of wheat dating back to 1264 using Fourier transform spectrum and Hurst exponent techniques, signatures of complex systems were identified starting from the late 19th century, with a long transition that intensified with the Industrial Revolution. The analysis of contemporary capitalism reveals distinctions between periods of economic order and transitions between orders. During orderly periods, characterized by established institutions and market structures, multifractality emerges. In the short term, there is persistence with a tendency to reinforce variations, while in the long term anti-persistence prevails, with systemic crises and abrupt reversals. Intermittency occurs, with relatively stable periods alternating with high volatility. During order transitions, the long term behaves similarly to the short term. This behavior likely results from institutional ruptures and the loss of connections, which amplify uncertainty and hinder the adoption of longer decision-making horizons. Historical surveys have contributed to associating these findings with the evolution of the wheat market and understanding the underlying processes. Schematic diagrams were developed to illustrate the emergence of the market's fractal structure across different spatial scales (local, regional, national, and global) and along the production chain. Finally, the economy as a complex system was discussed theoretically considering the diversity of agents, types of relationships, mutual influences, mechanisms of self-organization and self-organized criticality. The effects of increasing incomes, innovations and i associated with cumulative circularities that impose out-of-equilibrium dynamics and qualitative changes were highlighted.

Keywords: complex system; complexity; network; fractal; market; price; wheat.

SUMÁRIO

| | |
|---|----|
| 1 INTRODUÇÃO | 11 |
| 2 SISTEMAS COMPLEXOS E INSTRUMENTAL DE ANÁLISE | 17 |
| 2.1 Introdução..... | 17 |
| 2.2 Sistemas Complexos..... | 18 |
| 2.2.1 Sistemas complexos na física..... | 18 |
| 2.2.1.1 Formação de estruturas devido à variabilidade de condições locais | 18 |
| 2.2.1.2 Modelo de Ising: criticalidade, transição de fase e emergência | 18 |
| 2.2.1.3 Montes de areia: criticalidade auto-organizada..... | 21 |
| 2.2.1.4 Caos: alta sensibilidade às condições iniciais | 22 |
| 2.2.1.5 Auto-organização, estruturas com variações, hierarquia e intermitência..... | 23 |
| 2.2.2 Sistemas complexos adaptativos: evolução com novidades endógenas | 25 |
| 2.2.2.1 Teoria da evolução e sistemas complexos adaptativos | 26 |
| 2.2.2.2 Homeostasis e hierarquia de nível..... | 26 |
| 2.2.2.3 Princípio da Rainha Vermelha: competição e coevolução | 29 |
| 2.2.3 Sistemas humanos: racionalidade limitada e instituições | 30 |
| 2.2.3.1 Racionalidade limitada | 30 |
| 2.2.3.2 Métodos indutivos em contextos interativos: El Farol..... | 31 |
| 2.2.3.3 Instituições..... | 32 |
| 2.2.4 Redes: mundo pequeno, sincronização e rede sem escala | 34 |
| 2.2.5 Modelos computacionais com algoritmos recursivos | 38 |
| 2.2.6 Sistemas complexos na economia..... | 40 |
| 2.2.6.1 Instituto Santa Fé..... | 40 |
| 2.2.6.2 Inovações como perturbações endógenas..... | 42 |
| 2.2.6.3 Mercado e outros mecanismos de organização na economia capitalista..... | 43 |
| 2.3 Instrumental de análise de sistemas complexos | 47 |
| 2.3.1 Distribuição de variações | 48 |
| 2.3.2 Dimensão Fractal | 51 |
| 2.3.3 Expoente de Hurst..... | 53 |
| 2.3.4 Espectro de frequências da Transformada de Fourier..... | 56 |
| 2.4 Conclusão | 63 |
| 3 ESTUDO EMPÍRICO DE SÉRIES DE PREÇOS COM INSTRUMENTAL DE SISTEMAS COMPLEXOS | 66 |
| 3.1 Introdução..... | 66 |
| 3.2 Transição para sistema complexo: série anual de 1264 a 1996..... | 68 |
| 3.2.1 Espectro de frequências da Transformada de Fourier..... | 69 |
| 3.2.2 Expoente de Hurst..... | 73 |

| | | |
|----------|--|------------|
| 3.2.3 | Expoentes de Hurst e de Fourier considerando multifractalidade | 75 |
| 3.2.4 | Comparação entre períodos históricos | 78 |
| 3.3 | Economia capitalista como sistema complexo: séries mensais | 81 |
| 3.3.1 | Preços do trigo em Chicago de 1842 a 1943 | 81 |
| 3.3.2 | Índice de Preços ao Produtor: Trigo de 1947 a 2021 | 84 |
| 3.4 | Conclusões | 88 |
| 4 | HISTÓRIA DO MERCADO DO TRIGO | 93 |
| 4.1 | Introdução: | 93 |
| 4.2 | Idade Média | 93 |
| 4.3 | Idade Moderna | 96 |
| 4.4 | Idade Contemporânea | 105 |
| 4.4.1 | Economia agrícola exportadora: 1760s a 1803 | 109 |
| 4.4.2 | Restrições ao comércio internacional de grãos: 1803 a 1846 | 113 |
| 4.4.3 | Abertura ao comércio internacional de grãos: 1846 a 1873 | 116 |
| 4.4.4 | Estruturação do comércio internacional de grãos: 1873 a 1914 | 128 |
| 4.4.5 | Intervenção estatal em tempos de crises: 1914 a 1945 | 142 |
| 4.4.6 | Globalização com hegemonia dos EUA e Guerra Fria: 1945 a 1973 | 146 |
| 4.4.7 | Crises do trigo e do petróleo: 1973 a 1995 | 155 |
| 4.4.8 | Globalização com grandes corporações: a partir de 1995 | 160 |
| 4.5 | Conclusões | 170 |
| 5 | ESTRUTURAS DO MERCADO DO TRIGO AO LONGO DA HISTÓRIA | 173 |
| 5.1 | Mercado do trigo nas Idades Média e Moderna | 175 |
| 5.1.1 | Idade Média (até séc. XV) | 175 |
| 5.1.2 | Idade Moderna (séc. XVI a XVIII) | 179 |
| 5.2 | Transição para sistema complexo | 184 |
| 5.3 | Estruturas de mercado durante ordens econômicas | 186 |
| 5.3.1 | Primeiro Regime Alimentar: ordem britânica (1873 a 1914) | 186 |
| 5.3.2 | Segundo Regime Alimentar: ordem estadunidense (1945 a 1973) | 192 |
| 5.3.3 | Terceiro Regime Alimentar: ordem corporativa (1995 –) | 198 |
| 5.4 | Conclusões | 203 |
| 6 | SISTEMA ECONÔMICO COMPLEXO E ADAPTATIVO | 206 |
| 6.1 | Introdução | 206 |
| 6.2 | Organização: micro – meso – macro | 207 |
| 6.3 | Agentes e relações | 209 |
| 6.4 | Auto-organização e emergência | 214 |
| 6.4.1 | Mecanismo de preços | 216 |
| 6.4.2 | Mecanismo de concorrência com seleção pelo lucro | 220 |
| 6.4.3 | Mecanismo de crédito | 221 |
| 6.4.4 | Mecanismos da demanda | 222 |

| | |
|--|------------|
| 6.4.5 Outros mecanismos: firmas, Estados e influências sociais | 224 |
| 6.5 Circularidades cumulativas e criticalidade auto-organizada | 225 |
| 6.6 Estrutura de mercado fractal..... | 229 |
| 7 CONCLUSÃO..... | 233 |
| REFERÊNCIAS | 240 |
| APÊNDICE I – OUTRAS SÉRIES ANUAIS DE PREÇOS DO TRIGO..... | 248 |
| A.1. Clark (2003), de 1260 a 1914 na Inglaterra | 248 |
| A.2. Jacks (2019), de 1850-2020 nos EUA..... | 249 |
| APÊNDICE II – SÉRIES DE PREÇOS DE OUTRAS COMMODITIES..... | 252 |
| APÊNDICE III –EVENTOS QUE AFETARAM OS PREÇOS DO TRIGO APÓS 1770.. | 265 |

1 INTRODUÇÃO

A economia está sujeita a frequentes transformações que impactam relações em diversas escalas e resultam em evolução organizacional. Mas, apesar da multiplicidade de fatores associados e de suas interrelações dinâmicas, a análise econômica adota simplificações e suposições na tentativa de captar a essência de processos e para fazer previsões.

Especialmente após a revolução marginalista, o esforço de reduzir a economia a funções matemáticas bem comportadas e manipuláveis exigiu fortes pressupostos associados a linearidade, continuidade e convexidade. Modelos com agentes representativos, racionais, que fazem uso do método de otimização sujeita a restrições e com independência na tomada de decisão foram adotados para viabilizar a transição direta do micro para o macro, por meio da agregação linear de comportamentos individuais. Sob essas condições, seria possível obter solução de equilíbrio único e estável e prever resultados após choques tidos como exógenos em análises de estática comparativa.

Tal método permitiu avanços, mas também gerou entraves. Afinal, conclusões e previsões dependem dos pressupostos adotados. A incerteza associada ao conhecimento imperfeito em um mundo dinâmico e com frequentes novidades não teve a devida consideração, conferindo baixa reputação às previsões de economistas. Políticas econômicas apoiadas em pressupostos simplistas levaram a efeitos indesejados.

Na tentativa de conferir mais realismo à teoria econômica, modelos foram modificados através da adição de parâmetros, mas mantendo os fundamentos básicos. Mesmo autores que percebiam evolução com mudanças qualitativas viam-se presos a grilhões por não serem capazes de abandonar princípios como reducionismo e construcionismo, racionalidade com otimização e equilíbrio.

A análise empírica da economia também tem fundamentos frágeis, já que a estatística padrão funciona melhor sob suposições de aleatoriedade, independência e distribuição normal das variáveis. De acordo com o Teorema do Limite Central (ou Lei dos Grandes Números), ao agregar dados, a distribuição da média tende à curva gaussiana (normal) com o aumento do tamanho da amostra. As variáveis são consideradas aleatórias, com mesma distribuição de probabilidade e mutuamente independentes (independentes e identicamente distribuídas – iid).

Mas muitas variáveis não exibem distribuição normal, seja pela maior curtose (pico mais alto e estreito além de cauda pesada) ou mesmo distribuição em lei de potência, em que a variância não é bem definida. Nesses casos, eventos extremos são mais prováveis. Mas, para que a análise estatística padrão possa ser aplicada, é habitual descartar tais eventos da amostra, considerando-os atípicos (*outliers*).

O mundo real é caracterizado por imperfeições, variações bruscas, alternância de períodos de relativa estabilidade com outros conturbados, correlação temporal e transformações estruturais. Por se tratar de um sistema formado por agentes capazes de iniciativa e de aprendizado e sujeito a movimentos produzidos pela interrelação entre fatores naturais, tecnológicos, sociais e políticos, a economia evolui apresentando dinâmica endógena. Em vez de decisões ótimas que levam ao equilíbrio, a economia parece ser conduzida por ações e reações em ambiente de incerteza, muitas vezes em processos de tentativa e erro, que resultam em efeitos associados a memória (correlação temporal), invalidando os pressupostos de aleatoriedade e independência.

Mesmo em um contexto em que prevalece uma ordem econômica, com instituições consolidadas que reduzem incerteza e favorecem relações, há frequentes novidades que podem ser amortecidas ou ampliadas a depender das reações. Não-linearidades desconsideradas pela teoria ortodoxa, associadas a rendimentos crescentes ou a influência de grupos, podem impedir o suposto equilíbrio e produzir momentos críticos recorrentes marcados por imprevisibilidade.

Em algumas circunstâncias, há crises sistêmicas e falências em série. Em tais situações, ocorrem redistribuição de poder e de riqueza e mudanças de hábitos que condicionam trajetórias futuras. Após adaptações às novidades, emerge uma nova organização dos agentes econômicos em agrupamentos com regras relacionais (instituições) e correlações comportamentais. Também pode haver períodos de ruptura da ordem estabelecida (*turning points*) devido à perda de confiança nas instituições. Portanto, limitar-se a certas condições bem comportadas de curto prazo na análise econômica implica em desconsiderar os efeitos de transições essenciais para a compreensão da dinâmica evolutiva do sistema econômico.

A economia capitalista se caracteriza pela coordenação descentralizada através das relações de mercado, em uma complexa e mutante relação com Estados e outras instituições, como firmas, universidades e o sistema financeiro. Uma infinidade de agentes – distribuídos em diferentes locais, atividades e associações – estabelecem entre si vínculos de graus variados, conferindo flexibilidade à rede de influências mútuas. Enquanto alguns agentes conquistam posições centrais na rede, com muitas conexões (transações comerciais) que favorecem o acesso a novidades e o exercício de poder econômico, outros ocupam posições periféricas.

Também é preciso considerar a heterogeneidade na análise econômica. Afinal, como explicar trocas entre agentes semelhantes, com acesso às mesmas informações relevantes e aplicando os mesmos métodos decisórios como ocorre com agentes representativos da economia ortodoxa? Trocas estão relacionadas à diversidade: de atividades desempenhadas, de

necessidades, de características individuais, de escalas, de horizontes temporais, de interesses, de influências, de acesso a informações, de atenção, de modelos mentais, de estratégias etc.

Se muitas das relações sociais ocorrem entre semelhantes (família, amigos, colegas de trabalho), no mercado prevalecem transações entre diferentes. Essas relações podem ser desde esporádicas, com vínculo fraco, até regulares, com fidelização ou contratos de longo prazo. As relações econômicas envolvem não apenas competição, pela presença de conflitos de interesses, mas também cooperação entre agentes que estabelecem relações duradouras baseadas em reputação. Esse tipo de relação envolve interdependência e reciprocidade e permite a especialização e ampliação da produtividade. Em vez de um jogo de soma zero associado à competição, relações cooperativas podem resultar em desenvolvimento conjunto e mudanças qualitativas em agrupamentos de parceiros comerciais.

Tais questões levantam a suspeita de que se deve abandonar os princípios básicos da teoria econômica ortodoxa para avançar no entendimento da dinâmica da economia capitalista. Em vez do pressuposto do equilíbrio, é preciso adotar uma visão mais abrangente em que o equilíbrio é uma possibilidade dentre outras, que incluem soluções múltiplas, ciclos ou mesmo caos. Ou seja, também é preciso avaliar o comportamento da economia longe do equilíbrio.

Nesse sentido, a análise de sistemas complexos merece atenção como candidata a substituir o paradigma neoclássico. Muitas ideias de autores clássicos ou heterodoxos podem ser interpretadas em termos de complexidade e dinâmica fora do equilíbrio, em que tendências divergentes coexistem e o resultado agregado depende da sincronização dos elementos conforme a conjuntura.

Em sistemas que envolvem agrupamentos (*clusters*), o todo pode ser maior que a soma das partes. Afinal, grupos caracterizam-se por interações internas mais frequentes que favorecem especialização em ambientes relativamente estáveis. E conexões entre grupos podem respeitar diferentes regras relacionais e abranger diversos níveis hierárquicos. Perturbações podem ser amortecidas ou se propagar por todo o sistema a depender das reações de agentes e de agrupamentos. Variáveis agregadas podem apresentar intermitência, com períodos bem comportados alternados com outros de maior volatilidade. Em sistemas complexos, ordem e desordem coexistem.

O problema de pesquisa desta tese foi explorar como a análise de sistemas complexos contribui para a compreensão da evolução econômica e do capitalismo. Foram realizados estudos empíricos com preços e avaliação histórica do mercado de trigo para extrair evidências que permitissem desenvolver uma abordagem teórica alternativa àquela que assume equilíbrio.

O trigo constitui a base alimentar de muitas civilizações e envolve diversas atividades produtivas, de distribuição e de consumo. Pela relação com o custo de vida e com o salário, o trigo pode ser considerado um insumo indireto, intermediado pelo trabalho, de todos os setores da economia. Portanto, se a economia capitalista se comportar como um sistema complexo, espera-se que o preço do trigo medido em uma parte muito conectada da rede de mercado seja uma variável agregada que capte diversas perturbações no emaranhado de redes transacionais de setores interrelacionados.

Para examinar a questão, foi preciso testar as seguintes hipóteses: 1) a economia capitalista moderna se comporta como um sistema complexo e adaptativo; 2) séries de preços no capitalismo apresentam assinaturas de sistemas complexos; 3) a complexidade econômica tem relação com a estrutura de rede sem escala do mercado.

Sendo o objetivo geral avaliar se a economia capitalista se comporta como um sistema complexo e como essa abordagem contribui para a compreensão do mercado, foram definidos os seguintes objetivos específicos:

- 1) Discutir sistemas complexos e seu instrumental de análise, assim como a aplicabilidade à economia;
- 2) Realizar análise empírica de séries históricas de preços do trigo para verificar se são observadas assinaturas de sistemas complexos na economia;
- 3) Avaliar a história do mercado do trigo e de mercados de forma geral, destacando as mudanças estruturais que evidenciam limites de abordagens que assumem equilíbrio;
- 4) Avaliar o papel das conexões de mercado, da estrutura de rede e de fatores de não linearidade para a complexidade do sistema econômico.

Para analisar a economia capitalista e o mercado com a abordagem de sistemas complexos, foram adotadas as seguintes metodologias:

- a) Revisão bibliográfica sobre sistemas complexos nas ciências naturais e na economia e sobre seu instrumental de análise;
- b) Estudo empírico, com aplicação de instrumentos de análise de sistemas complexos em séries temporais de preços do trigo: distribuição de variações; transformada discreta de Fourier (DFT) para verificar distribuição de frequências em lei de potência; e expoente de Hurst, associado a dimensão fractal e correlação temporal.
- c) Revisão bibliográfica sobre a história econômica – e do mercado do trigo em especial – para avaliar a evolução de mercados e as transformações estruturais e para a compreensão dos resultados empíricos;

d) Análise da economia capitalista moderna como sistema complexo, destacando a emergência da estrutura de rede fractal do mercado.

Além desta introdução, a tese discute a abordagem de sistemas complexos, realiza análises empíricas com preços do trigo, apresenta a história do mercado do trigo e faz considerações teóricas destacando a relevância das relações entre elementos para a dinâmica e para resultados agregados, assim como as estruturas de rede.

O capítulo 2 traz os conceitos teóricos de sistemas complexos, desenvolvimentos e aplicações nas ciências naturais e na economia. Também são apresentados seus instrumentos de análise: distribuição de variações; distribuição de amplitudes de frequências de transformada de Fourier; expoente de Hurst; dimensão fractal; e correlação temporal.

O capítulo 3 aplica esses instrumentos a séries de preços do trigo para investigar se há sinais de sistema complexo e se houve mudanças ao longo do tempo. O objetivo é verificar se a economia se comporta como um sistema complexo e, em caso afirmativo, se é possível localizar pontos de virada (*tipping points*) de forma a associá-los a eventos ou processos históricos. Ainda buscou-se avaliar o que os resultados indicam sobre os processos subjacentes à economia capitalista e ao mercado.

O capítulo 4 analisa a história do mercado do trigo para tentar entender os resultados do capítulo empírico e servir de base para considerações teóricas. Destacam-se as transformações ao longo do tempo, em consonância com outros mercados interrelacionados, que indicam evolução fora do equilíbrio. Mudanças em qualquer um dos setores da cadeia produtiva (produção, processamento, distribuição, comercialização e consumo) exigem adaptações nos demais. Períodos de relativa estabilidade, quando rotinas produtivas e hábitos de consumo se estabelecem, alternam-se com outros de reorganização, quando contradições latentes se manifestam em crises sistêmicas, alterando processos produtivos, tipos de mercadorias, formas de comercialização e preferências de consumo. Configurações de atividades econômicas, de agentes e de suas relações se consolidam e se modificam, com alternância do balanço de poder conforme os gargalos de cada época. Além de processos globais, conjunturas locais e regionais afetam a busca por alternativas e a seleção de estratégias, produzindo variedade no sistema.

O capítulo 5 esquematiza a evolução do mercado do trigo em termos de estrutura de rede para associar a complexidade econômica à estrutura de rede fractal. São avaliadas diferentes escalas espaciais do mercado e as relações entre os setores da cadeia produtiva.

Por fim, o capítulo 6 explora alternativas teóricas àquelas baseadas nos princípios de reducionismo e construcionismo, racionalidade com otimização e equilíbrio. Tendo como referência as abordagens de sistemas complexos e a teoria evolucionária, é apresentada uma

visão que comporta dinâmicas não-lineares, endógenas e fora do equilíbrio observadas em séries temporais de variáveis agregadas e na história econômica.

Caso se confirme que a economia capitalista se comporta como um sistema complexo, em vez de descrever estados da economia a partir de modelos de otimização, deve-se buscar compreender os processos recursivos associados à evolução fora do equilíbrio. É preciso levar em conta a diversidade do sistema – considerando os diferentes tipos existentes e suas distribuições – e as influências mútuas. A organização entre elementos, com a configuração de agrupamentos de variados tamanhos e características, é determinante para a transmissão de novidades e para a emergência de propriedades coletivas.

2 SISTEMAS COMPLEXOS E INSTRUMENTAL DE ANÁLISE

2.1 Introdução

Diante de questões complicadas, a ciência costuma adotar a hipótese reducionista, dividindo o problema em seus elementos constituintes. Mas Philip Anderson, em seu artigo seminal “*More is different: broken symmetry and the nature of the hierarchical structure of science*”, sugeriu que “a habilidade de reduzir tudo a leis fundamentais simples não implica na habilidade de começar com essas leis e reconstruir o universo” (ANDERSON, 1972, p. 393). Isto é, a hipótese científica reducionista não implica necessariamente em hipótese construcionista, quando é possível reproduzir a realidade pela mera soma das partes. O comportamento de agregados grandes e complexos de partículas elementares não pode ser extrapolado das propriedades de poucas partículas, já que novas propriedades emergem a cada nível de complexidade devido à organização entre os elementos. Mudança quantitativa produz diferenciação qualitativa, com transições de fase e quebras de simetria em pontos críticos entre ordem e desordem. “O todo não se torna apenas mais, mas muito diferente da soma das partes” (ANDERSON, 1972, p. 395).

Com a computação, que permite acompanhar a evolução de sistemas compostos por muitos elementos que interagem, através de modelos recursivos, o estudo de sistemas complexos progrediu. Além de mera solução de equilíbrio estável, sistemas assim modelados podem resultar em múltiplos equilíbrios ou em dinâmicas, como ciclos periódicos, não periódicos e mesmo caos.

A abordagem de sistemas complexos pode contribuir para o entendimento da economia capitalista, deslocando o foco de funções simplificadas que permitem soluções algébricas de equilíbrio para processos com regras simples que geram estruturas complexas e dinâmicas fora do equilíbrio. Trata-se de entender os processos, as regras de interação, as influências mútuas, os mecanismos de organização descentralizada e os tipos de agrupamentos que se formam e que influenciam a estrutura, a propagação de informação e a evolução do sistema.

Como sistemas complexos apresentam dinâmica fora do equilíbrio em vez de equilíbrio estável, o tempo importa. Daí a importância de complementar a análise com embasamento histórico e desenvolvimento teórico que apreenda os processos nas diversas escalas de observação do sistema, que podem ter regras específicas.

A aplicação da economia ortodoxa e da estatística padrão a sistemas complexos leva a equívocos interpretativos e a falhas de previsão, com graves repercussões socioambientais e

para a reputação da disciplina. Caso a economia capitalista se comporte como sistema complexo, é essencial a adoção de abordagens teóricas e de instrumentos de análise adequados.

2.2 Sistemas Complexos

2.2.1 *Sistemas complexos na física*

A partir da década de 1950, surgiram estudos buscando entender propriedades emergentes em sistemas compostos por muitos elementos que apresentavam não linearidades pela forma como esses elementos se organizam.

2.2.1.1 *Formação de estruturas devido à variabilidade de condições locais*

Em 1952, Alan Turing publicou o artigo “*The chemical basis of morphogenesis*” em que discutiu como sistemas originalmente homogêneos podiam desenvolver padrões ou estruturas devido a instabilidades do equilíbrio provocadas por perturbações aleatórias. Esses processos poderiam explicar a formação de manchas em animais, ondas estacionárias em anéis, a filotaxia (como folhas se dispõem ao redor do caule) e mesmo os possíveis mecanismos pelos quais os genes de um zigoto determinam a estrutura anatômica de um organismo, através do desenvolvimento de um embrião.

Turing sugeriu que esses processos envolveriam variações sutis de concentrações de reagentes no sistema que afetariam taxas de reações químicas. Isto é, células capazes de originar diferentes formas eram influenciadas por irregularidades nas condições locais do sistema. A recursividade produziria afastamento exponencial da condição de equilíbrio, levando à formação de estruturas, com quebra de simetria e de homogeneidade, resultando em instabilidade no sistema. (TURING, 1990 [1952])

Apesar da formulação algébrica adotada no artigo citado, Turing apontou para o potencial de uso de computadores e de algoritmos com equações não-lineares para simular os processos, dispensando as suposições simplificadoras de soluções matemáticas.¹

2.2.1.2 *Modelo de Ising: criticalidade, transição de fase e emergência*

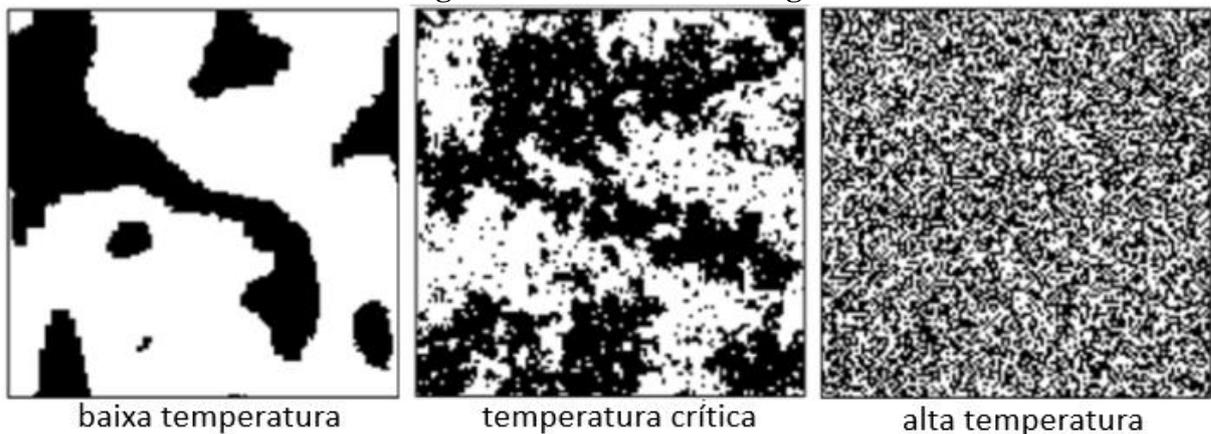
O modelo de Ising, que simula o comportamento de um sistema de material ferromagnético, ilustra a existência de um ponto crítico com transição de fase e propriedades emergentes não triviais. Os elementos desse sistema são átomos, como o ferro, que podem assumir dois estados associados ao alinhamento do dipolo magnético: *spin* dos elétrons para

¹ Apesar de ter indicado aplicação do método computacional ao estudo da filotaxia, Turing foi condenado por homossexualismo no mesmo ano da publicação desse artigo. Para obter liberdade condicional, ele aceitou um tratamento com estrogênio sintético. Dois anos depois, tendo perdido o emprego, paralisado as pesquisas e apresentado deformações associadas ao hormônio, ele se suicidou ao ingerir uma maçã com cianureto.

cima ou para baixo. Além da existência de alternativas de comportamento, o que confere características de complexidade a esse sistema é que o estado que cada elemento assume depende da influência do ambiente, que comporta, simultaneamente, tendências e contratendências de alinhamento.

A Figura 2.1 mostra três estados do sistema. Em condições de baixa temperatura (à esquerda), as influências dos elementos vizinhos na rede regular favorecem alinhamentos de dipolos magnéticos, com a formação de grandes agrupamentos com elementos que se comportam da mesma forma. Quando o alinhamento prevalece, o material apresenta propriedade magnética, como um ímã. Progressivamente, o sistema evolui para um alinhamento completo, com magnetização máxima (positiva ou negativa).

Figura 2.1 – Modelo de Ising²



Fonte: KITZBICHLER, Manfred G. et al. Broadband criticality of human brain network synchronization. **PLoS Computational Biology**, v. 5, n. 3, 2009.

Mas, caso o sistema esteja sujeito a alta temperatura (quadro à direita), a agitação térmica prevalece e impede o alinhamento com vizinhos, o que faz com que os elementos tenham comportamento aleatório. Nesse estado, o magnetismo do material é próximo de zero, como o que ocorre com uma barra de ferro imantada quando aquecida.

Mas, entre essas condições de ordem³ (baixa temperatura) e de desordem⁴ (alta temperatura), existe uma temperatura crítica (quadro do meio) em que a agitação térmica e a força magnética de alinhamento quase se compensam e o sistema se comporta de forma complexa. Nessa situação, ocorre uma transição de fase em que emergem agrupamentos (*clusters*) de todos os tamanhos, com distribuição conforme lei de potência: poucos grandes

² Na figura, as cores preta e branca representam os estados dos *spins* de cada elemento.

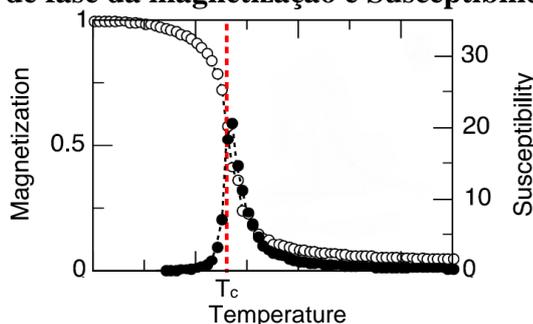
³ Ordem ocorre quando há manutenção da estrutura do sistema, com a presença de correlação de longa distância. Há regularidade espacial ou temporal, com organização entre os elementos.

⁴ Na desordem, há perda de conexões e crises que provocam desestruturação do sistema, sem que haja regularidade.

agrupamentos e muitos pequenos⁵. Os elementos nos agrupamentos apresentam comportamento coletivo, ajustando-se às perturbações de forma coordenada, como em movimentos de manada.

No ponto crítico, ocorre transição de fase com não linearidade, já que uma variação infinitesimal da temperatura provoca grande variação do magnetismo do sistema⁶. Isso ocorre porque o comprimento de correlação entre os elementos do sistema cresce, tornando o sistema altamente correlacionado, o que favorece a transmissão de informações⁷. Passa a haver correlação global no sistema a partir das interações locais. Isto é, uma pequena perturbação pode percolar pelo sistema através de cadeias de eventos que afetam os agrupamentos sucessivamente. Há um pico de susceptibilidade da magnetização (medida da variação do campo magnético: desvio padrão) devido a mudanças na organização dos elementos em diversas escalas. A Figura 2.2 apresenta a transição de fase do módulo da magnetização e o pico de susceptibilidade na temperatura crítica. (RIBEIRO e ALBUQUERQUE, 2023)

Figura 2.2 – Transição de fase da magnetização e Susceptibilidade no Modelo de Ising



Fonte: adaptação a partir de CHIALVO, Dante R. et al. Controlling a complex system near its critical point via temporal correlations. *Scientific reports*, v. 10, n. 1, p. 12145, 2020.

Mas a transição de fase nesse modelo depende de um ajuste externo que submeta o sistema a determinada temperatura crítica. Caso contrário, haverá ou desorganização ou organização completa. Por isso, não é possível considerar o Modelo de Ising como um sistema

⁵ Na criticalidade, o sistema apresenta característica de fractal, com invariância de escala de autossimilaridade, isto é, caso se amplie sucessivamente uma parte do sistema, as propriedades estatísticas de tamanhos de agrupamentos se mantêm. Esse tema é discutido adiante.

⁶ As imagens são estáticas, apesar dos processos dinâmicos. Em condições de alta temperatura (direita), os *spins* se alternam aleatoriamente, como ruído branco. Nas condições de baixa temperatura (esquerda), há lenta evolução dos grandes agrupamentos até que um estado prevaleça em todo o sistema (*spin* para cima ou para baixo: ou branco ou preto). Já na temperatura crítica (meio), devido à simultaneidade entre tendências e contratendências de alinhamento e variabilidade das condições locais, há contínua formação e desagregação de agrupamentos, especialmente entre os menores. Já os maiores agrupamentos tendem a ser mais estáveis, mas com alterações em suas bordas. Eventualmente, os grandes agrupamentos podem inverter o *spin* e a mudança de muitos elementos de uma vez resulta em grande impacto na magnetização, variável agregada do sistema.

⁷ Por esta razão, a ideia da criticalidade é aplicada a campos em que a velocidade de transmissão de informações é relevante, como a neurociência e a economia.

complexo, apesar de haver complexidade na temperatura crítica. (RIBEIRO, 2007)

2.2.1.3 Montes de areia: criticalidade auto-organizada

Mas há sistemas em que há tendência endógena de retorno à situação de criticalidade. Um fenômeno aparentemente simples ilustra esse comportamento: avalanches em montes de areia. Imagine alguém na praia soltando continuamente grãos de areia e formando um monte. A partir de um momento, a depender da inclinação das bordas do monte, surgem avalanches. Após cada avalanche, a contínua adição de grãos faz com que o monte volte gradualmente à inclinação crítica, como ilustra a Figura 2.3. Assim, o ponto crítico é um atrator, conferindo ao sistema uma característica marcante da complexidade: criticalidade auto-organizada, em que ocorre lenta acumulação e eventos de relaxação, como avalanches.⁸

Figura 2.3 – Monte de areia



Fonte: HESSE, Janina; GROSS, Thilo. Self-organized criticality as a fundamental property of neural systems. *Frontiers in systems neuroscience*, v. 8, p. 166, 2014.

Ao criar um modelo de monte, ou pilha, de areia, Bak, Tang e Wiesenfeld (1987, 1988) perceberam que as perturbações (adição de grãos de areia) geram avalanches de todos os tamanhos, distribuídos conforme lei de potência⁹, ou seja, pequenas avalanches são mais comuns, mas também há raras grandes avalanches, que mudam a estrutura do sistema.

Tecnicamente, a criticalidade auto-organizada ocorre quando um sistema dinâmico dissipativo com muitos graus de liberdade opera, por dinâmicas internas, próximo à configuração de mínima estabilidade (configuração crítica) sem que seja preciso um ajuste fino por influência externa. Nessa configuração crítica, perturbações no sistema (acréscimo de areia no monte) podem produzir efeitos (avalanches) de todos os tamanhos, desde pequenos que se dissipam rapidamente até aqueles que percolam pelo sistema (WARD e GREENWOOD, 2007).

⁸ Este modelo de monte de areia popularizou o termo “avalanche” na literatura de sistemas complexos para descrever as não-linearidades provocadas pelas súbitas mudanças no sistema.

⁹ $P(k) \sim k^{-\gamma}$: a probabilidade de certo tamanho de avalanche ($P(k)$) é proporcional ao tamanho de avalanche (k) elevado a γ . Se o expoente γ for entre 1 e 2, esse tipo de distribuição tem variância infinita, o que faz com que a média não seja representativa do sistema. Ou seja, como não há tamanho característico, trata-se de um fenômeno sem escala, em que todos os tamanhos são possíveis, como um fractal.

Sistemas com criticalidade auto-organizada apresentam como assinatura temporal o ruído $1/f$, ou espectro de distribuição de frequências em lei de potência com expoente próximo a -1 , indicando tanto a predominância de baixas frequências como a presença de todas as frequências no sinal ou série temporal¹⁰. As dimensões temporal e espacial se associam através da taxa de propagação dos eventos pelo sistema: o efeito temporal de ruído $1/f$ tem relação com uma estrutura espacial com invariância de escala, com propriedades de autossimilaridade, como um fractal. “A emergência de um estado de criticalidade auto-organizada provê uma conexão entre dinâmicas não lineares, o surgimento de autossimilaridade espacial e ruído $1/f$ de um modo natural e robusto” (BAK *et al.* 1988, p. 364). Tal situação é similar ao fenômeno de turbulência, em que há autossimilaridade tanto no espaço quanto no tempo. Se um agrupamento de estados estáveis mínimos é definido como a região na qual uma pequena perturbação local será propagada, na condição de criticalidade auto-organizada há distribuição de agrupamentos de todos os tamanhos, já que uma perturbação local pode propagar em todas as escalas espaciais, produzindo flutuações temporais de todas as escalas de tempo. (BAK *et al.*, 1987)

Apesar de as perturbações ainda serem exógenas ao sistema¹¹, o modelo de monte de areia permitiu demonstrar que as duas condições necessárias, senão suficientes, na organização espontânea com lei de potência são: interações entre elementos com regras locais; e a aplicação de limiares (*thresholds*), isto é, mudança de estado do elemento caso um limite seja atingido. Além disso, mostrou que alguns sistemas com muitos elementos interagindo podem exibir efeitos de rede, com *feedbacks* positivos resultando em não-linearidades. (MARKOSE, 2005)

2.2.1.4 Caos: alta sensibilidade às condições iniciais

A não-linearidade devido à cumulatividade de efeitos em processos recursivos está associada ao conceito de caos, apresentado por Edward Lorenz no ensaio “*Predictability: does the flap of a butterfly's wing in Brazil set off a tornado in Texas?*” de 1972. Devido à alta sensibilidade às condições iniciais das simulações computacionais da atmosfera, foi relatada a grande dificuldade de previsão meteorológica. Mesmo um sistema de equações com poucas variáveis pode exibir comportamento caótico, em que pequenos erros se acumulam e produzem

¹⁰ Esse tema é discutido adiante, na seção sobre transformada de Fourier com distribuição de amplitudes conforme lei de potência. Como as grandes mudanças (avalanches) são raras e demoram para ocorrer, há maior contribuição de baixas frequências relativas a tendências (acumulação de efeitos), mas também há muitas baixas frequências com menor amplitude associadas às descontinuidades (saltos).

¹¹ Há outros sistemas com perturbações endógenas, como ocorre na ecologia, na sociedade e na economia, devido às inovações tecnológicas.

trajetórias muito diferentes, limitando a previsibilidade ao curto prazo.¹²

Em sistemas caóticos, a não-linearidade ocorre devido às equações que regem o sistema, como é o caso do pêndulo duplo. Mas, em sistemas complexos, a não-linearidade advém da forma que o sistema se organiza, com a formação de estruturas em diversas escalas de observação. (RIBEIRO e ALBUQUERQUE, 2023)

Analisando auto-organização em sistemas físicos (como convecção de líquidos e magnetismo), químicos (oscilação química) e meteorologia, Prigogine (1987) percebeu que novas soluções emergem perto de valores críticos, produzindo bifurcação de trajetórias. Isso ocorre porque a sensibilidade às condições do ambiente é bem maior em situações longe do equilíbrio que em situações de equilíbrio. Nessas situações, flutuações desempenham papel essencial na seleção entre as soluções possíveis, dificultando a previsibilidade. A irreversibilidade do processo de bifurcação implica que estados do sistema também são função da história e não apenas das condições do ambiente.

No caso do modelo de Ising, por exemplo, partindo-se de uma alta temperatura e a reduzindo progressivamente, uma pequena diferença na estrutura do sistema próximo à temperatura crítica pode fazer com que o sistema evolua para magnetização máxima positiva ou negativa. Ou seja, ocorre uma bifurcação da trajetória da variável agregada do sistema (magnetização), sendo o resultado altamente sensível à organização nesse ponto crítico.

2.2.1.5 Auto-organização, estruturas com variações, hierarquia e intermitência

Se desordem e alta sensibilidade às condições iniciais estão presentes, uma característica fundamental de sistemas complexos é a auto-organização descentralizada, ou seja, sem coordenador central. Isso ocorre porque os elementos com alternativas definem seus comportamentos conforme as influências das condições locais do ambiente, que inclui as relações com outros elementos, geralmente vizinhos. Em processos recursivos e com *feedbacks*, a interação repetida pode resultar em sincronização, com elementos agindo em conformidade, configurando agrupamentos.

Esses agrupamentos, ou estruturas mesoscópicas, interagem com outros de escala semelhante, o que produz organização em outro nível de agregação. Tal comportamento se repete em múltiplas escalas, constituindo uma estrutura fractal. Dessa forma, sistemas complexos possuem estrutura com níveis hierárquicos sobrepostos.

Em sistemas muito grandes que contam com variabilidade de condições locais, a auto-

¹² Desde então, as previsões meteorológicas de curto prazo passaram a ser mais confiáveis, por considerarem probabilidades de resultados de várias simulações com condições iniciais próximas.

organização gera estrutura com variações, destacada por Goldenfeld e Kadanoff (1999) como uma característica essencial de sistemas complexos. Um organismo vivo, por exemplo, é complexo por ter muitas partes funcionais, cada uma formada por variações do funcionamento do mesmo código genético.

E a lição essencial é que estruturas complexas costumam ser resultantes de processos interativos e iterativos que seguem regras simples. Assim, em vez de se concentrar na tentativa de compreensão da estrutura complexa do sistema, é preciso focar nos processos de auto-organização subjacentes e na cumulatividade de efeitos que provocam mudanças qualitativas. “A natureza pode produzir estruturas complexas mesmo em situações simples, e pode obedecer a leis simples mesmo em situações complexas” (GOLDENFELD e KADANOFF, 1999, p. 87).

Portanto, sistemas complexos apresentam alguma ordem devido à auto-organização, com formação de estruturas que limitam as possibilidades de evolução do sistema, por dependerem da trajetória histórica. Isso confere característica de não-ergodicidade a sistemas complexos, ou seja, nem todas as configurações são possíveis, como ocorre em sistemas estocásticos. Apesar da imprevisibilidade no longo prazo associada à incerteza quanto às perturbações e ao caos, é possível inferir possibilidades de desenvolvimento do sistema, especialmente no curto prazo, tendo em vista a ordem e a estrutura corrente do sistema.

Para entender a complexidade é preciso se concentrar no nível correto de descrição, conforme o objeto de estudo. Afinal, agrupamentos de níveis mais baixos podem ser considerados como “elementos” em uma análise mais agregada. Mas é preciso considerar que há relações entre níveis de escalas próximas, de forma a evitar excesso de simplificação. Assim, pode ser relevante capturar as influências recíprocas entre os níveis, além de diversidades nos agrupamentos dos níveis adjacentes que podem induzir reestruturação das relações no nível em questão.¹³ Mas, como a inclusão de muitos processos e parâmetros pode dificultar o entendimento, é preciso tentar separar as características de escala universal daquelas específicas da escala em questão. Deve-se perguntar “quais são as não-linearidades ou não-localidades mais simples que devem estar presentes?” (GOLDENFELD e KADANOFF, 1999, p. 88).

As interações a nível local geralmente ocorrem sem informação global, isto é, decisões são tomadas com informações restritas. Mas a estrutura de relações de sistemas complexos

¹³ Por exemplo, ao se analisar as relações geopolíticas entre países, pode ser preciso considerar o nível anterior com a composição partidária de cada país que pode implicar em mudanças de políticas externas, caso haja alternância de poder. E, um nível acima, deve-se ter em conta que as relações entre países são moldadas pelas alianças históricas, inclusive com formação de blocos e acordos formais.

permite eventuais disseminações de algumas informações pelo sistema (avalanches). Quando isto ocorre, quase todos usam o mesmo tipo de informação, resultando em crises sistêmicas.¹⁴

Por isso, no que se refere à dinâmica em sistemas complexos, destaca-se a intermitência, isto é, a alternância entre períodos de relativa estabilidade e outros agitados, com a ocorrência concentrada de grandes eventos, ou saltos. A intermitência tem relação com acumulações seguidas por avalanches, como crises, que geram bifurcações na trajetória associadas a reorganizações do sistema. Mas, devido à estrutura em níveis hierárquicos, há saltos de todos os tamanhos, sendo os maiores menos frequentes.

Sistemas complexos formam estruturas, e essas estruturas variam muito em tamanho e duração. Suas distribuições de probabilidade raramente são normais, de modo que eventos excepcionais não são tão raros. (GOLDENFELD e KADANOFF, 1999, p. 88)

2.2.2 Sistemas complexos adaptativos: evolução com novidades endógenas

O efeito da organização entre os elementos na emergência de propriedades agregadas ganha relevância em sistemas vivos, em que há geração endógena de novidades, como ocorre em sistemas biológicos, sociais e econômicos por meio de mutação, combinação ou inovações comportamentais ou técnicas. Em vez de poucas alternativas de comportamento, como o binário modelo de Ising, elementos capazes de adaptação conforme as circunstâncias desenvolvem novas características, procedimentos e tipos de relação com outros elementos. Isso faz com que sistemas vivos evoluam fora do equilíbrio e não tenham regras rígidas nem claras. Processos adaptativos conforme as circunstâncias locais resultam em variedade no sistema, tanto no que diz respeito às peculiaridades dos agentes quanto de agrupamentos, seja pela exploração de nichos ou pelo aprofundamento da especialização em atividades.

Sistemas Complexos Adaptativos (*Complex Adaptive Systems – CAS*) são caracterizados pela capacidade de produzir novidades, ou surpresas, sendo impossível antecipar o padrão de ordem global, já que as propriedades macro do sistema são emergentes, derivadas de auto-organização. Os principais exemplos são a evolução biológica, o sistema imunológico e o sistema capitalista com crescimento acompanhado de mudanças estruturais devido a inovações. Podem ser identificados os seguintes fatos estilizados de CAS: memória longa; *path dependence*; *lock ins*; efeitos de redes; não linearidades resultantes de cálculos auto-referenciados com limiares (*thresholds*); e distribuição em lei de potência. (MARKOSE, 2005)

¹⁴ Agradeço ao Prof. Américo Bernardes por esta observação.

2.2.2.1 Teoria da evolução e sistemas complexos adaptativos

Para Allen (2014), a abordagem de sistemas complexos adaptativos é compatível com o pensamento evolucionário, já que ambos envolvem processos internos contínuos de exploração, experimentação e inovação. Em sistemas sem fortes mecanismos de repressão e conformidade, haverá evolução, inovação e mudança, com a emergência de novas estruturas, capacidades e características, implicando em incerteza que dificulta a previsibilidade.

Em contextos de risco ou de escassez, agentes com origens semelhantes desenvolvem relações de cooperação, associando-se em agrupamentos para ampliar as chances de sobrevivência e de reprodução. Interações repetidas levam a especialização interna, que melhora o desempenho e amplia as chances de sucesso coletivo. Mas a especialização também implica em interdependência, que requer manutenção de um ambiente favorável à integridade do agrupamento. Assim, são desenvolvidos mecanismos de proteção do agrupamento diante de súbitas perturbações externas, como barreiras e redundância, que conferem relativa estabilidade e a continuidade dos processos internos, mesmo se houver falhas internas. Em condições de estabilidade, há aprofundamento da especialização. Mesmo em caso de crises devido a perturbações disruptivas, a diversidade contribui para a robustez, ao ampliar as possibilidades de reorganização conforme as novas condições. Por isso, sistemas complexos adaptativos são favorecidos pela evolução, tornando-se comuns na natureza e na sociedade.

Em sistemas vivos, elementos heterogêneos são dotados de sensores para captar informações, de capacidade de processamento – determinantes na seleção do comportamento (estado) conforme estímulos locais – e de mecanismos de comunicação e de ação. Em caso de uma nova ação de algum agente (perturbação endógena), outros podem reagir, seja em contraposição ou em adaptação ao novo contexto. A depender da forma de reação (*feedback*), a perturbação pode ser absorvida localmente ou se propagar pelo sistema, resultando em efeitos não-lineares em variáveis agregadas do sistema.

2.2.2.2 Homeostasis e hierarquia de nível

Para simular processos de sistemas vivos, o neurocientista e matemático Ashby (2004 [1962]) foi um dos pioneiros a aplicar a moderna teoria da complexidade à cibernética, construindo organismos sintéticos com poucas variáveis essenciais de forma a manter a operação em uma ampla variedade de condições ambientais. Em caso de superação de limites aceitáveis à *homeostasis*¹⁵, havia auto-organização das partes pelo rearranjo de suas conexões

¹⁵ Condição de relativa estabilidade de sistemas para realização de funções adequadamente, havendo resistência à mudança pela manutenção de variáveis essenciais em faixas aceitáveis.

internas de forma a manter a operacionalidade do sistema. O autor concluiu que, por haver diversidade de possibilidades assim como restrições, as alternativas disponíveis e a condicionalidade da seleção entre elas são determinantes para o resultado agregado, havendo estreita relação entre a comunicação entre as partes e a condicionalidade da seleção das alternativas disponíveis.

A partir dessa constatação, Herbert Simon discutiu propriedades não triviais exibidas em sistemas complexos¹⁶ no artigo “*The architecture of complexity*” de 1962. Simon destaca a relevância de se avaliar o comportamento desses sistemas considerando conceitos como *feedback* e *homeostasis* e de analisar a adaptação em termos da teoria de informação seletiva. No artigo, Simon discute quatro aspectos da complexidade:

- 1) A complexidade toma a forma de hierarquia de nível, com o sistema complexo sendo composto por subsistemas inter-relacionados, por sua vez compostos por outros subsistemas e assim por diante, até o nível mais baixo do subsistema elementar.¹⁷
- 2) Relação entre a estrutura de um sistema complexo e o tempo necessário para sua emergência através de processos evolucionários, sendo que sistemas hierárquicos evoluem mais rapidamente que sistemas não hierárquicos.
- 3) Propriedades dinâmicas de sistemas hierarquicamente organizados, sendo possível a quase-decomposição em subsistemas para a análise de seu comportamento. Para isso, é preciso distinguir interações entre elementos do subsistema de interações entre subsistemas, sendo as primeiras mais fortes e frequentes, e reconhecer fronteiras de subsistemas. É preciso perceber as interações mais relevantes.
- 4) Descrição de complexidade em sistemas autorreprodutíveis: uma forma de resolver um sistema complexo é reduzindo-o a problemas já resolvidos previamente, com sequência de estágios, sendo cada novo estágio em desenvolvimento representando

¹⁶ Simon define sistema complexo como constituído por “um grande número de partes que interagem de forma não trivial. Em tal sistema, o todo é mais que a soma das partes (...) dadas as propriedades das partes e as leis de interação, não é trivial inferir as propriedades do todo” (SIMON, 1962, p. 468).

¹⁷ Lane (2006) distingue a hierarquia de nível, relacionada à complexidade, de outros tipos de hierarquia, como: de ordem (relacionada a tamanho); de inclusão (ilustrada pelas caixas chinesas); e de controle (em que há concentração de poder, como ocorre na igreja e no exército). A hierarquia de nível é caracterizada por entidades que ocupam diferentes escalas espaço-temporais e por processos através dos quais as entidades de cada nível interagem umas com as outras. Entidades de um determinado nível, através de suas interações, constroem e mantêm entidades de níveis mais altos, em um processo de causação de baixo para cima. Mas também há causação de cima para baixo, já que a incorporação em um nível mais alto pode mudar as propriedades e as modalidades de interação de entidades de nível inferior. Exemplos de hierarquia de nível: biologia (células – órgãos – indivíduos – espécies); economia (indivíduos; grupos de trabalho ou departamentos – firmas – economias regionais – economias nacionais – economia global); e língua (letras – palavras – frases – parágrafos – textos).

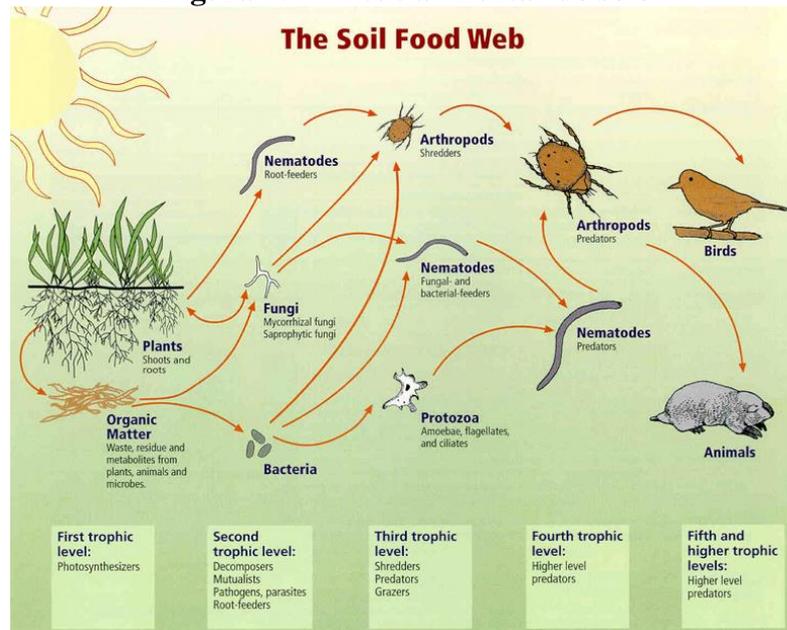
o efeito de uma operação sobre o estágio anterior. Assim descrições de estados complexos podem ser substituídas por descrições de processos simples.

O aspecto evolutivo da complexidade ressalta o mecanismo não teleológico, com formas complexas podendo resultar de formas e processos simples, mesmo aleatórios. Processos de tentativa e erro para solução de problemas não são aleatórios ou cegos, mas altamente seletivos. Progressos em alguma direção induzem buscas na mesma direção enquanto falta de progresso implica em abandono da linha de busca. Solução de problemas requer processo seletivo de tentativa e erro, com pistas que revelam um resultado parcial como progresso, direcionando a evolução. Heurísticas com resultados satisfatórios são selecionadas e influenciam escolhas futuras. A seletividade é relacionada a *feedbacks* de informação do ambiente, havendo dois tipos básicos de seletividade: 1) vários caminhos são tentados e os resultados são usados para guiar buscas futuras; e 2) a experiência passada é usada quando se reconhece similaridade com outro problema já resolvido, havendo reprodução que permite retenção (herança) da estratégia e redução da busca por tentativa e erro. (SIMON, 1962)

A relativa estabilidade de subsistemas em termos locais tem relação com o alto grau de redundância de estruturas hierárquicas, geralmente compostas por poucos tipos de subsistemas em várias combinações e arranjos. Assim, a redundância pode ser usada para simplificar a descrição do sistema. (SIMON, 1962)

Um exemplo de sistema complexo com hierarquia de nível é a ecologia, com interações entre espécies em cadeias alimentares que envolvem diferentes escalas – desde micro-organismos até grandes animais e plantas. A Figura 2.4 apresenta um esquema da rede alimentar do solo. A depender dos organismos existentes e das relações entre eles, formam-se estruturas que produzem retenção de água, decomposição de matéria orgânica, fixação de carbono, disponibilização de nutrientes e sustentação de níveis tróficos. Além da presença dos seres de cada nível, a complexidade pode ser avaliada pela abundância e diversidade.

Figura 2.4 – Rede alimentar do solo



Fonte: Ingham, E. R. The Soil Biology Primer. NRCS Soil Quality Institute, USDA, 1999.

2.2.2.3 Princípio da Rainha Vermelha: competição e coevolução

Interessante notar o aparente paradoxo que relações de cooperação associadas à auto-organização em sistemas complexos adaptativos se desenvolvem em ambientes competitivos. Isto é, agrupamentos com relações de cooperação são formados para enfrentar competição de outros agentes/agrupamentos devido à escassez de recursos. A simultaneidade entre competição e cooperação é determinante para a dinâmica evolutiva nesses sistemas.

Apesar de alguns modelos de sistemas complexos não conterem inovação endógena, como o de monte de areia, a criticalidade auto-organizada (retorno ao ponto crítico) geralmente requer dinâmica competitiva coevolucionária, conhecida como corrida de armas ou *Red Queen Principle* (Princípio da Rainha Vermelha ou de Copas) de Alice no País das Maravilhas: “correr para ficar no mesmo lugar”. (MARKOSE, 2005; RIBEIRO et. al., 2006; ROBSON, 2005)

O Princípio da Rainha Vermelha é uma metáfora para a coevolução competitiva e se manifesta na biologia, na coevolução entre populações de espécies, e na economia pela competição schumpeteriana. Trata-se de uma competição para melhoria de desempenho em relação ao rival. Isto é, a avaliação é relativa em vez de absoluta. Por exemplo, empresas promovem inovações de produtos, em uma competição sem ser de preço, com lançamento de variações de produtos. De uma inovação, seguem imitações de outras firmas e outras inovações, sem que haja significativas mudanças na parcela de mercado de cada empresa. No mercado financeiro, negociadores buscam constantemente melhorar suas estratégias para bater o índice médio da bolsa de valores. Esse princípio também se manifesta no consumo conspícuo, associado a bens e serviços simbólicos posicionais, que são avaliados em termos comparativos

ao consumo dos outros, de forma a situar o indivíduo no *ranking de status social*, geralmente local. (FRANK, 1985; HEFFETZ e FRANK, 2011; MARKOSE, 2005; RIBEIRO et. al., 2006)

A dinâmica por trás da emergência de variedade (novas formas) também está associada ao Princípio da Rainha Vermelha, tanto no que diz respeito à melhoria das capacidades de desempenho (como inteligência, faculdades sensoriais ou velocidade), quanto no uso de novidades ou surpresas. (MARKOSE, 2005; ROBSON, 2005)

Mas a oposição não é suficiente para a emergência endógena de novidades, sendo também necessário que agentes façam cálculos autorreferenciados sobre o comportamento hostil do rival de forma a disparar estratégias inovativas (MARKOSE, 2005).

2.2.3 Sistemas humanos: racionalidade limitada e instituições

Para aplicar a abordagem de sistemas complexos adaptativos a sistemas humanos – sociais, políticos e econômicos – é preciso considerar as especificidades do ser humano como elemento fundamental. Também há particularidades nas formas de relação que afetam a organização, como linguagem, crenças, instituições e redes de comunicação e de transportes que permitem interações a longa distância.

2.2.3.1 Racionalidade limitada

Em vez de racionalidade global, a análise dos processos socioeconômicos com mais realismo requer considerar comportamento humano associado a instinto, criatividade, cognição, aprendizado e sociabilidade que afetam o acesso à informação e a capacidade de processamento. Os limites de racionalidade derivam do conhecimento incompleto e inadequado, de inconsistências das preferências e crenças individuais, de conflitos de valores entre pessoas e grupos de pessoas e da inadequação de processamento, mesmo com a ajuda de computadores. (SIMON, 1955b, 1986, 1990)

Simon propôs uma definição de racionalidade que leve em conta a situação específica em que o agente se encontra, constituindo uma adaptação racional ao contexto de escolha. De acordo com a teoria da racionalidade limitada, a otimização não é possível quando agentes têm de tomar decisões sob incerteza¹⁸, sendo adotadas heurísticas de forma a obter uma solução satisfatória poupando esforços e desconsiderando parte da informação. (GIGERENZER e TODD, 1999; SIMON, 1978, 1986, 1990)

¹⁸ Devido a mudanças frequentes, muitas opções, informações limitadas, pouco tempo ou incapacidade cognitiva para processar tudo.

Novidades produzem reações variadas, que dependem das características dos agentes e do contexto local, do acesso dos agentes às informações e da forma como eles se relacionam. Os agentes podem manter hábitos estabelecidos, o que confere caráter inercial, ou tentar se adaptar ao novo ambiente, seja por aprendizado com a própria experiência – através de processos de tentativa e erro em que o *feedback* tempestivo desempenha papel fundamental – ou pela imitação de terceiros. Como o caráter social de seres humanos não pode ser desprezado, a hipótese de independência decisória é invalidada. Se novas situações podem conduzir a erros e a arrependimentos, também permitem aprendizado, o que ressalta a relevância de se considerar o aspecto dinâmico e o ambiente de tomada de decisão.

Apesar do viés na tomada de decisão ressaltado por autores da economia comportamental¹⁹, o uso de heurísticas não conduz necessariamente a resultados inferiores. Afinal, são as mudanças nos ambientes de tomada de decisão, sem a correspondente reavaliação consciente das heurísticas, que podem levar a decisões equivocadas dos agentes. Se adaptadas ao contexto, heurísticas simples podem até superar procedimentos elaborados e exigentes em termos computacionais. (GIGERENZER e TODD, 1999)

Se a agregação linear do micro para o macro da teoria ortodoxa requer um conceito de racionalidade com otimização e informação completa que torna o comportamento único e inevitável, a racionalidade limitada permite múltiplas alternativas, que podem ser induzidas conforme hábitos, contextos locais ou por influência daqueles com quem se relaciona.

Tal visão é compatível com a abordagem de sistemas complexos, em que os elementos com alternativas definem seu comportamento (estado) a partir de informações locais a cada momento. A depender das influências, pode haver no sistema desde comportamentos aleatórios até sincronização (correlação comportamental) em grupos de diversos tamanhos, implicando em irregularidades e não-linearidades de variáveis agregadas.

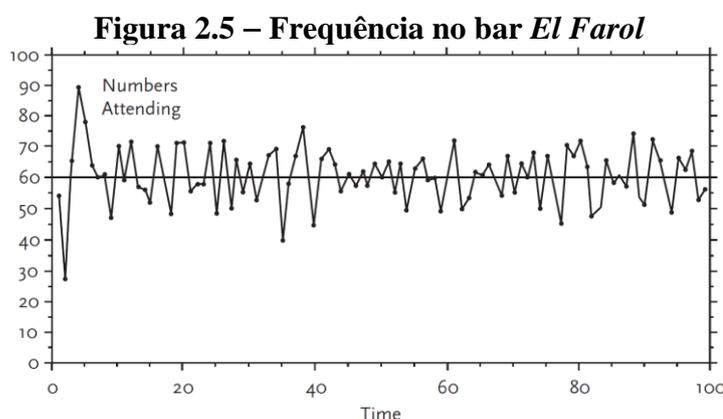
2.2.3.2 Métodos indutivos em contextos interativos: *El Farol*

Em situações complicadas ou mal definidas, em vez de usar lógica dedutiva, o ser humano simplifica o problema ao procurar por padrões e construir hipóteses que o ajude na tomada de decisão, conforme o que funcionou em experiências semelhantes. De acordo com as respostas do ambiente (*feedbacks*), as crenças nas hipóteses são reforçadas ou enfraquecidas,

¹⁹ A economia comportamental foi direcionada a linhas de pesquisa que afirmam que humanos não apenas são irracionais, mas previsivelmente irracionais, associando heurísticas a vieses e erros sistemáticos. Ou seja, o uso de heurísticas permite poupar esforços, mas pode impor custos em termos de perda de precisão quando não adaptadas ao contexto, havendo *trade-off* entre esforço e precisão. (ARIELY, 2008; KAHNEMAN, 2012)

fazendo com que aquelas que deixaram de funcionar sejam abandonadas e substituídas por outras. Ou seja, há aprendizado sobre quais hipóteses funcionam. (ARTHUR, 1994)

Para avaliar os efeitos na dinâmica devido ao uso de métodos indutivos²⁰ para tomada de decisão em situações de interação, Brian Arthur (1994) simulou a frequência de um bar em Santa Fé – *El Farol* – quando pessoas compareciam se previssem ocupação menor que 60%. No modelo, cada pessoa foi dotada de um conjunto com algumas hipóteses, ou modelos mentais²¹. As pessoas selecionavam hipóteses e as substituíam por outras de seu conjunto caso não funcionassem, o que fazia com que houvesse competição entre hipóteses. Como as pessoas adotavam diferentes métodos de previsão, de acordo com suas hipóteses subjetivas e tentando adivinhar as hipóteses subjetivas dos outros, a dinâmica resultante era instável, em vez de tender ao equilíbrio, como mostra a Figura 2.5.



Fonte: Arthur (1994).

Mas, como resultado da interação, havia coordenação espontânea na seleção, resultando em coevolução das hipóteses em uso pelos diferentes agentes (ativas), gerando uma ecologia. Isto é, havia a emergência de um padrão de métodos preditivos (hipóteses) devido à auto-organização, com a ocupação de 60% se tornando um atrator da variável agregada.

2.2.3.3 Instituições

Se a racionalidade limitada permite múltiplos comportamentos individuais, instituições carregam memória no sistema, impondo condicionantes de condutas aceitas. Afinal, relações frequentes entre elementos podem resultar em correlação comportamental e formação de grupos, com a emergência de regras de interação adaptadas ao ambiente em que se desenvolveram. Essas regras, ou instituições, reduzem a incerteza por permitirem formação de expectativa do resultado de interações, o que favorece a cooperação, a confiança e a convivência

²⁰ Segundo Arthur (1994), deve haver pensamento indutivo na economia, como no mercado especulativo de ações, em negociações, em jogos de poker, em preços de oligopólio e no posicionamento de produtos no mercado.

²¹ Os conjuntos de hipóteses dos agentes eram diferentes de forma considerar heterogeneidade no sistema.

social mesmo entre desconhecidos. Há uma dimensão cognitiva nas instituições relacionada ao sistema de crenças que molda a atenção, a interpretação de informações e influencia a direção de mudanças. Mas, se as instituições contribuem para a ordem no sistema, elas também restringem possibilidades evolutivas. E instituições também podem representar obstáculos ao desenvolvimento quando servem apenas para preservação de *status* e poder, deixando de se adaptar para prover resultados coletivos quando as condições mudam (*lock in*) (ARTHUR, DURLAUF, LANE, 2015 [1997]; ELSNER, 2017).

Devido às interações mais frequentes mediadas por regras em agrupamentos, que resultam em relativa estabilidade, muitos fenômenos ocorrem no nível meso, entre os níveis micro e macro. O nível meso inclui diferentes escalas, caracterizando hierarquia de nível. Como a relativa estabilidade de estruturas macro e meso também influencia comportamentos individuais, é através das dinâmicas de sistemas complexos que se pode compreender o verdadeiro microfundamento do nível macro e o macrofundamento do micro. (ARTHUR, 2015a; ELSNER, 2010, 2017)

Se, por um lado, o comportamento cooperativo favorece a auto-organização, por outro lado o comportamento cooperativo e normas sociais (instituições) são fenômenos emergentes. Como exemplos de emergência de padrões de interação podem ser citadas a adoção da estratégia “olho por olho” em jogos de dilema do prisioneiro com repetição e o uso do dinheiro como meio de troca. Esquemas operacionais compartilhados, que coordenam de forma descentralizada grande número de agentes, favorecem decisões satisfatórias exigindo pouco esforço ou inteligência (MARKOSE, 2005). Dessa forma, alguns processos de sistemas complexos apresentam circularidade (*feedbacks* positivos) que levam a escalonamento de efeitos associado a distribuição em lei de potência.

Ribeiro *et al.* (2018) ressaltam a relevância do conceito de criticalidade auto-organizada para sistemas complexos e destacam a diferença do sistema econômico para sistemas físicos:

(...) a criticidade auto-organizada é um conceito muito importante para sistemas complexos, pois está relacionada à capacidade do sistema de absorver as enormes perturbações criadas por avalanches ou crises – o sistema não entra em colapso depois delas. No entanto, em um monte de areia essas perturbações não alteram sua organização – a organização do sistema é muito semelhante antes e depois de uma avalanche, mas em uma economia capitalista essas perturbações desencadeiam respostas institucionais que reorganizam o sistema. (RIBEIRO *et al.*, 2018, p. 15)

Isto é, as regras de relações socioeconômicas não são fixas, como na física, mas podem mudar em resposta a crises, resultando em trajetórias evolutivas e em estruturas de organização conforme contextos locais. (RIBEIRO *et al.*, 2018)

Simon (1962) ainda destaca outra importante distinção entre sistemas complexos físicos e biológicos e sistemas sociais: se os primeiros têm hierarquias descritas em termos espaciais, em sistemas sociais há conexões a grandes distâncias graças a redes de comunicação e de transportes. Assim, é preciso definir a hierarquia em termos de intensidade de interação, não de mera proximidade.

2.2.4 Redes: mundo pequeno, sincronização e rede sem escala

Para o físico Albert-László Barabási, todos os sistemas percebidos como complexos – como *internet*, cérebro, sistemas social e econômico – consistem de um número extraordinariamente grande de componentes que interagem por redes intrincadas. A teoria de redes estuda as dinâmicas dos processos que ocorrem em redes e como os agentes reagem a mudanças do ambiente (BARABÁSI, 2009a).

As relações entre elementos e entre agrupamentos são determinantes em sistemas complexos devido aos fluxos de informações e de recursos que orientam mecanismos de auto-organização e devido à forma de disseminação de perturbações (novidades). Apesar de diversas arquiteturas de rede serem possíveis, muitas vezes as conexões são assumidas como completamente aleatórias ou completamente regulares.

Uma das primeiras tentativas de estudar redes foi feita por Erdős e Rényi adotando modelo de rede randômica. Ao conectar elementos de forma aleatória, havia uma abrupta transição de fase após um número crítico de conexões, com a emergência de um aglomerado gigante no sistema que antes contava com muitos elementos e grupos isolados. Nesse aglomerado interconectado, o caminho entre quaisquer elementos era drasticamente reduzido, favorecendo a transmissão de informações. (BARABÁSI, 2009b [2002]; 2016)

Watts e Strogatz (1998) destacaram a relevância de avaliar o impacto da estrutura de rede nas dinâmicas coletivas de sistemas reais – biológicos, sociais e tecnológicos – que estão entre os extremos completamente regular ou completamente aleatório. Afinal, os detalhes da estrutura de rede importam para o comportamento coletivo do sistema. Se redes fracamente conectadas permitem comportamentos aleatórios de seus elementos, redes completamente conectadas podem levar a estado de sincronização total. Mas outras topologias podem produzir fenômenos locais e comportamentos complexos. (STROGATZ, 2001)

Muitos sistemas reais exibem tanto alto agrupamento típico de estruturas regulares quanto pequenos tamanhos de caminho que ocorrem em redes aleatórias. Watts e Strogatz (1998) batizaram essas redes de “mundo pequeno” em referência ao fenômeno conhecido como

“seis graus de separação”. Como caminhos curtos decorrem de canais de comunicação entre partes distantes do sistema, redes desse tipo permitem grande velocidade de propagação de sinais e poder de processamento. Nessas condições, processos dinâmicos que requerem fluxo de informação e coordenação global são possíveis, viabilizando sincronização entre os elementos. Mudanças no acoplamento na rede levam a pontos críticos associados a fenômenos cooperativos, quando são formados agrupamentos coordenados – análogo temporal da transição de fase.²² (STROGATZ, 2001)

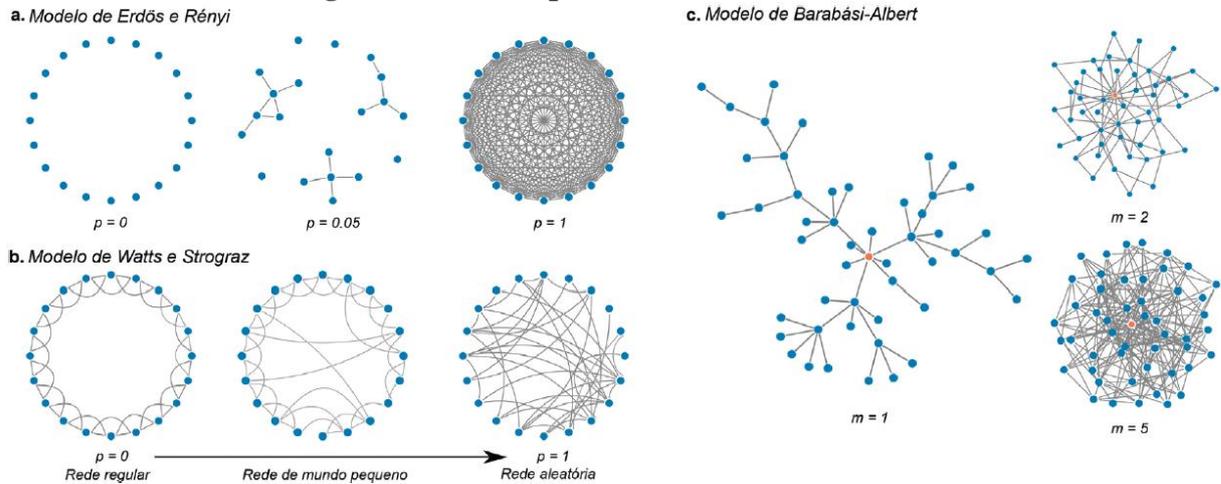
Já Barabási (2009a, 2009b, 2016) argumentou que a estrutura e a evolução de redes são indissociáveis e que redes sem escala podem ser criadas a partir de processos simples que envolvem apenas dois mecanismos: crescimento e conexão preferencial. Se a conexão de novos elementos (crescimento) for definida por probabilidade proporcional ao número de conexões dos elementos pré-existentes (conexão preferencial), haverá emergência natural de *hubs*, em um processo do tipo “rico fica mais rico”. Se o crescimento é um traço essencial de redes reais que invalida a hipótese estática, a conexão preferencial invalida a hipótese de caráter democrático, havendo tendência à concentração, assimetria de poder e desigualdade, já que elementos com muitas conexões (*hubs*) atraem novas conexões em processos cumulativos que resultam em distribuição em lei de potência.

A Figura 2.6 ilustra diferentes redes geradas por modelos e suas variações conforme a definição de parâmetros. No item a, são apresentadas redes com conexões aleatórias dos modelos de Erdős e Rényi, conforme as probabilidades (p) de conexão: desde um sistema sem conexões ($p=0$) até uma rede completa, com todos conectados entre si ($p=1$). O item b ilustra o modelo de Watts e Strogatz e como a variação do parâmetro “ p ” altera a rede de regular ($p=0$), com conexão apenas entre elementos vizinhos, para completamente aleatória ($p=1$). Interessante notar que a adição de poucas conexões aleatórias na rede regular, que funcionam como atalhos, confere propriedades de mundo pequeno. Já o item c mostra o modelo de Barabási e Albert, em que crescimento e conexão preferencial formam redes sem escala²³.

²² Como sincronização de vagalumes, cantos de cigarras, cardumes e de bandos de aves.

²³ O parâmetro “ m ” do item c define quantas conexões cada elemento estabelece ao ser adicionado no sistema.

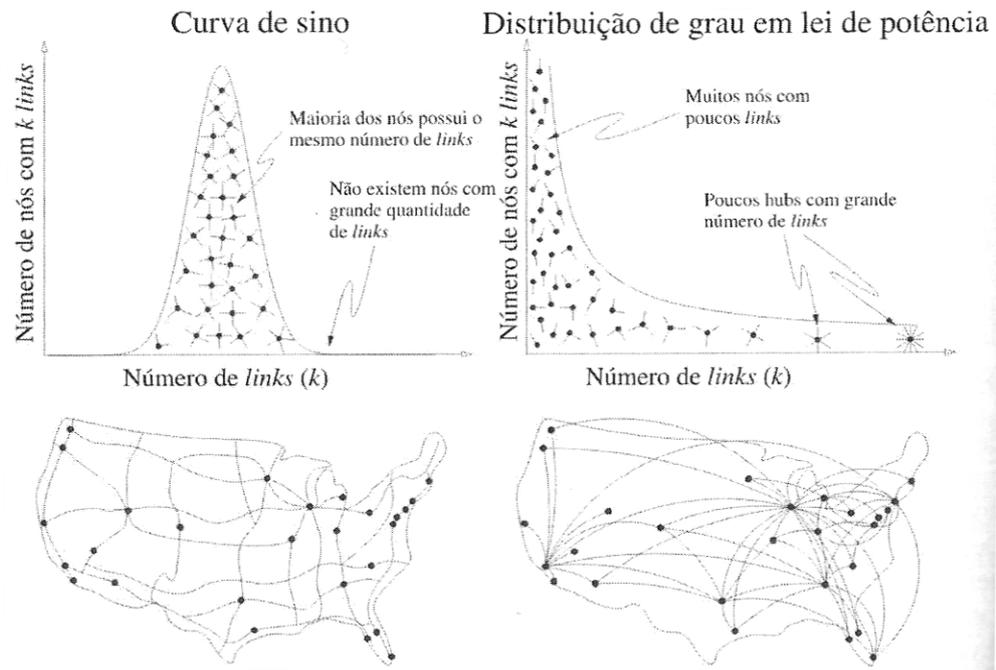
Figura 2.6 – Exemplos de redes de diferentes modelos



Fonte: OLIVEIRA, Rute; SANZ, Liliana; CHAVES, Rafael. Uma Visão da Ciência das Redes sobre o Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia em Informação Quântica (INCT-IQ). *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 44, 2022, p. 7.

Em redes randômicas com muitos elementos, como as estudadas por Erdős e Rényi, as conexões (*links*) entre elementos têm distribuição próxima à normal (binominal ou de Poisson), como a rede viária dos EUA à esquerda na Figura 2.7.

Figura 2.7 – Redes Randômicas e Redes Sem Escala



Fonte: BARABÁSI (2009b [2002]), p. 64.

No caso da rede viária, como a variância do número de *links* é bem-comportada, a média é representativa do sistema, podendo ser usada em análises. Mas muitas redes reais, como a que representa o tráfego aéreo (à direita), exibem muitos elementos com poucas conexões (nós) e alguns poucos elementos com muitas conexões (*hubs*), com distribuição do número de conexões em lei de potência. Nesse tipo de rede, há diferenças de ordens de magnitude entre elementos, o que faz com que não haja nem elemento representativo nem escala característica.

Por isso, tais redes são denominadas rede sem escala. (BARABÁSI, 2009b [2002]; 2016)

Isto é, em sistemas com rede sem escala, há grande assimetria na distribuição das ligações dos elementos, reduzindo a relevância do valor médio. Afinal, do que adianta considerar o elemento médio como representativo se há alguns *hubs* que dominam as dinâmicas do sistema pela sua influência na atualização de novidades?

As informações que fluem pelo sistema são capturadas pelos elementos da rede conforme sua localização. Um *hub*, por estar conectado a muitos nós, percebe rapidamente uma perturbação na vizinhança, podendo reagir ou não. Caso atualize seu estado devido à informação capturada, o *hub* pode transmiti-la adiante pela rede através da ligação com outros *hubs*. Esses *hubs* e demais nós de diversos graus²⁴ podem atualizar seus estados, havendo possibilidade de sincronização. Nesse caso, há súbita mudança, ou descontinuidade, em variáveis agregadas do sistema.

Redes sem escala são relevantes no estudo de sistemas complexos porque possuem propriedades de “mundo pequeno” (pequenos caminhos e alto grau de agrupamento). É possível tanto a rápida transmissão de informações pelo sistema através de ligações entre os *hubs* quanto lapso temporal de atualização em elementos e grupos (comunidades) pouco conectados, conferindo características de turbulência na difusão de novidades pelo sistema²⁵.

A grande influência dos *hubs* nos processos de sincronização implica em maior probabilidade de eventos extremos, que podem provocar desequilíbrios. Mas, em vez de colapso, em sistemas complexos ocorre auto-organização entre os elementos, com comportamentos exploratórios redefinindo a rede de relações e gerando a emergência de nova estrutura, inclusive com novas regras de interação. Redes sem escala também são mais resistentes a falhas, pois é mais provável que algum dos muitos nós pouco conectados seja atingido por impactos aleatórios do que um raro *hub*. Tais características contribuem para que o sistema continue integrado, favorecendo redes sem escala em processos evolutivos.

No modelo com crescimento e conexão preferencial, os elementos inseridos no início têm maior probabilidade de estabelecerem novas ligações que os mais recentes. Com isso, a

²⁴ O grau de um elemento indica o número de conexões com outros elementos. Em redes sem escala, graus de elementos são distribuídos conforme lei de potência.

²⁵ Touboul (2019) analisou como indivíduos, à medida que interagem, adotam símbolos conformistas (seguem a maioria) ou anti-conformistas. Em seu modelo, ele notou o efeito *Hipster*: apesar da intenção de agirem de forma diferente, os anti-conformistas (*hipsters*) acabam fazendo as mesmas escolhas e parecem entre si. Isso ocorre porque atrasos (*delays*) heterogêneos na propagação de informações resultam em comportamento complexo do sistema, com a população de *hipsters*, que inicialmente agia de forma aleatória, passando por uma transição de fase para um estado sincronizado.

estrutura da rede se reforça, havendo predomínio e maior poder de influência dos pioneiros. Mas o modelo básico de formação de rede sem escala pode ser alterado para permitir renovações e transformações, como a morte de elementos, surgimento de outros *hubs* e mesmo transição de poder na rede, com reflexo em sua topografia. Basta que se considere a aptidão (*fitness*) de cada elemento para estabelecer novas conexões em um ambiente competitivo. Ou seja, além da história, as características intrínsecas dos elementos podem afetar as atratividades a novas ligações. Em sistemas com competitividade – como biológico, social e econômico – a aptidão dos elementos importa. (BARABÁSI, 2009b [2002], 2016)

2.2.5 Modelos computacionais com algoritmos recursivos

Modelos computacionais com algoritmos recursivos representam a ferramenta mais adequada para o estudo da complexidade, em uma abordagem procedural.

Markose (2005) destaca dois notáveis desenvolvimentos do século XX que viabilizaram formulações de Sistemas Complexos Adaptativos:

- ✓ Resultados de Gödel, Turing e Post sobre incompletude e problemas não passíveis de solução que colocaram limites a cálculos formais e métodos dedutíveis;
- ✓ Uso de ambientes artificiais computacionais por Holland, Bak e Arthur para simular dinâmicas de muitos agentes que interagem com variados graus de inteligência adaptativa e computacional para avaliar auto-organização e emergência.²⁶

Métodos de busca, ou inferência indutiva, progrediram com métodos computacionais adaptativos/evolutivos, levando à constatação que procedimentos de busca para solução ótima não são enumeráveis recursivamente. Isso faz com que resultados de busca por tentativa e erro possam ficar longe do equilíbrio global. Como não há procedimento de decisão única, uma multiplicidade de regras heterogêneas de decisão deve ser considerada em paralelo e de maneira distribuída. Mas soluções aprendidas com técnicas de tentativa e erro podem ser retidas e passadas adiante por algum tipo de processo hereditário. Sistemas adaptativos que compartilham esquema operacional podem emergir, com procedimentos de decisão tornando-se habituais quando certas condições são satisfeitas. Tais processos de tomada de decisão são passíveis de simulação através de algoritmos condicionais do tipo *if-then*. (MARKOSE, 2005)

²⁶ O trabalho sobre segregação racial de Schelling de 1978 é um exemplo de como regras simples de comportamento micro levam ao resultado auto-organizado macro não passível de dedução das regras iniciais. A depender do parâmetro que define a preferência por vizinhos semelhantes, o sistema pode assumir desde uma configuração aleatória até outra com separação em grupos, havendo uma transição de fase entre os estados. (SCHELLING, Thomas C. **Micromotives and macrobehavior**. WW Norton & Company, 2006.)

Holland e Miller (1991) discutiram técnicas de modelagem computacionais com *Artificial Adaptive Agents* (AAA), semelhante à abordagem de *Agent-Based Model* (ABM), mas com agentes que são capazes de inovar e aprender regras de interação. Os autores destacaram que sistemas complexos adaptativos exibem muitos níveis de agregação e de interação, com cada um deles exibindo escalas temporais e comportamentos próprios. Nichos locais podem ser explorados por adaptações particulares, havendo grande variedade de nichos e sendo inviável que um agente explore todos eles. Ainda, novos nichos são continuamente criados por novas adaptações e, por isso, o sistema opera longe do equilíbrio e do ótimo global. Melhorias são sempre possíveis e ocorrem regularmente.

Holland (1992) desenvolveu simulações computacionais de sistemas complexos adaptativos que mudam e reorganizam as interações entre o grande número de partes que os compõem de forma a adaptar aos problemas impostos pelo ambiente. Segundo o autor, esses sistemas exibem três características: evolução; comportamento agregado; e antecipação. A evolução diz respeito à habilidade das partes de adaptar ou de aprender para sobreviver na interação com o ambiente. Os processos adaptativos são complexos, pois envolvem muitas partes e variados critérios individuais. O comportamento agregado não é derivado simplesmente da ação das partes, mas emerge da interação entre as partes, como ocorre na ecologia, no cérebro ou com a rede de oferta e de demanda na economia. Na busca por adaptação a circunstâncias variadas, as partes desenvolvem regras para antecipar as consequências de certas respostas. Pelo grande número de partes condicionadas de formas diferentes, devido a suas interações, o resultado das antecipações produz considerável efeito sobre o resultado agregado, mesmo quando as antecipações não se confirmam. Como as partes continuamente revisam suas regras de interação condicionadas, cada parte é imersa em um ambiente de perpétua novidade: o comportamento mutável das outras partes. Sistemas complexos adaptativos não têm uma única equação ou regra que governa o sistema, mas muitas partes distribuídas que interagem, cada parte governada por suas próprias regras, influenciando o resultado e as ações das demais.

Holland (2006) listou alguns problemas que podem ser estudados através de sistemas complexos adaptativos, incluindo a dinâmica inovativa em economia, o entendimento de mercados e a previsão de mudanças no comércio global. Simulações computacionais de sistemas complexos adaptativos – que envolvem paralelismo, ações condicionadas, modularidade, adaptação e evolução – geram possibilidades, não realidades.

2.2.6 Sistemas complexos na economia

É possível reconhecer intuições sobre sistemas complexos na teoria econômica em autores clássicos e heterodoxos que adotaram uma perspectiva histórica e consideraram processos com fatores que se reforçavam ou se contrapunham, implicando em dinâmicas fora do equilíbrio. Afinal, trajetórias econômicas contam com bifurcações, ou transições de fase, associadas a mudanças qualitativas resultantes de processos de acumulação.

Por ser uma área em que as mudanças são frequentes e a evolução ocorre mais rapidamente, a economia contribuiu para o pensamento de complexidade. Assim como Darwin se inspirou na teoria da população de Malthus para desenvolver a teoria da evolução, cientistas da complexidade se referem à economia. Anderson (1972), por exemplo, conclui seu artigo seminal – que traz o conceito “*more is different*” – citando dois exemplos econômicos: diferenças quantitativas que geram diferenças qualitativas, segundo Marx; e o diálogo entre Fitzgerald e Hemingway em 1920, em que o primeiro diz que “os ricos são diferentes de nós” e o segundo responde “Sim, eles têm mais dinheiro”.

A economia ainda traz outra vantagem frente a disciplinas biológicas e sociais para o estudo de sistemas complexos: há mensuração de variáveis agregadas que resultam em bancos de dados de longa duração e com diversas frequências de registro.

Assim como nas ciências naturais, a análise da economia como sistema complexo é recente. Computadores viabilizaram cálculos que exigem grande capacidade de processamento e simulações de modelos com recursividade para avaliar potenciais resultados de dinâmicas não-lineares, em que elementos podem mudar de comportamento a depender do ambiente.

2.2.6.1 Instituto Santa Fé

A análise da economia capitalista como sistema complexo adaptativo ganhou impulso a partir do final dos anos 1980 com o Instituto Santa Fé, que buscou uma abordagem multidisciplinar reunindo proeminentes físicos, biólogos, economistas e cientistas da computação, como Philip Anderson, Kenneth Arrow, W. Brian Arthur e John Holland. Em contraponto à teoria neoclássica, buscava-se uma nova visão da economia, considerando-a orgânica, evolucionária e historicamente contingente. (ARTHUR, 2015a)

Segundo Arthur (1990, 1999, 2015a), a economia capitalista é complexa por possuir múltiplos elementos adaptando ou reagindo ao padrão agregado que esses elementos criam:

Um dos primeiros insights da economia – certamente remonta a Smith – é que esses padrões agregados se formam a partir do comportamento individual, e o comportamento individual, por sua vez, responde a esses padrões agregados: há um *loop* recursivo. É esse *loop* recursivo que se conecta com a complexidade. A complexidade não é uma teoria,

mas um movimento nas ciências que estuda como os elementos que interagem em um sistema criam padrões gerais e como esses padrões gerais, por sua vez, fazem com que os elementos que interagem mudem ou se adaptem. Pode estudar como carros individuais agem juntos para formar padrões no trânsito e como esses padrões, por sua vez, fazem com que os carros alterem sua posição. Complexidade tem a ver com formação – a formação de estruturas – e como essa formação afeta os elementos que a causam. (...) A complexidade, em outras palavras, pergunta como os comportamentos individuais podem reagir ao padrão que eles criam juntos e como esse padrão se alteraria como resultado. (ARTHUR, 2015a, p. 3)

Em sistemas complexos, há presença concomitante de *feedbacks* positivos e negativos, sendo que o balanço entre eles determina a dinâmica do sistema. Caso houvesse apenas *feedbacks* negativos, as perturbações seriam amortecidas e o sistema tenderia ao equilíbrio. Mas se existissem apenas *feedbacks* positivos, o comportamento seria explosivo. Reforços positivos implicam em dinâmicas longe do equilíbrio, o que exige considerar a economia como dependente de processo e sempre evoluindo. Mas a teoria convencional, em busca por soluções analíticas, estuda padrões persistentes, em equilíbrio, ou que não induzem novas reações. (ARTHUR, 1990, 2015a)

Uma propriedade geral de sistemas complexos é possuir parâmetros com ponto crítico, em que ocorre transição de fase quando é atingido, com o sistema passando da ordem para a desordem, e vice-versa. Outra característica é apresentar leis de potência (muitas pequenas perturbações e algumas, e pouco frequentes, grandes), distribuição de cauda pesada e longas correlações (eventos podem propagar por grandes distâncias e tempos). (ARTHUR, 2015a)

Arthur (2015a) cita três fenômenos econômicos relacionados a sistemas complexos:

- 1) Mudanças com auto reforço de preços de ativos, como formação de bolhas e *crashes* espontâneos e imprevisíveis;
- 2) Agrupamentos de volatilidade, com alternância entre períodos de alta e de baixa atividade, associados às taxas de atualização de expectativas dos agentes;
- 3) Percolação súbita, com uma mudança podendo se propagar na rede a depender de sua densidade e da taxa de atualização (adaptação) dos elementos.

O sistema econômico é mais complicado que sistemas naturais, pois humanos reagem com estratégia e previsão considerando resultados que são consequências de suas ações. Agentes econômicos – bancos, consumidores, firmas e investidores – continuamente ajustam movimentos no mercado, decisões de compras, preços e previsões de acordo com as situações que esses movimentos, decisões, preços e previsões criam. (ARTHUR, 1999)

Arthur (1999) cita como exemplos de sistemas complexos adaptativos as simulações do

bar *El Farol* e do mercado financeiro²⁷ em que previsões heterogêneas de agentes baseadas em hipóteses e em resultados agregados (como frequência no bar e preços de ações) podem produzir dinâmicas complexas. A simulação do mercado financeiro resultou em dois regimes:

- Colapso da diversidade em expectativas racionais homogêneas se a atualização de hipóteses pelos agentes era lenta;
- Regime complexo, com anomalias como as observadas em mercados reais (bolhas, *crashes* e alternância de períodos com alta e baixa volatilidade de preços) se a taxa de atualização de hipóteses era alta.

No último caso, isso ocorre pelo reforço mútuo de expectativas em subpopulações. Se alguns investidores mudassem seu comportamento devido à descoberta de alguma nova hipótese lucrativa, o mercado seria levemente alterado, levando a ajuste de expectativas por outros agentes: “(...) as mudanças nas crenças se propagam pelo mercado em avalanches de todos os tamanhos, causando períodos de alta e baixa volatilidade.” (ARTHUR, 1999, p. 109)

2.2.6.2 Inovações como perturbações endógenas

Na economia capitalista, há reações (*feedbacks*) não apenas a choques externos, mas também por fatores endógenos. Na dinâmica competitiva destacada por Schumpeter (1997 [1911]), inovações geram oportunidades para outras novidades, implicando em um processo em que predomina a incerteza, com agentes explorando possibilidades e aprendendo.

Arthur (2015a) sugere passos de um algoritmo para avaliar impactos de mudança tecnológica, em que novas estruturas são criadas a partir de novas tecnologias e instituições:

- 1) Uma nova tecnologia aparece. Ela é criada a partir das existentes e entra na coleção ativa como elemento de novidade;
- 2) O novo elemento torna-se disponível para substituir tecnologias existentes e componentes na tecnologia existente;
- 3) O novo elemento configura novos nichos de necessidades e oportunidades para suportar a tecnologia e arranjos organizacionais;
- 4) Se a antiga tecnologia desaparece da coletividade, suas necessidades auxiliares são abandonadas e os nichos de oportunidade criados por ela também somem;
- 5) O novo elemento torna-se disponível como um potencial componente de novas tecnologias e novos elementos;
- 6) A economia (padrão de bens/serviços produzidos e consumidos) sofre ajustes, com

²⁷ ARTHUR, W. Brian *et al.* Asset pricing under endogenous expectations in an artificial stock market. In: ARTHUR, DURLAUF, LANE. **The economy as an evolving complex system II**. CRC Press, 1996.

alterações de custos e de preços que representam incentivos a novas mudanças.

Assim, a locomotiva foi construída a partir da máquina a vapor, caldeira, manivelas e rodas de ferro já existentes. Entrou no coletivo por volta de 1829 (passo 1); substituiu os trens existentes puxados por cavalos (passo 2); estabeleceu necessidades de fabricação de trilhos de ferro e organização de ferrovias (etapa 3); fez com que as indústrias de canais e transporte de cavalos murchassem (etapa 4); tornou-se um componente chave no transporte de mercadorias (passo 5); e com o tempo fez com que os preços e incentivos em toda a economia mudassem (passo 6). Tais eventos podem operar em paralelo: novas oportunidades, por exemplo, aparecem quase tão logo uma nova tecnologia aparece. (ARTHUR, 2015a, p. 19-20)

Citando Carlota Perez²⁸, Arthur (2015a) destaca uma nova camada de mecanismo que adiciona estrutura: novas tecnologias frequentemente vêm em grupos, ou famílias de tecnologias baseadas em uma tecnologia chave.

Para Arthur (2015b [1994]), a evolução de sistemas complexos resulta em crescimento de diversidade e em redes de interações mais intrincadas pela exploração de nichos específicos. Se existe uma tendência à diversidade, pode haver reversão dessa tendência em caso de inovação disruptiva que provoque substituição de funções e desaparecimento de nichos. O aprofundamento estrutural é outro mecanismo associado à complexidade, com a evolução de entidades que desenvolvem subsistemas – pela adição de módulos e de partes interconectadas – que permitem ampliar a área de atuação, perceber e reagir a circunstâncias excepcionais, servir outros sistemas com melhoria de desempenho ou aumentar a confiabilidade. Mas, caso uma inovação disruptiva afete a base original, também pode haver reversão. Outro mecanismo que amplia a complexidade é a captura de programação, em que elementos mais simples são absorvidos e controlados por outros sistemas para propósitos específicos. Uma forma de ampliar funções ou aprimorar o desempenho é a combinação de elementos simples.

2.2.6.3 Mercado e outros mecanismos de organização na economia capitalista

O modo como se dão as relações entre agentes é um ponto central da diferença entre a teoria ortodoxa e a abordagem de sistemas complexos. No idealizado mercado walrasiano da teoria marginalista, o leiloeiro atua como coordenador central que concentra as conexões, equivalente a uma estrutura de estrela hierarquizada. Nas análises de equilíbrio geral, os agentes não interagem diretamente entre si, mas através de um mercado impessoal. Já na teoria dos jogos, todos os jogadores interagem entre si em uma rede completa. As estruturas de interação

²⁸ Perez, Carlota. **Technological Revolutions and Financial Capital**, E. Elgar, Cheltenham, UK, 2002.

são simples e extremas: um com todos ou todos com todos. Assim, seria possível obter o todo (macro) pela soma dos comportamentos individuais de firmas e consumidores (micro).

Mas, em sistemas complexos, a estrutura de interação importa. A complexidade destaca a interdependência e o papel das conexões, isto é, como as relações entre elementos, em diferentes níveis de organização, moldam a estrutura do sistema econômico (ELSNER, 2017; FOSTER, 2005). O funcionamento de mercados depende de estruturas de redes que conectam agentes, transmitem informações e possibilitam alinhamento e sincronização que caracterizam sistemas complexos. Daí a importância de considerar a formação e a evolução de mercados.

Em muitos sistemas complexos, as relações são mais frequentes entre agentes semelhantes, que compartilham localização, origem ou interesses. Mas, no sistema econômico, as relações no mercado ocorrem entre agentes diferentes, já que é preciso haver diversidade para haver trocas. Por tratar-se de redes que conectam agentes diferentes, a ampliação da escala de transações requer coordenação, semelhante à exercida por tradutores na comunicação entre pessoas que falam línguas diferentes. À medida que foram se tornando centrais, relações no mercado passaram a ser mediadas por mecanismos – como uso do dinheiro, padronização de pesos e medidas, marcas para sinalizar qualidade – que reduziram a relevância de vínculos pessoais de forma a permitir ampliação da escala e da abrangência e redução do tempo de circulação. Mas também é preciso considerar que a maioria das transações ocorre através de intermediários – como transportadores, comerciantes (atacadistas e varejistas) e agentes financeiros – com relações que envolvem reputação e fidelidade, que não prescindem de relações sociais. Isto é, a coordenação pode ocorrer através da intermediação de mecanismos impessoais ou da atuação de terceiros, como comerciantes, que, por transmitirem informações, influenciam os dois lados. (LANGLOIS e COSGEL, 1996)

Segundo Allen (2014), sistemas de mercado mudam qualitativamente no tempo devido às interações entre fornecedores, atacadistas, varejistas e consumidores, que levam à evolução de produtos, custos, qualidades e capacidades. O mercado atual é um sistema temporário de interação entre firmas que entraram no mercado e ainda não faliram. Algumas firmas crescem enquanto outras enfraquecem. Com a entrada no mercado de novas firmas ou produtos, surgem inovações e novas formas de organização, com a elevação do desafio a cada geração de firmas. Em vez de conhecimento perfeito e estratégia fixa, o fator determinante no mercado é a possibilidade de aprendizado, sendo o sucesso sempre temporário.

Ao analisar mercados como arenas transacionais, destacando o aspecto de redes, é possível explicar alguns aspectos considerados “falhas” de mercado pela economia ortodoxa.

Afinal, sistemas descentralizados, com baixa regulação e com incentivos de curto prazo mostram estruturas emergentes com distribuições de cauda pesada – renda, riqueza, tamanho de firmas e poder de cidades, regiões, países – com subredes em que agentes centrais de grande relevância interconectam grupos de outros agentes com poucas conexões. (ELSNER, 2017)

Em uma economia de rede, relações entre compradores e fornecedores não são apenas de competição, mas também de cooperação, estabelecendo-se uma relação duradoura e estável que permite a especialização. (BARABÁSI, 2009b [2002])

O mercado, por envolver transações materiais entre agentes econômicos, tem relação não apenas com a alocação de recursos, mas também com o incentivo a inovações (geração de variedade) e com a seleção e disseminação das mesmas (SCHUMPETER, 1997 [1911]). Através do mercado também ocorre coordenação descentralizada entre agentes, mesmo sem vínculos pessoais, que permite a divisão de trabalho e especialização (SMITH, 1985 [1776]).

Ou seja, além da alocação, há o relevante aspecto da formação socioeconômica associado ao desenvolvimento que pode ser analisado. Como o mercado representa um emaranhado de redes de transações comerciais entrelaçadas, a produção, a distribuição e o consumo limitam-se mutuamente. Mudanças em um setor exigem adaptação dos demais ao longo de cadeias produtivas e mesmo em mercados relacionados.

Preços podem ser vistos como mecanismos de transmissão de informações para tomada de decisão de agentes com conhecimentos limitados a seus contextos locais, conforme observou Hayek (1980 [1945]). Em um ambiente competitivo, a depender da relação entre preços de produtos e de seus custos, uma atividade pode gerar lucros suficientes e sustentados, contribuindo para sua seleção, retenção e disseminação. Mas, se der prejuízo, pode ser abandonada e substituída.

Como o processo de formação de mercados inclui crescimento e conexão preferencial, devido a rendimentos crescentes, por exemplo, mercados evoluem com tendência à concentração e centralização, resultando em poder de mercado, relações assimétricas e estando sujeitos a crises mais frequentes.

Por esta razão, a abordagem de sistemas complexos adaptativos pode orientar políticas econômicas que evitem bolhas e crises sistêmicas, como ocorre com mercados financeiros deixados à livre operação. A percepção de que o estado da economia depende do processo que envolve reações dos agentes sugere a substituição de políticas de comando e controle por mecanismos de indução (*nudge*) a estados evolutivamente possíveis e mais favoráveis em termos sociais e ambientais (ARTHUR, 2015a; ELSNER, 2017). O destaque ao papel

desempenhado por *hubs* em redes sem escala indica que instrumentos econômicos devem se concentrar nesses elementos de maior impacto no sistema.

Mas, como observou Simon (1991), as relações econômicas não se limitam às de mercado. Em organizações, há mecanismos tanto econômicos como não-econômicos a mediar relações internas, alguns envolvendo autoridade, recompensas, identificação e coordenação. E relações entre organizações podem ter condições contratuais que vão além de preços e quantidades para permitir fluxo de informação além das fronteiras de cada firma.

Também é preciso levar em conta influências do aspecto social na economia. Afinal, são as interações sociais recorrentes que ligam agentes entre si, influenciando o acesso a informações, formação de expectativas, aprendizagem e escolhas (ARTHUR, DURLAUF e LANE, 2015 [1997]). A sociologia econômica ressalta a relevância do estudo de redes, que incluem agentes e suas relações, para a compreensão dos processos socioeconômicos²⁹.

A economia é influenciada por relações de grupos, como em famílias e amigos, que transcendem as relações econômicas, mas que afetam preferências, desejos, símbolos, disposições a trabalhar e a demanda. O fator social é a principal fonte de complexidade no consumo, pois *feedbacks* positivos, associados a desejos adquiridos e sinalização social, geram efeitos não lineares. (CARRARA, 2019)

É preciso destacar o papel de Estados, tanto pela relevância no processo de formação de mercados (POLANYI, 2000 [1949]) como pelas influências na dinâmica econômica. Estados atuam diretamente no mercado como produtores (empresas estatais) e como compradores. Através da imposição de restrições, regulações e subsídios, geram incentivos – muitas vezes favorecendo grupos organizados com influência política – e induzem relações econômicas internacionais a favor das multinacionais de seu país. Estados também são determinantes na implantação de redes de comunicações e de transportes, por onde fluem informações e mercadorias, que afetam custos de circulação.

Ainda, a atuação de Estados é essencial em momentos de crises sistêmicas. Simon (1991) destacou que o mecanismo de transmissão de informações através de preços, como proposto por Hayek (1980 [1945]), limita-se a períodos em que há certa previsibilidade, tendo de ser substituído por decisões centralizadas em épocas de crises, como durante guerras. Afinal,

²⁹ Swedberg (1995) distingue quatro tipos de mercado (trabalho, capital, industrial e consumidor), conforme tipos de relações entre os agentes envolvidos. Smelser e Swedberg (2005) avaliam as influências dos outros nas ações individuais. Powell (1990) destaca a estrutura de relações e a posição do indivíduo na rede para o acesso a informações confiáveis e a oportunidades. Smith-Doerr e Powell (2005) ressaltam que redes produzem profundo impacto econômico.

“preços incertos produzidos por mudanças imprevistas em um sistema reduzem a habilidade de atores responderem racionalmente.” (SIMON, 1991, p. 40)

O sistema financeiro é outro relevante coordenador econômico, por meio de concessão de crédito, que seleciona atividades e atores e induz trajetórias de desenvolvimento.

2.3 Instrumental de análise de sistemas complexos

A análise estatística padrão de séries temporais assume processo estocástico estacionário³⁰, isto é, a série tende a retornar para o valor de sua média com flutuações de amplitude constante. Em caso de não-estacionaridade, devem ser feitas transformações para que os instrumentos da estatística padrão sejam aplicáveis.

A partir do modelo geral $Y_t = \alpha_1 + \alpha_2 t + \alpha_3 Y_{t-1} + \varepsilon_t$, são testados os valores dos coeficientes (α) para avaliar a transformação necessária, levando em conta se a série é estacionária ou, caso contrário, se há tendência determinística ($\alpha_2 \neq 0$) ou estocástica.

Merece destaque o caso de passeio aleatório³¹, ou movimento browniano, dado pela expressão $Y_t = Y_{t-1} + \varepsilon_t$, ou $\Delta Y_t = \varepsilon_t$. Trata-se de um processo estocástico não-estacionário em que a variância cresce com o tempo³². O passeio aleatório é um caso particular de modelo autorregressivo AR(1): $Y_t = \rho Y_{t-1} + \varepsilon_t$ com $\rho = 1$. Se $|\rho| < 1$, a série é estacionária, já que os efeitos dos choques decrescem com o tempo. Já no passeio aleatório ($\rho = 1$), há persistência dos choques, resultando em memória infinita. A trajetória equivale à soma de todos os choques até o momento, em um processo não-estacionário com tendência estocástica. Mas a não-estacionaridade pode ser eliminada ao considerar as diferenças da série temporal, o que torna possível a aplicação dos instrumentos da estatística padrão. (GUJARATI e PORTER, 2011)

Cabe ressaltar que os choques são tidos como aleatórios na estatística padrão. O termo de erro (ε) é considerado ruído branco, independentemente e identicamente distribuído (iid). Segundo o teorema central do limite, ou lei dos grandes números, à medida que o tamanho da amostra aumenta, a média tende a uma distribuição normal com variância constante.

Mas, em sistemas complexos, ocorrem alinhamentos e sincronizações por seleções entre as alternativas de estado dos elementos conforme influências da rede de conexões. Variáveis

³⁰ Para que a série temporal seja estritamente estacionária, todos os momentos de distribuição (média, variância, assimetria e curtose) devem ser invariantes no tempo. Um processo estocástico fracamente estacionário tem média e variância constantes e o valor da covariância entre dois períodos depende apenas da defasagem entre eles e não do tempo real. (GUJARATI e PORTER, 2011)

³¹ $\alpha_3 = 1$ e $\alpha_1 = \alpha_2 = 0$.

³² $\text{var}(Y_t) = t\sigma^2$. O desvio padrão aumenta proporcionalmente a $t^{0.5}$.

agregadas são afetadas não apenas pela mera soma dos choques individuais, mas também devido a respostas a comportamentos de outros elementos e agrupamentos, produzindo dependência temporal e descontinuidades. A suposição de erros iid torna-se pouco crível.

Em sistemas humanos, como a economia, além de choques exógenos há dinâmicas endógenas de produção de novidades e de propagação de eventos. Eventos raros podem ter efeitos consideráveis no sistema, que podem ser superestimados ou negligenciados pelos agentes (MANDELBROT, 1997). A ampla variedade de influência no sistema, a depender do poder do elemento ou do grupo e de sua localização na rede, afeta os mecanismos de *feedback* que resultam em ampliação ou dissipação de efeitos de eventos.

2.3.1 Distribuição de variações

Na década de 1960, quando trabalhava na IBM e com acesso a computadores de grande porte, o matemático francês Benoit Mandelbrot se dedicou à economia. Ao analisar preços de algodão, trigo, títulos ferroviários, preços de ações e taxas financeiras, Mandelbrot (1963a, 1967) notou afastamento da distribuição das variações de preços da curva normal.

O modelo básico de preços era derivado da teoria da especulação de Louis Bachelier de 1900, que assumia passeio aleatório ou movimento browniano³³: variações de preços aleatórias, independentes e identicamente distribuídas e com média zero. Entretanto, o próprio Bachelier notou que evidências contradiziam o modelo. As variâncias não eram constantes e as caudas do histograma eram mais pesadas que no caso gaussiano. Além disso, não havia composição de distribuições normais que desse conta de algumas grandes variações de preços, sendo necessário eliminá-las da análise como se fossem atípicas (*outliers*). (MANDELBROT, 1967)

Apesar disso, a teoria econômica adotou o movimento browniano no modelo de preços padrão, dada a possibilidade de adoção de instrumentos estatísticos simples. A hipótese do mercado eficiente de capitais³⁴ assume que grande número de investidores racionais, avessos a riscos e maximizadores de lucro (*Homo economicus*) competem no mercado financeiro tentando prever os valores futuros de títulos, com amplo acesso a informações relevantes. Com tais suposições, a teoria chega às seguintes conclusões: os agentes concordam, em termos

³³ Apesar de a teoria de Bachelier preceder a explicação física do movimento browniano por Albert Einstein em 1905, nota-se a analogia do comportamento de preços em uma idealizada concorrência perfeita com o movimento aleatório de partículas em um fluido devido a choques entre uma infinidade de elementos semelhantes em um sistema fechado.

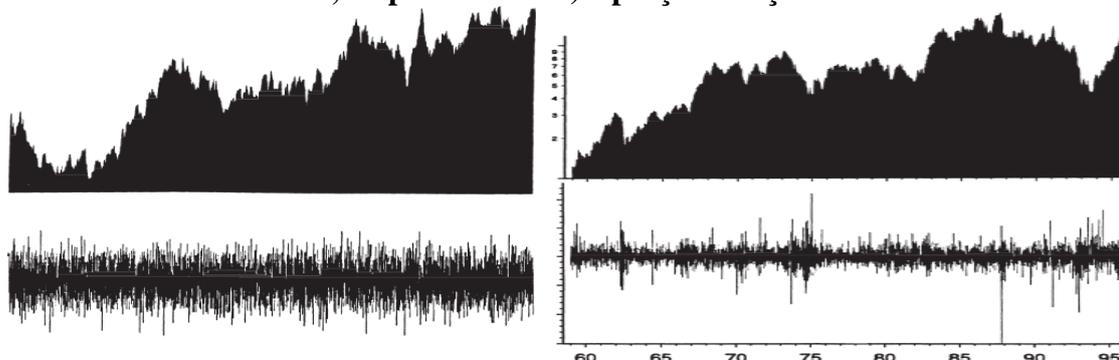
³⁴ Desenvolvida entre as décadas de 1950 e 1970, tendo como alguns de seus principais autores: Cootner, Osborne, Markovitz (Teoria Moderna de Portifólio), Tobin, Sharpe (CAPM – risco como desvio padrão de retornos), Fama, Black e Scholes (*Option Price Model*) e Ross (*Arbitrage Pricing Theory*). (PETERS, 1991)

coletivos, que preço é justo (preço de equilíbrio derivado da lei dos grandes números); os preços refletem as informações relevantes (todas ou apenas públicas), tanto de eventos passados quanto daqueles previsíveis; os preços só se alteram com informações inesperadas; não é possível bater o mercado fazendo uso de análises fundamentalistas; o passeio aleatório é a melhor metáfora para descrever mercados. (MANDELBROT e HUDSON, 2007; PETERS, 1991)

Mandelbrot (1997, p. 26) lista discrepâncias entre o modelo de preços como movimento browniano e os fatos³⁵, ilustradas pelos valores das ações da IBM na Figura 2.8:

- Aparente não-estacionaridade das variações: se o movimento browniano tem mudanças regulares, registros reais de preços apresentam intermitência, com alternância irregular entre períodos calmos e surtos de volatilidade.
- Instâncias repetidas de mudança descontínua: no registro de mudanças de preços, observam-se descontinuidades com picos pontiagudos.
- Concentração: grande parte das mudanças ocorrem em curtos períodos de grande variabilidade de preço, isto é, os picos parecem agrupados.
- Comportamento cíclico, mas não periódico.

Figura 2.8 – Preços e variações previstos pela hipótese do mercado eficiente (caminho aleatório e ruído branco, respectivamente) e preços de ações da IBM de 1959 a 1996



Fonte: Mandelbrot (1997), p. 23 e 18. À direita, preços diários (acima) das ações da IBM em unidades de US\$ 10 em escala logarítmica e suas variações (abaixo) em unidades de 1%

Essas divergências foram agrupadas pelo autor em duas características de natureza teórica, batizadas de Efeito Noé e Efeito José, a partir das histórias bíblicas do dilúvio e de sete anos de abundância seguidos de sete anos de fome no Egito:

- 1) Distribuição leptocúrtica de mudanças de preços: excesso de pequenas variações e maior probabilidade de eventos extremos quando comparado à distribuição normal. Há mudanças súbitas e devastadoras, ou descontinuidade.

³⁵ Mandelbrot relata a recepção hostil da comunidade acadêmica de economistas ao seu primeiro artigo econômico de 1963, tratado como heresia de um matemático de uma grande empresa.

- 2) Existência de dependência de longo alcance, quando efeitos de fenômenos decaem mais lentamente que o decaimento exponencial, como por um processo de decaimento em lei de potência.

Se a distribuição leptocúrtica se refere ao tamanho das variações, a dependência temporal diz respeito à ordem dos eventos e à duração de seus efeitos. Uma dessas características pode existir sem a outra, mas são concomitantes no que se refere a preços. A descontinuidade pode advir da dependência de longo alcance: quase-tendências resultantes de movimentos de manada (comportamentos ou expectativas) geram bolhas que explodem de repente (MANDELBROT, 1997). É possível relacionar essa dinâmica a sistemas complexos, que comportam ordem e desordem e propagação em rede com cadeias de *feedbacks*.

Em busca de novas abordagens matemáticas³⁶ para avaliar mercados especulativos e outros fenômenos econômicos, Mandelbrot (1963b) suspeitou ser preciso considerar variáveis aleatórias com variância infinita para descrever variações de preços. A lei de Pareto ou de Zipf – que identifica distribuição em função potência de renda pessoal, de tamanho de firmas e de cidades – parecia promissora, pois comportava fenômenos de escalonamento (*scaling*) também presentes em outros sistemas naturais e humanos.

A distribuição em lei de potência parece estar associada a processos com probabilidade condicional³⁷ (MANDELBROT, 1997, p. 29). Por exemplo, no caso da renda pessoal, a probabilidade de uma pessoa rica dobrar a renda é similar à de uma pessoa pobre dobrar a sua, apesar da disparidade da escala de renda, devido à assimetria de acesso a oportunidades: dinheiro gera dinheiro, poder gera poder (MANDELBROT e HUDSON, 2007, p. 193).

A distribuição leptocúrtica e a dependência de longo alcance de variações de séries temporais podem estar relacionadas a distribuições espaciais, já que a propagação de eventos depende da conexão entre os elementos. No caso de redes sem escala que comportam agentes e grupos com diferentes tamanhos e números de conexões, mudanças de estado de agentes e de grupos podem produzir impactos de variadas magnitudes, desde leves perturbações individuais rapidamente absorvidas até movimentos de manada que se propagam por todo o sistema.

³⁶ “Em qualquer lugar que a suposição da curva de sino entra nos cálculos financeiros, um erro pode surgir.” (MANDELBROT e HUDSON, 2007, p. 138)

³⁷ Strogatz (2001, p. 274) localiza em Simon (1955a) a primeira explicação de distribuição associada à lei de Zipf ou de Pareto, comum em fenômenos biológicos, sociológicos e econômicos: processos estocásticos com crescimento e probabilidade condicionada a situações pré-existentes, mecanismo redescoberto por Barabási na formação de rede sem escala.

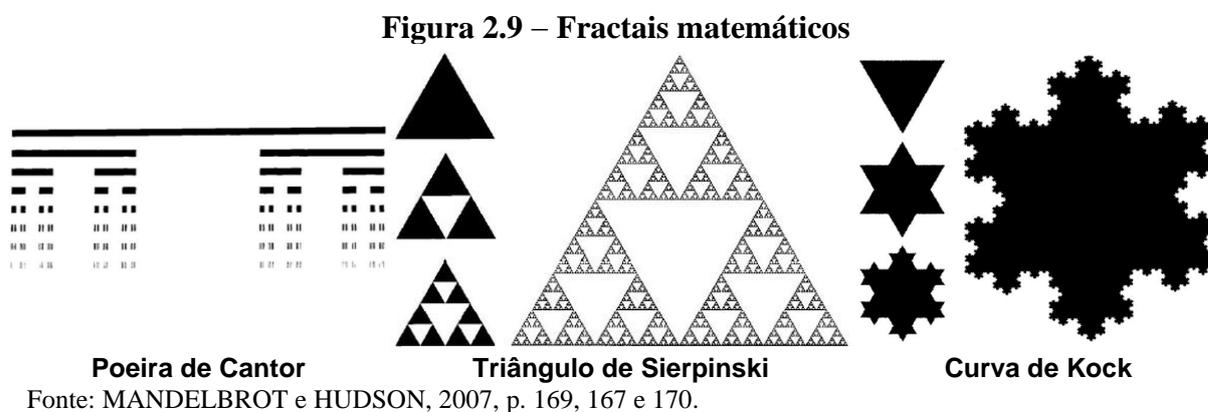
Além de ser resultante de alguns processos naturais e humanos, a distribuição em lei de potência condiciona trajetórias dos sistemas pela influência de elementos e grupos de maior relevância. A maior compreensão desses processos e de seus resultados não será alcançada tratando eventos extremos como atípicos e ignorando descontinuidades e correlação temporal, de forma a adaptar a realidade aos instrumentos da estatística padrão baseada na normalidade.

2.3.2 Dimensão Fractal

A geometria euclidiana considera que uma linha tem dimensão unitária e a área é expressa em duas dimensões. Mas, ao contrário de objetos idealizados, a realidade é marcada por imperfeições reveladas por rugosidades que comportam descontinuidades.

Mandelbrot notabilizou-se pelo desenvolvimento da geometria fractal na década de 1970, revelando que estruturas complicadas podem resultar de processos recursivos e cumulativos que envolvem um iniciador, um gerador e uma regra de iteração (recursividade).

A Figura 2.9 traz alguns fractais matemáticos, caracterizados pela autossimilaridade, ou semelhança entre o todo e suas partes. Os fractais possuem invariância de escala: ao ampliar a imagem, observam-se as mesmas formas.



As dimensões dessas figuras geométricas não são inteiras como na geometria euclidiana, mas fracionadas conforme o grau de ocupação no espaço³⁸, uma indicação de sua irregularidade. Fractais matemáticos apresentam autossimilaridade em infinitas escalas, por ser possível estender o processo de formação indefinidamente.

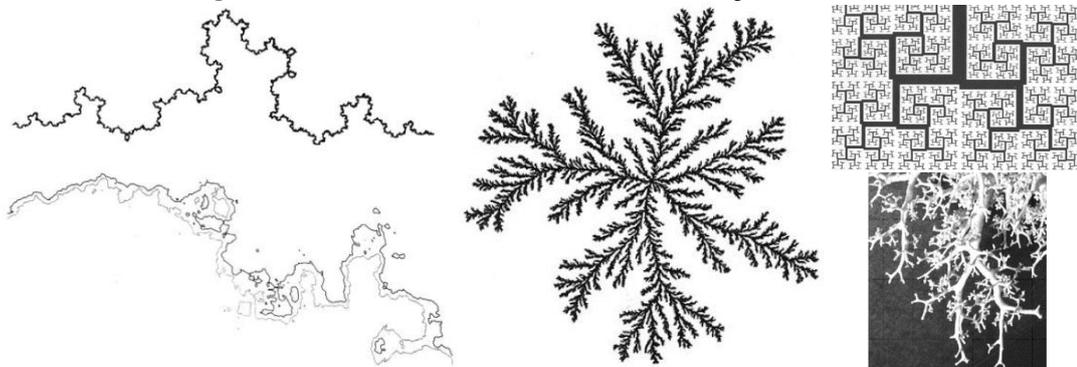
Também são encontradas estruturas fractais na natureza, como nuvens, montanhas, costas marítimas, rios, árvores, vasos sanguíneos e alvéolos pulmonares, dentre outras. Mas, se fractais matemáticos são regulares e determinísticos, com iniciador, gerador e regra recursiva definidos e imutáveis, em sistemas naturais há margem para imperfeições e variações. Ao

³⁸ Formas de cálculo da dimensão fractal estão presentes em Cimini *et al* (2021) e em Ribeiro (2004).

adicionar algum grau de aleatoriedade em iniciadores, geradores ou regras recursivas para emular essa variabilidade, os resultados são mais irregulares. Abordagens desse tipo permitem simular elementos naturais com estruturas complexas de forma bem realista através de processos simples. Por isso, pode não haver perfeita simetria em sistemas naturais e humanos, mas semelhança estatística que envolve transformação de escala assimétrica, ou autoafinidade.

A Figura 2.10 apresenta simulações fractais de estruturas naturais como costa marítima, agregado de difusão limitada (estruturas naturais como cristais dendríticos, ruptura dielétrica, rios, árvores, flocos de neve) e alvéolos pulmonares. Estruturas autoafins formadas dessa maneira são mais estáveis e tolerantes a erros que as simétricas, o que favorece a evolução com especialização em sistemas ecológicos e humanos.

Figura 2.10 – Fractais naturais e simulações fractais



Costa marítima

Agregado de difusão limitada

Alvéolos pulmonares

Fonte: MANDELBROT e HUDSON, 2007, p. 173, 176 e 178.

A abordagem fractal permite a consideração simultânea de determinismo global e aleatoriedade local (PETERS, 1994). “Tal é o poder dos fractais e do acaso trabalhando juntos: regras simples constroem estruturas complexas, e estruturas complexas se desconstroem em regras simples.” (MANDELBROT e HUDSON, 2007, p. 175)

Uma das vantagens da geometria fractal é a possibilidade de descrever estruturas complicadas, por vezes irregulares, com poucos parâmetros associados às invariâncias de escalonamento. Além disso, a dimensão fractal indica a necessidade de deslocar o foco da análise para os processos de formação, que envolvem repetição com recursividade e algum grau de aleatoriedade, capazes de gerar comportamentos inesperadamente complicados, mas altamente estruturados. (MANDELBROT, 1997, p. 57)

A rugosidade de uma série temporal costuma ser medida pela sua volatilidade (desvio padrão ou variância). A rugosidade pode revelar dimensão fractal, com discontinuidades não admitidas pela estatística padrão. Nesses casos, o fator de escalonamento é o tempo, tornando difícil identificar se um gráfico se refere a dados diários, semanais, mensais ou anuais sem

observar as referências do eixo. Em algumas séries, a volatilidade é variável, evidenciando que é essencial considerar o tempo: há períodos calmos e outros conturbados.

Por derivarem de processos que se repetem indefinidamente, fractais matemáticos têm invariância em todas as escalas, isto é, o expoente de escalonamento é único. Já fractais naturais e humanos têm memória longa, mas finita: param de escalar ou mudam o fator de escalonamento de acordo com faixas de escala. Isto é, séries temporais podem apresentar alteração da invariância de escalonamento em diferentes horizontes temporais. Neste caso, são denominados multifractais, relacionados à intermitência da turbulência e à distribuição assimétrica de variações (concentração ou agregação de volatilidade). (MANDELBROT, 1997; MANDELBROT e HUDSON, 2007)

A mudança da taxa de escalonamento se deve à alteração da persistência da memória dos processos e pode indicar ciclos não-periódicos, com mudança nos efeitos de eventos com o passar do tempo. Na economia, por exemplo, as regras de variação de preço se alteram desde escalas temporais de curto prazo marcadas por especulação até escalas mais longas dominadas por efeitos de fundamentos econômicos. (PETERS, 1994)

Segundo Mandelbrot (1997, p. 28), a aplicação da abordagem fractal à economia e às finanças reside em dois aspectos:

- 1) Possibilidade de identificar o escalonamento como princípio de invariância;
- 2) Reconhecimento da maior versatilidade da teoria da probabilidade, sendo possível admitir diferentes estados de aleatoriedade. Processos aleatórios de escalonamento não-brownianos permitem variações que contenham: intermitência (períodos calmos intercalados com outros turbulentos); concentração de volatilidade em vez de uniformidade; e ciclos não periódicos, associados a dependência estatística de longo prazo (memória).

2.3.3 Expoente de Hurst

A estatística adota uma abordagem probabilística em vez de buscar explicação determinística. Como um sistema possui muitas partes e interações entre elas, avaliam-se relações entre variáveis sem investigar o processo causal que gerou a série temporal. Os instrumentos da estatística padrão exigem assumir que o sistema é aleatório com variações iid.

Mas as variações de algumas séries temporais sugerem que processos no mundo real envolvem não linearidades, descontinuidades e dependência temporal, com correlações que decrescem, mas tão lentamente que não desaparecem. O crescimento da variância pode não ser proporcional ao tempo (ou desvio padrão $\propto t^{0,5}$) como no movimento browniano.

No início do séc. XX, o hidrólogo britânico Harold Edwin Hurst trabalhou com controle de inundações no Egito para garantir o regular fornecimento de algodão para a indústria inglesa. Pela análise de longas séries históricas de vazões do rio Nilo, Hurst percebeu que a amplitude (*range*) entre a vazão mínima e a máxima do rio aumentava mais rapidamente que no caso de variações aleatórias (proporcional a $t^{0,73}$ em vez de a $t^{0,5}$) e parecia haver uma relação entre a sequência de eventos. Assim, para projetar reservatórios ou definir estratégias de descarga hídrica, era preciso considerar memória de longo prazo e maior probabilidade de eventos extremos em vez de assumir variações independentes de um ano para o outro, como no procedimento padrão. (MANDELBROT e HUDSON, 2007)

Além do rio Nilo, Hurst encontrou correlação temporal em séries de longo prazo de vazões de outros rios, manchas solares, pluviosidade, temperatura, anéis de árvores e perfis de rochas sedimentares (PETERS, 1994, p. 58). Isso sugeria que dependência de longo alcance, ou persistência de memória, seria comum na natureza.

Mandelbrot desenvolveu a análise *Rescaled Range* (R/S) que permite distinguir dependência temporal. Em resumo, o procedimento consiste em dividir a série temporal em intervalos de tamanhos variados, e calcular, para subséries de mesmo tamanho, a média da razão entre a amplitude das variações acumulada no intervalo, ou *range* (R) (máximo menos mínimo), e o desvio padrão (S). A média da razão R/S ordenada pelo tamanho do intervalo segue uma lei de potência com expoente H, conhecido por expoente de Hurst (WERON, 2002). Trata-se de uma medida da taxa de escalonamento da amplitude e do desvio padrão com o tamanho do intervalo (tempo).

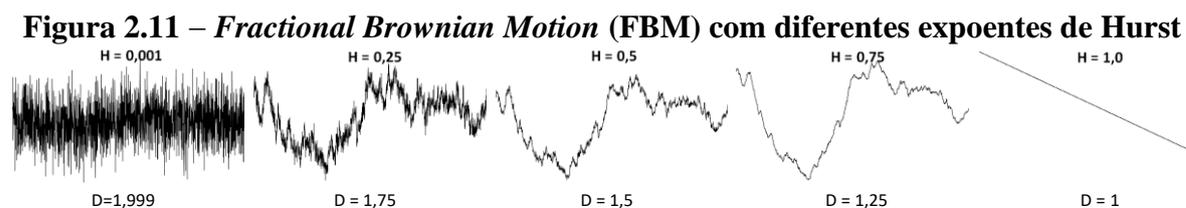
O expoente de Hurst é uma medida da persistência da memória e se relaciona com correlação temporal entre as variações pela fórmula $C(t) = 2^{2H-1} - 1$, assumindo valores entre 0 e 1: (PETERS, 1994; RIBEIRO, 2004)

- se $H = 0,5$, as variações são independentes e igualmente distribuídas (iid), sem correlação temporal ($C(t) = 0$), e a série se comporta como caminho aleatório.
- se $0,5 < H < 1$, há persistência da memória ($C(t) > 0$) com variações positivamente correlacionadas (mesmo sentido), ocorrendo um processo de amplificação, ou reforço de variações.
- se $0 < H < 0,5$, a memória é anti-persistente ($C(t) < 0$) com variações negativamente correlacionadas. Nesses casos, tende a haver reversões típicas de processos de dissipação.

Mandelbrot associou as descobertas de Hurst ao comportamento dos preços do algodão, que apresentam descontinuidades e dependência temporal (efeitos Noé e José). Em um esforço

de generalizar o processo de movimento browniano para ampliar a aplicação da teoria de probabilidades sob condições em que as variações não são independentes, mas exibem correlação temporal, Mandelbrot desenvolveu, em 1965, o *Fractional Brownian Motion* (FBM)³⁹, que adota o expoente de Hurst na função de covariação. (MANDELBROT, 1997)

A Figura 2.11 apresenta exemplos de séries de FBM geradas com diferentes valores expoentes de Hurst (H), mas a partir das mesmas semente e sequência aleatória⁴⁰.



Fonte: elaboração própria a partir de programa de Shiyu Ji na linguagem Python.

Disponível em: <<https://commons.wikimedia.org/wiki/File:BrownFractionalH75Seed0.svg>>.

Observa-se o efeito do expoente de Hurst na rugosidade da curva, ou preenchimento de espaço, o que permite relacioná-lo à dimensão fractal da série pela expressão $D = 2 - H$ (MANDELBROT, 1997, p. 37). Trata-se de uma medida da invariância do escalonamento, isto é, a taxa de ampliação que preserva as características de autoafinidade.

Se H é próximo de zero, as violentas flutuações negativamente correlacionadas preenchem quase todo o espaço de duas dimensões. À medida que H se eleva, a rugosidade diminui, assim como a dimensão fractal. Para $H = 0,5$, tem-se comportamento de passeio aleatório, com independência das variações. Valores de H maiores que 0,5 resultam em séries com variações positivamente correlacionadas (maior probabilidade de movimento no mesmo sentido), com menor rugosidade e maior deslocamento vertical. O extremo $H = 1$ gera comportamento linear, sem rugosidade e dimensão unitária.

O método *Rescaled Range* (R/S) para cálculo do expoente de Hurst tem a vantagem de gerar uma medida adimensional, o que facilita comparações entre diferentes fenômenos e no longo prazo de séries não estacionárias. Mas o procedimento produz estimativa enviesada do expoente da lei de potência para séries não muito longas, exigindo correção. A adoção da amplitude (*range*) no numerador também torna a medida mais sensível a extremos.

Um método alternativo, considerado mais preciso, é o *Detrended Fluctuation Analysis* (DFA). De forma semelhante ao método R/S, inicialmente o método DFA consiste em dividir

³⁹ Apesar de contemplar correlação temporal, o processo FBM gera série com distribuição normal de variações. Assim, a caracterização de sistemas complexos exige não só que H difira de 0,5, mas também que a distribuição das variações seja leptocúrtica, com maior probabilidade de eventos extremos.

⁴⁰ Outras sementes e sequências aleatórias resultariam em formas diferentes, mas de rugosidade similar.

a série temporal em intervalos de diferentes tamanhos e calcular subséries pelo acúmulo das variações em cada intervalo. Mas o método DFA tira a tendência linear dessas subséries, considerando a diferença entre a subsérie e a reta de melhor ajuste, e calcula o desvio padrão de cada subsérie sem a tendência. Depois são calculadas as médias das subséries de cada tamanho de intervalo. Tais médias se relacionam aos tamanhos dos intervalos segundo uma lei de potência de expoente H . (MOREIRA *et al.*, 1994; WERON, 2002)

Como processos naturais e humanos não são infinitos como simulações computacionais, as propriedades fractais de seus sistemas são limitadas a faixas de escalas em vez de infinitas como nos fractais matemáticos. Por isso, sistemas naturais e humanos podem ter estrutura multifractal, com mais de uma invariância de escalonamento, cada uma relativa a determinada faixa de escala. Caso a regra que conduz o processo deixe de atuar a partir de determinada escala, o expoente que Hurst pode assumir valor 0,5 a partir de certo ponto, indicando aleatoriedade de variações. Mas o expoente também pode assumir outros valores conforme a escala analisada, indicando alteração do viés de aleatoriedade na persistência da memória de eventos e mudança de regra de processos.

O cálculo do expoente de Hurst considerando a possibilidade de multifractalidade permite calcular não apenas o grau de persistência da memória (valor do expoente H), mas também o tamanho médio dos ciclos não periódicos, ou tempo médio a partir do qual os efeitos de eventos são alterados. (MANDELBROT, 1997; PETERS, 1991, 1994)

A econofísica, em especial em finanças, adota o expoente de Hurst para analisar séries temporais de preços ou retornos de ações que contêm variações abruptas e descontinuidades.

De repente, a turbulência deixa de ser uma metáfora. Os multifractais fazem da turbulência uma maneira fundamentalmente nova de analisar as finanças. Os mercados não mais aparecem nos padrões inteiramente racionais e bem-comportados dos teóricos financeiros do passado. Eles são vistos pelo que são: sistemas dinâmicos, imprevisíveis e às vezes perigosos de transferência de riqueza e poder. (MANDELBROT e HUDSON, 2007, p. 153)

2.3.4 Espectro de frequências da Transformada de Fourier

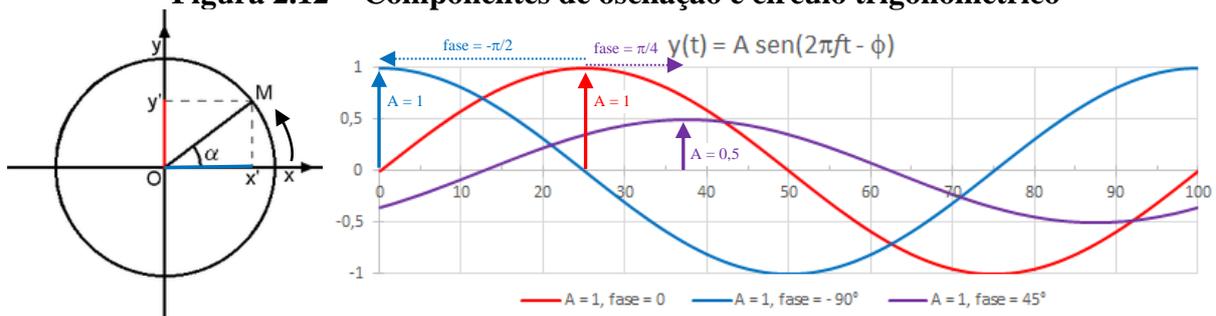
Uma série temporal discreta é expressa pelos valores de uma variável assumidos em instantes de um intervalo. Mas é possível descrever a mesma sequência pelo somatório de movimentos oscilatórios de diferentes frequências, matematicamente representadas por senos ou cossenos, com suas respectivas amplitudes e fases.

A representação no domínio de frequências tem importantes aplicações em física, que vão além de estudos de mecânica ondulatória, acústica e ótica. Em um extremo, cita-se o

modelo do Sistema Solar de Ptolomeu no séc. II, que adotava epiciclos (círculos com centro em outros círculos) de diferentes taxas de rotação (frequências), raios (amplitudes) e defasagens (fases) para dar conta dos complicados movimentos de corpos celestes, como aparentes movimentos retrógrados, devido aos equivocados pressupostos de órbitas circulares perfeitas e posição central da Terra. Em outro extremo, a física quântica adota a dualidade onda-partícula da matéria, estabelecida por de Broglie, que permite representar a matéria usando tanto as dimensões espaço-tempo quanto comprimentos de ondas e frequências. Se a abordagem de Ptolomeu obscureceu os processos apenas revelados por Kepler no séc. XVII, ao adotar órbitas elípticas e colocando o Sol no centro do Sistema Solar, a física quântica permitiu a explicação de fenômenos contraintuitivos e cálculos da evolução de sistemas através da equação de Schrödinger, com probabilidades associadas a funções de onda. A espectrografia é outro ramo de aplicação do domínio de frequências que permite descobrir de que materiais são compostas estrelas e se estão se afastando ou aproximando (efeito Doppler).

Um movimento oscilatório é descrito pela função no tempo: $y(t) = A \text{sen}(2\pi ft - \phi)$, onde A é a amplitude, f , a frequência e ϕ , a fase. A função também poderia ser um cosseno, já que as duas funções se diferenciam apenas pela defasagem: $\cos(t) = \text{sen}(t + \pi/2)$. A Figura 2.12 mostra o círculo trigonométrico unitário (círculo de raio 1 centrado na origem), em que as funções seno e cosseno são as projeções na ordenada (em vermelho) e na abscissa (em azul), respectivamente, de uma revolução (2π radianos, ou uma rotação de 360°) em torno do perímetro do círculo no sentido anti-horário partindo de $x = 1$ e $y = 0$. À direita, são mostradas três funções senoides de mesmo período ($T = 100$), ou frequência ($f = 1/T = 0,01$), com suas amplitudes e fases. A curva vermelha representa a função seno de amplitude 1 e fase 0, reproduzindo a projeção no eixo y da revolução em torno do círculo trigonométrico. A curva azul se diferencia da vermelha apenas pela fase de $-\pi/2$ rad (-90°), ou antecipação de um quarto de ciclo, igualando-se ao cosseno, ou projeção da revolução no eixo x . A curva roxa tem metade da amplitude ($A = 0,5$) e fase de $\pi/4$ rad (45°), ou atraso de $1/8$ do período.

Figura 2.12 – Componentes de oscilação e círculo trigonométrico



Fontes: elaboração própria e círculo trigonométrico obtido em: <<https://pt.wikipedia.org/wiki/Seno>>

O matemático e físico francês Jean-Baptiste Joseph Fourier foi pioneiro na investigação da possibilidade de decomposição de funções periódicas em séries trigonométricas no início do século XIX. A transformada de Fourier consiste em descobrir os coeficientes complexos $F(\omega)$ ou C_n (com partes real e imaginária) das expressões a seguir:

- caso contínuo: $f(t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} F(\omega) e^{i\omega t} d\omega$, ou $f(t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} F(\omega) (\cos \omega t + i \sin \omega t) d\omega$
 - caso discreto: $f(t) = \frac{1}{2\pi} \sum_{n=-\infty}^{\infty} C_n e^{i\omega_n t}$, ou $f(t) = \frac{1}{2\pi} \sum_{n=-\infty}^{\infty} C_n (\cos \omega_n t + i \sin \omega_n t)$
- onde $\omega \equiv 2\pi f$ é a frequência angular. Fórmula de Euler: $e^{it} = \cos t + i \sin t$.

No caso de análise de séries temporais, é possível calcular a transformação discreta de Fourier (*Discrete Fourier Transform* – DFT). Além de discreta, a série temporal é finita, com um total de N observações. Assim, caso se assuma que esta série é periódica (repete-se indefinidamente), é possível considerar apenas múltiplos inteiros (κ) da frequência fundamental ($f_0 = 1/N$) de 1 a $N/2$ (obs: C_0 é a constante equivalente ao valor médio da série).

$$f(n) = \frac{1}{2\pi} \sum_{\kappa=0}^{N/2} C_n e^{i2\pi\kappa f_0 n}, \quad \text{ou} \quad f(n) = \frac{1}{2\pi} \sum_{\kappa=0}^{N/2} C_n (\cos 2\pi\kappa f_0 n + i \sin 2\pi\kappa f_0 n)$$

Após encontrar as componentes reais (a_n) e imaginárias (b_n) do coeficiente complexo $C_n/2\pi = a_n + i b_n$, é possível calcular as amplitudes e as fases⁴¹ que resultam na expressão

$$f(n) = \sum_{\kappa=0}^{N/2} A_{\kappa} \cos(2\pi\kappa f_0 n - \phi_{\kappa}), \quad \text{onde} \quad \text{(HIGUCHI, 1990)}$$

n : contagem de tempo A : amplitude ϕ : fase em radianos (entre $-\pi$ e π)
 N : quantidade de dados κ : número de onda f_0 : frequência fundamental ($f_0=1/N$)

A transformada inversa de Fourier faz o procedimento contrário, retornando a série original ao somar todas as frequências com suas respectivas amplitudes e fases.

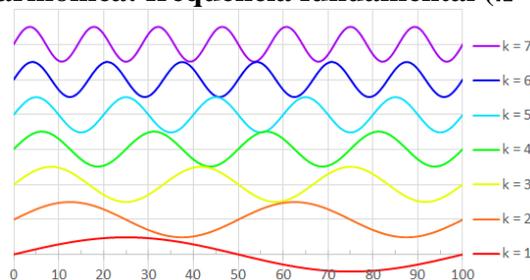
Apesar da aparente complicação das fórmulas, elas significam que qualquer série temporal pode ser perfeitamente expressa pela composição de funções senoides (harmônicas). Por exemplo, se uma série temporal discreta de 100 momentos requer 100 valores para ser descrita, essa mesma série resulta da combinação de 50 frequências, com suas respectivas amplitudes e fases. Isto é, a transformada de Fourier não apenas reproduz a mesma sequência como é igualmente econômica (ou 100 valores da série ou 50 amplitudes e 50 fases).

A Figura 2.13 apresenta algumas senoides, de mesma amplitude e sem fase, sobrepostas, identificadas pelo número de onda κ ($\kappa = 1$ corresponde à frequência $f = 1/T = 0,01$, para $T = 100$). Pode-se fazer uma analogia da DFT com a série harmônica excitada em uma corda fixa nas duas extremidades, ou ondas estacionárias. Como as pontas não se movem, um estímulo na

⁴¹ $A_n = 2 \times \sqrt{(a_n^2 + b_n^2)}$ (se N é par, para $A_{N/2}$ não se multiplica por 2) e $\phi = \arctg\left(\frac{b_n}{a_n}\right)$

corda produzirá ondas sonoras de todas as frequências múltiplas da frequência fundamental⁴². Dependendo da posição que se bate na corda, cada harmônico pode ter amplitude maior ou menor.

Figura 2.13 – Série harmônica: frequência fundamental ($\kappa = 1$) e alguns múltiplos



Fonte: elaboração própria.

Mas a analogia não considera a possibilidade de diferentes fases. No caso da corda fixa, a fase seria zero para todas as frequências. A possibilidade de defasagem entre os harmônicos altera as relações de interferência construtiva ou destrutiva, ampliando a capacidade de produção de sinais, como discutido adiante.

Para analisar sons, cores ou imagens, pode-se realizar a transformada inversa de Fourier com filtros de frequência para destacar aspectos do sinal. Um filtro passa-baixa considera apenas a soma das frequências menores que determinado valor, resultando em sons mais graves, cores mais avermelhadas/alaranjadas (como o pôr do sol) e imagens com bordas suavizadas (redução de contraste). Já um filtro passa-alta leva em conta apenas as maiores frequências, produzindo sons mais agudos, cores mais azuladas/violetas (como a cor do céu durante o dia) e bordas de imagens mais nítidas (aumento de contraste). Ainda há filtros passa-banda que permitem retirar as extremidades e considerar faixas do espectro. Filtros podem ser usados para separar o sinal do ruído.

Ao se analisar uma série temporal, a transformada inversa de Fourier com filtro passa-baixa retornará uma série mais suavizada, que destaca os movimentos de longo prazo, com tendências e ciclos (mesmo que não periódicos), mas com menos oscilações associadas à rugosidade em escalas menores. Já um filtro passa-alta manterá apenas as oscilações de curto prazo sem os longos movimentos da série.

⁴² Na transformada de Fourier, a frequência fundamental corresponde a $\kappa = 1$, representando um ciclo completo no intervalo total da série temporal ($T = N$). Todas as demais frequências são múltiplos inteiros dessa frequência. Mas, no caso da corda com extremidades fixas, a frequência fundamental seria metade desse valor, já que o maior ciclo se completa com uma oscilação para cima e outra para baixo. A frequência fundamental da corda seria definida pela razão entre velocidade de propagação da onda – relacionada à tensão da corda e sua densidade – e o dobro do tamanho da corda (maior comprimento de onda possível).

Cabe ressaltar que o método DFT encontra amplitudes e fases supondo repetição infinita da série, como se os tempos não disponíveis no passado e no futuro apresentassem a mesma sequência. Isso leva a problemas de fronteira, com menor precisão nas extremidades da série ao adotar filtros.

Mas a aplicação da transformada de Fourier no estudo de sistemas complexos não se resume à passagem ao domínio da frequência. Afinal, qualquer série pode ser convertida para esse domínio⁴³. É a análise do espectro das frequências (relação entre amplitudes e frequências) que pode conter pistas. Uma distribuição aleatória, em que as probabilidades de amplitudes são similares para todas as frequências, implica em ruído branco⁴⁴.

Já uma distribuição que apresenta amplitude(s) de alguma(s) frequência(s) bem superiores pode indicar ciclos periódicos mais marcados. Por exemplo, a verificação empírica da regularidade de ciclos econômicos⁴⁵ exigiria encontrar amplitudes de algumas frequências que se destacam no espectro, dentre todas as demais. Mas, se muitas frequências estão presentes no sinal, uma análise que busque a contribuição de apenas um ciclo pode ter sucesso, mesmo que as demais frequências impeçam periodicidade.

Ao investigar ciclos econômicos, Slutsky (1937) originou processos ondulatórios em séries criadas a partir da soma de causas aleatórias segundo alguma regra, o que criava correlação temporal. Também identificou pontos críticos que marcavam mudanças entre regimes quando deduziu de séries a soma das oscilações das menores frequências, obtidas a partir da transformada de Fourier com os recursos computacionais da época.

Com a disponibilidade de computadores eletrônicos, passou a ser possível calcular transformadas de Fourier completas de séries em vez de estimar amplitudes apenas de poucos períodos pré-determinados para confirmar hipóteses de ciclos periódicos.

Sistemas complexos caracterizam-se por espectro de amplitudes em lei de potência com expoente negativo ($A(f) \propto f^{-\alpha}$, ou $A(f) \propto 1/f^{\alpha}$). A maior relevância de baixas frequências indica dependência de longo alcance ou persistência de memória no sistema. Mas o espectro em lei de potência também revela contribuições de todas as frequências, com dinâmicas em várias escalas temporais, como ocorre com processos que geram fractais. Apesar da menor amplitude de altas frequências, o método DFT implica na existência de muitas altas frequências, não sendo

⁴³ O modelo do Sistema Solar de Ptolomeu evidencia que mesmo uma descrição acurada no domínio da frequência pode não contribuir para o avanço da compreensão dos processos envolvidos no fenômeno.

⁴⁴ A cor branca é a mistura de todas as cores do arco-íris, como na experiência do disco de Newton.

⁴⁵ Alguns dos ciclos sugeridos em estudos econômicos: de Kitchin (período de 3 a 4 anos); de Juglar (de 7 a 10 anos); de Kuznets (de 15 a 20 anos); de Kondratieff (cerca de 50 anos); e de Sartore (acima de 50 anos).

possível desprezar a contribuição do conjunto de altas frequências, associada a variações abruptas (como o aumento do contraste em imagens ressalta as bordas)⁴⁶. Ou seja, há tanto persistência quanto mudanças abruptas.

Séries temporais com padrão autoafim seguem espectro em lei de potência, com o expoente relacionado à irregularidade da série, ou dimensão fractal. Considerando o espectro de densidade de potência em vez do espectro de amplitude⁴⁷, como é usual na física, a distribuição em lei de potência implica em $P(f) \propto f^{-\beta} = 1 / f^{\beta}$, onde β é o índice da lei de potência. Esse índice se relaciona com a dimensão fractal D e com o expoente de Hurst pelas expressões: $D = (5-\beta)/2$ e $\beta = 1 + 2H$, já que $D = 2 - H$.⁴⁸ (HIGUCHI, 1990)

O espectro em lei de potência com expoente negativo é conhecido por ruído $1/f$ ($1/f$ noise), sendo comum na natureza e em sistemas humanos. Segundo Ward e Greenwood (2007), desde as primeiras observações na década de 1920, processos de memória longa com correlações de longo prazo e comportamento de espectro caracterizado $1/f^{\beta}$ ($0,5 < \beta < 1,5$), que destacam a maior relevância de baixas frequências, foram observados em física, tecnologia, biologia, astrofísica, geofísica, economia, psicologia, linguagem e música, sendo a ubiquidade do ruído $1/f$ um mistério da ciência contemporânea.

O $1/f$ noise situa-se entre o ruído branco (*white noise*), em que não há correlação temporal e o caminho aleatório (*brown noise*, ou movimento browniano), em que não há correlação entre variações. O ruído rosa (*pink noise*), com $\beta = 1$, é o caso de maior interesse por ter sido associado a criticalidade auto-organizada por Bak, Tang e Wiesenfeld (1987, 1988) na simulação de monte de areia. Mas a forma mais geral, com $0 < \beta \leq 3$, muitas vezes também é referida como ruído $1/f$, dependência de longo alcance ou memória longa. (WARD e GREENWOOD, 2007)

A Figura 2.14 traz exemplos de sinais que se comportam como ruídos branco, rosa e movimento browniano, com seus respectivos espectros de densidade de potência em escala logarítmica⁴⁹ e os expoentes β (0: ruído branco; 1: ruído rosa; e 2: movimento browniano).

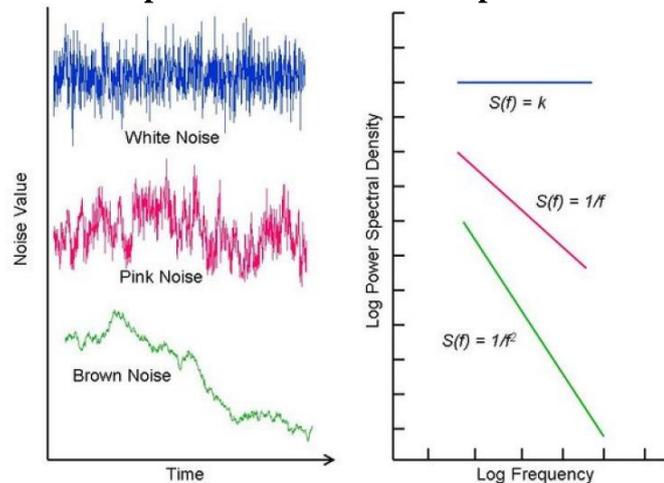
⁴⁶ Já que as frequências são múltiplas da frequência fundamental, a diferença entre períodos ($T = 1/f$) reduz progressivamente ao se aumentar a frequência.

⁴⁷ O espectro de densidade de potência $P(f)$ é dado por $P(f) = A_f^2 / N$, isto é, proporcional ao quadrado da amplitude (A). Isso faz com que os expoentes dos espectros da lei de potência da amplitude (α) e da densidade de potência (β) se relacionem por $\beta = 2\alpha$. (HIGUCHI, 1990)

⁴⁸ Entretanto, a relação $D = (5-\beta)/2$ é uma aproximação linear válida na região próxima a $\beta = 2$ e $D = 1,5$ ($H = 0,5$), havendo maior precisão na faixa $1,2 < D < 1,8$. (HIGUCHI, 1990)

⁴⁹ Na transformação logarítmica, a função potência se torna reta com inclinação igual ao expoente.

Figura 2.14 – Sinais e espectros de densidade de potência e escala logarítmica



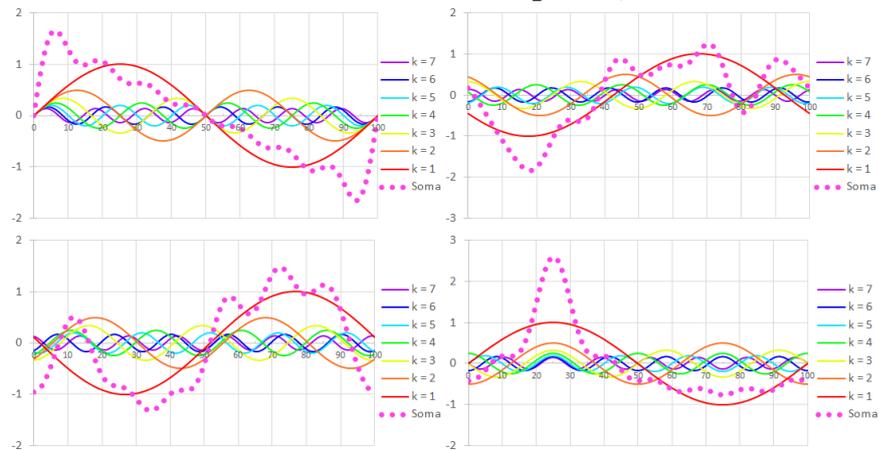
Fonte: Ward e Greenwood (2007). Disponível em: <http://www.scholarpedia.org/article/1/f_noise>

Entretanto, o espectro não carrega todas as informações da transformada de Fourier, mas apenas as associadas às amplitudes (ou densidade de potência). O espectro não diz nada sobre as fases das diversas frequências e, conforme a defasagem entre as frequências, pode haver formação de variadas formas, com diferentes rugosidades.

Higuchi (1990) mostrou que, apesar de uma série com padrão autoafim exibir espectro em lei de potência, séries temporais de mesmo índice de espectro (β) podem ter vários comportamentos e dimensões fractais a depender da distribuição de fase. A distribuição de fase afeta decisivamente a irregularidade e a dimensão fractal associada à rugosidade, por ter relação com as interferências construtivas e destrutivas entre as oscilações.

Os gráficos da Figura 2.15 mostram quatro simulações de sinais (curva rosa pontilhada) a partir da composição de funções cosseno dos sete primeiros números de onda, adotando mesmo espectro de densidade de potência $1/f^2$ ($\beta = 2$), mas diferentes fases. No primeiro gráfico, todas as fases são iguais a zero, como ocorre no exemplo de extremidades fixas. Os dois gráficos seguintes foram gerados com frequências aleatórias, resultando em sinais variados, mostrando que cada definição do conjunto de fases levaria a sinais diferentes, tanto na forma quanto de rugosidade (volatilidade). Já no último gráfico, as fases são múltiplas inteiras da fase da frequência inicial ($\theta_\kappa = \kappa \theta_1$), sendo a fase da frequência fundamental (θ_1) definida como defasagem de 90° , ou $1/4$ de ciclo. Isso fez com que os máximos de todas as frequências coincidam no momento $t = 25$ (no caso de $T_1 = 100$), gerando um sinal com variação súbita (pico bem maior que nas outras simulações) e relativa estabilidade nos demais momentos.

Figura 2.15 – Sinais formados com mesmo espectro, mas com diferentes fases



Fonte: cálculos próprios

Este fato está na raiz da crítica de Mandelbrot (1999, p. 81 e 111) de que o $1/f$ noise agrupa muitos resultados diferentes. Eventos extremos e intermitência dependem não apenas do espectro das amplitudes, mas também da distribuição de fases.

Como alertou Mandelbrot (1997, p. 38), o espectro da transformada de Fourier e o expoente de Hurst são técnicas estatísticas delicadas. Assim, a análise de irregularidades de séries temporais exige a combinação de instrumentos de sistemas complexos.

2.4 Conclusão

Sistemas complexos são compostos por muitos elementos que selecionam o comportamento de acordo com o contexto local e por influências de relações. Como existem tendências e contratendências de alinhamento de estado comportamental concomitantes, o resultado agregado depende de como os elementos se organizam. Há propriedades emergentes não passíveis de dedução pela mera observação dos elementos.

Quando tendências de alinhamento prevalecem, processos de auto-organização com coordenação descentralizada resultam na formação de agrupamentos em que os elementos agem em conformidade. Nessas condições, há relativa estabilidade nos agrupamentos, especialmente nos maiores pela maior resistência a perturbações. Mas pode haver deterioração das condições que garantem a coesão quando contratendências ao alinhamento, como devido a agitação, são mais relevantes.

Mas uma característica essencial de sistemas complexos é a existência de criticalidade na transição de fase entre ordem e desordem, quando tendências e contratendências se compensam e condições locais variáveis permitem a formação de agrupamentos de diversos tamanhos, resultando em estruturas com invariância de escala, como fractais. Nessas condições, a transmissão de informação pelo sistema adquire grande velocidade, com propagação de

novidades por cadeias de reações, como avalanches, que impactam sucessivamente agrupamentos de diferentes escalas. Na criticalidade, há alta volatilidade de variáveis agregadas do sistema, o que induz transformações que resultam em reorganização do sistema, dificultando a previsibilidade. Em sistemas complexos, a criticalidade é auto-organizada, isto é, há tendência endógena de o sistema passar por transições de fase entre períodos de ordem e de desordem. Isso ocorre devido ao acoplamento entre tendências e contratendências, isto é, a acumulação de um tipo de efeito dispara reações contrárias.

Sistemas complexos adaptativos – em que há geração endógena de novidades – evoluem fora do equilíbrio e não têm regras rígidas nem claras graças ao desenvolvimento de novas características e tipos de relações. Nesses sistemas vivos, processos adaptativos conforme contextos locais produzem variedade pela exploração de nichos ou por aprofundamento de especialização. A interação repetida favorece a auto-organização com o estabelecimento de regras relacionais que conferem maior estabilidade e previsibilidade, permitindo especialização com divisão de atribuições no grupo e melhoria de desempenho, além de maior robustez. Por isso, sistemas complexos são favorecidos em processos evolutivos, tornando-se comuns na natureza e na sociedade.

Como em sistemas complexos as perturbações podem se propagar por cadeia de eventos segundo a estrutura organizacional, a propagação de novidades comporta desde múltiplas oscilações de pequena duração e importância até movimentos coordenados com considerável impacto no sistema e efeitos de longo prazo. Diversas respostas e adaptações possíveis podem atuar no sentido de reforçar ou absorver as perturbações, resultando em persistência ou anti-persistência. Eventos podem gerar consequências duradouras, por afetar comportamentos e regras relacionais. Isto é, perturbações podem resultar em efeitos não lineares devido a mudanças na organização do sistema. Dinâmicas endógenas fora do equilíbrio produzem trajetórias dependentes de caminho marcadas por transições (bifurcações) que ressaltam a relevância do tempo.

Séries temporais de variáveis agregadas de sistemas complexos exibem efeito de memória (correlação temporal) e detalhes em diferentes escalas (estrutura fractal). Isto é, em vez de comportamento suave e contínuo esperado pela lei dos grandes números, a variável agregada apresenta descontinuidades e não linearidade refletidas em medidas de rugosidade.

Em vez de distribuição normal, variáveis agregadas de sistemas complexos se caracterizam por maior probabilidade de eventos extremos. Além de revelar a inadequação da estatística padrão e de modelos baseados na suposição de equilíbrio, *outliers* são fundamentais para a compreensão de sistemas complexos, tanto por serem resultantes dos processos quanto

por provocarem instabilidades e induzirem reorganizações.

Para avaliar se a economia se comporta como sistema complexo, é preciso adotar instrumentos de análise apropriados. A distribuição de variações e a curtose podem mostrar se há desvios significativos com relação à distribuição normal, já que sistemas complexos possuem variáveis agregadas com distribuição leptocúrtica, com maior probabilidade de eventos extremos assim como excesso de pequenas variações. A análise da variância ao longo do tempo pode evidenciar agregação de volatilidade, ou seja, alternância entre períodos mais calmos e períodos agitados, em que ocorrem ajustes, variadas respostas e reorganização.

O espectro de frequências da transformada de Fourier pode revelar se variáveis agregadas se comportam como se fossem aleatórias (ruído branco) ou se apresentam variações aleatórias (movimento browniano) ou se existe composição de ciclos, tendências e oscilações de diferentes frequências. A distribuição das amplitudes em lei de potência com expoente negativo é um indicador de sistema complexo por evidenciar maior relevância de frequências menores (maiores períodos) que estão associadas a processos de longa duração e a dependência de longo alcance. E por implicar em contribuições de todas as frequências, indicando diversas escalas temporais sobrepostas, como fractais.

O expoente de Hurst, associado à rugosidade da série temporal e à dimensão fractal, avalia se há persistência de memória ou comportamento aleatório. Também revela se há ciclos não-periódicos, com mudança nas relações de autoafinidade com a escala, como multifractais.

Caso haja evidências de que a economia capitalista se comporta como um sistema complexo, deve-se questionar a adequação da estatística padrão que pressupõe distribuição normal e de teorias e técnicas fundadas no equilíbrio para a compreensão de dinâmicas que envolvem seleção de alternativas, influências mútuas, aprendizado, estruturas e evolução.

Apesar de a economia envolver outras relações – como as internas a organizações e as associadas a questões sociais e políticas, dentre outras – as transações no mercado, em suas diversas formas, transmitem informações (de escassez relativa, por exemplo) e induzem comportamentos que impactam a oferta e a demanda. Relações no mercado permitem divisão de trabalho com especialização e exploração de rendimentos crescentes, caracterizando um ambiente que envolve, concomitantemente, competição e cooperação com interdependência. Se interações repetidas no mercado levam à consolidação de regras relacionais (instituições), que funcionam como catalisadores, também há eventos atípicos e geração de novidades (como inovações ou guerras) que podem modificar as estruturas das relações.

3 ESTUDO EMPÍRICO DE SÉRIES DE PREÇOS COM INSTRUMENTAL DE SISTEMAS COMPLEXOS

3.1 Introdução

Interações no mercado impactam preços, que podem se caracterizar como variáveis agregadas se forem sensíveis a perturbações no sistema de diversas origens e magnitudes. Portanto, se a economia se comportar como um sistema complexo e se algum preço for variável agregada do sistema, é de se esperar que sua série temporal apresente assinaturas de sistema complexo: distribuição com alta curtose, com presença de variações extremas; contribuições de oscilações de todas as frequências, sendo as de maior período as mais relevantes (distribuição em lei de potência com expoente negativo); correlação temporal das variações em vez de aleatoriedade; e características de fractal (rugosidade com autoafinidade).

Com o objetivo de verificar se a economia se comporta como um sistema complexo, diferentes séries de preços do trigo foram submetidas a instrumentos de análise apropriados.

Adotou-se a hipótese que o preço do trigo pode ser uma variável agregada que capta perturbações do mercado, não apenas restritas ao cereal, mas abrangendo outros setores. Além de um bem de consumo essencial – base alimentar de muitas civilizações – que se relaciona a outros setores de alimentos substitutos ou complementares, o mercado do trigo afeta setores associados à sua produção (terra, insumos agrícolas, máquinas, trabalho rural), à distribuição (transportes, armazenagem, comunicação, comercialização) e a outros setores, por se tratar de alimento básico relacionado ao custo de vida e ao salário. Pode-se considerar o trigo um insumo indireto, intermediado pelo trabalho, de todos os setores da economia. Se a economia se comportar como sistema complexo, espera-se captar assinaturas temporais de complexidade.

Os preços do trigo podem variar por diversas razões. O aumento pode resultar de guerra, peste, seca, geadas, algum gargalo nas cadeias de produção e de distribuição, além dos diversos fatores que provocam crescimento da demanda. Já uma queda de preço pode ser devido a avanço tecnológico em técnicas agrícolas ou em insumos, mecanização, aumento de área produtiva, clima ou período sazonal favorável, novas formas de beneficiamento, melhorias em transportes e distribuição, preocupações nutricionais, influência de bens substitutos... Além disso, flutuações de preços também derivam de expectativas dos agentes baseadas em suposições de tendências e especulações.

Perturbações geram variadas respostas e adaptações que fazem da economia capitalista um sistema vivo, com dinâmica fora do equilíbrio. Há inúmeras combinações em efeitos de *feedbacks* de amplo espectro, resultando em circularidades e não linearidades. Processos com

reforços positivos, associados a rendimentos crescentes, efeitos de rede, consumo social e outras consequências de aprendizado, levam a mudanças qualitativas e mudanças estruturais. Movimentos de longa duração podem advir da forma de propagação de informações, da defasagem de resposta, da capacidade de adaptação de agentes e de grupos e de suas influências na rede de relações. As perturbações se propagam pelo sistema através de adaptações em ambiente competitivo, com possibilidade de formação de tendências, movimentos de manada e quebras abruptas pela atualização de expectativas.

Preços do trigo foram adotados na análise econômica por relevantes autores como Smith (1985 [1776])⁵⁰, Beveridge (1922)⁵¹, Labrousse⁵², Mandelbrot (1967)⁵³ e Braudel (2005)⁵⁴. Kondratieff (1979 [1926]) estudou séries de números índices de preços no atacado de 1780 a 1925, dentre outras séries, para caracterizar ondas longas, de duração média de cerca de 50 anos, na economia capitalista⁵⁵. Pindyck e Rotemberg (1990)⁵⁶ e Chambers e Bailey (1999)⁵⁷ perceberam inconsistências da teoria ortodoxa em estudos com séries de preços do trigo.

⁵⁰ Especialmente no cap. XI: “A renda da terra”, com tabela de preços do trigo de 1202 a 1750.

⁵¹ Usando análise harmônica, buscou estabelecer relação entre meteorologia e ciclos de colheita com preços do trigo na Europa Ocidental e Central de 1500 a 1869. Destacou o efeito combinado de diferentes ciclos.

⁵² Na tese defendida em 1932 (*l'Esquisse du mouvement des prix et des revenus en France au XVIII siècle*), Labrousse decompôs variações de preços de cereais no século XVIII em: 1) tendência secular ascendente de 1734 a 1817; 2) movimento descendente de cerca de 34 anos no início do século XIX; 3) movimento cíclico decenal dos preços (ciclo Juglar); 4) sazonalidade anual. Segundo ele, a alta dos preços dos cereais afetou grupos sociais (proprietários de terras, camponeses e trabalhadores urbanos) de formas distintas, o que ajudaria a explicar a Revolução Francesa. Já no livro de 1944 (*La crise de l'économie française à la fin de l'Ancien Régime et au début de la Révolution*), Labrousse destacou o impacto na Revolução do interciclo entre 1778 e 1787 que resultou em queda do preço do vinho, base da renda monetária camponesa. (BOYER, 2020)

⁵³ Analisou variações de preços do trigo em Chicago de 1883 a 1936, dentre outras séries, para demonstrar variância infinita em vez de distribuição gaussiana (normal).

⁵⁴ No cap. II, “O pão de cada dia”, com gráficos de: preços do trigo e da aveia de 1620 a 1700 em Paris; de frumento (melhor tipo de trigo) em Estrasburgo de 1401 a 1600 e na França de 1701 a 1950; do pão e do trigo em Veneza de 1575 a 1603. Na seção “Pois o trigo é rei”, há o seguinte trecho: “A trindade trigo, farinha, pão percorre a história da Europa. É a principal preocupação das cidades, dos Estados, dos mercadores, dos homens para quem viver ‘é morder o seu pão’. (...) Mal há uma elevação do seu preço, tudo começa a agitar-se e a tempestade ameaça” (p. 126).

⁵⁵ Para conferir os resultados de Kondratieff (1979 [1926]), foram calculadas as transformadas de Fourier das séries. Constatou-se espectro em lei de potência, indicativo de sistema complexo: 1) maior relevância das baixas frequências (ciclos longos), justificando a ênfase de Kondratieff nas ondas longas (mas as amplitudes dos ciclos mais longos, de 143 e 71,5 anos, foram ainda maiores que as de quase 50 anos); e 2) presença de todas as frequências, o que permite uma ressalva à análise de Kondratieff, que destaca um ciclo dentre vários possíveis.

⁵⁶ A partir de preços mensais de trigo, algodão, cobre, ouro, petróleo, madeira e cacau de 1960 a 1985, os autores perceberam tendência persistente de preços de *commodities* não relacionadas moverem juntos, o que não condiz com a previsão teórica neoclássica (modelo padrão competitivo de formação de preço de *commodities* com estoque), mesmo para mercadorias mais simples, como *commodities*.

⁵⁷ O modelo autorregressivo ($p_t = \alpha_0 + \sum_{i=1}^1 \alpha_i D_i + \lambda p_{t-1} + \varepsilon_t$ com o termo com somatório para captar sazonalidade; se $p_t = p_{t-1} + \varepsilon_t$, com $\lambda=1$: caminho aleatório) de flutuação de preços de curto prazo assumido pela teoria ortodoxa (modelo competitivo de armazenamento especulativo maximizador de lucros) foi testado

3.2 Transição para sistema complexo: série anual de 1264 a 1996

A série de preços anuais do trigo na Inglaterra de 1264 a 1996 corrigida pela inflação, retirada de Makridakis et al (1997)⁵⁸, permite avaliar mudanças estruturais na economia. É possível perceber na série da Figura 3.1, acompanhada de sua variação logarítmica⁵⁹: grandes oscilações em torno de um patamar até o começo do século XVI; a combinação de fortes variações com uma tendência crescente de meados do século XVI ao início do XIX; e um comportamento com tendência decrescente que alterna intervalos com leves variações, muitas vezes no mesmo sentido, com outras abruptas a partir de meados do século XIX.

Apesar de não ter sido possível esclarecer sobre as fontes dos dados e os procedimentos adotados por Makridakis et al (1997)⁶⁰, Clark (2003, 2015)⁶¹ detalha as fontes primárias e secundárias dos dados históricos disponíveis⁶².

para o caso de *commodities* armazenáveis, negociadas em mercados abertos e sujeitas a choques de oferta líquida que são distribuídas de forma heterogênea ao longo dos meses do ano. Usando preços mensais do trigo na Inglaterra de 1685 a 1850, os autores concluíram que preços geralmente variam segundo uma função autorregressiva (a hipótese $\lambda=1$ não foi rejeitada na maioria dos casos). Mas há exceções: “às vezes ocorrem aumentos de preços de uma severidade além da compatível com o processo autorregressivo” (p.582). Os autores sugerem que há momentos em que os estoques de trigo se tornam insignificantes e os preços de mercado observados excedem preços-limite (que podem variar ao longo dos meses) fazendo com que os preços deixaram de servir de base para formação de expectativas. Eles reconhecem as suposições irrealistas da teoria padrão e suas dificuldades de aplicação em um mercado considerado tanto altamente descentralizado quanto sujeito a intervenções do Estado (como as *Corn Laws* e regulações de preços de pães – mas não regulação de preços do trigo, o que levava a substituição do trigo por centeio ou aveia). Também percebem altas curtoses da distribuição de variações de preços que contrariam a teoria padrão. Além dos choques de colheita devido a fatores climáticos, os autores citam outra fonte de disrupção de mercado: turbulências causadas por guerras.

⁵⁸ Série reproduzida no site Our World in Data, mantido pela Oxford Martin School da University of Oxford.

⁵⁹ $\ln p_t - \ln p_{t-1} = \ln \frac{p_t}{p_{t-1}}$

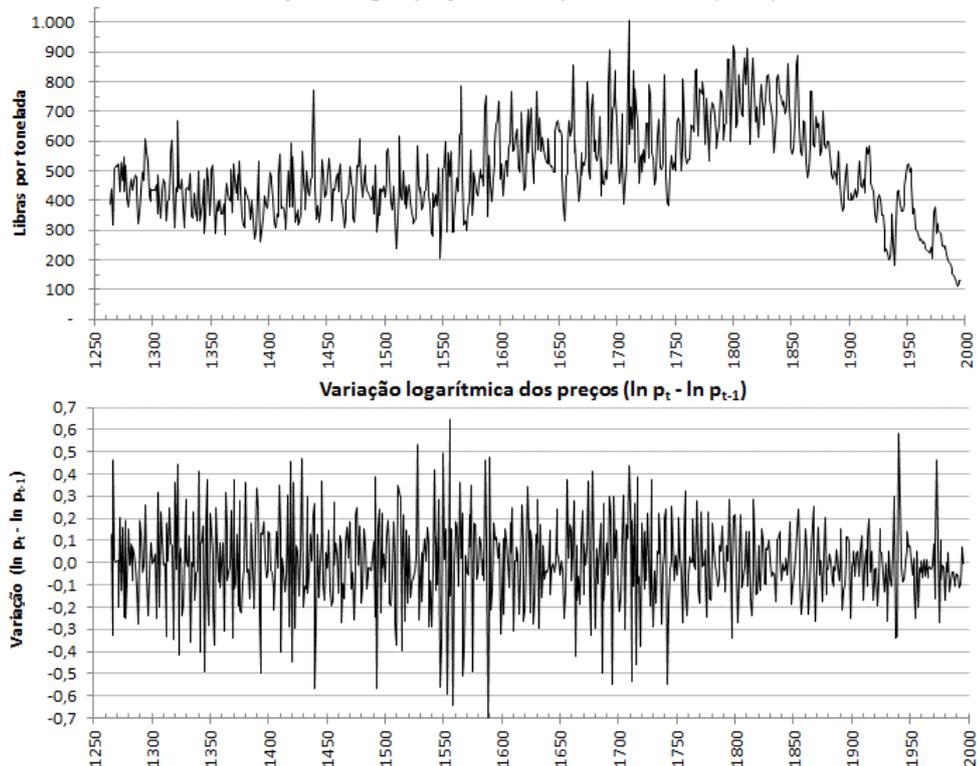
⁶⁰ Apesar da riqueza da série de Makridakis et al (1997), que permite acompanhar a evolução econômica desde o século XIII, houve dúvidas que não foram sanadas em um contato com o autor:

- a) Quais são as fontes primárias da série histórica?
- b) Qual o índice de inflação usado na conversão para preços constantes de 1996?
- c) Qual o critério adotado na definição de preço anual?
- d) Como completar a série até os dias atuais?

⁶¹ O Apêndice I reproduz os resultados utilizando a série de preços do trigo de 1260 a 1914 na Inglaterra compilada por Clark (2003) como forma de validação da série de Makridakis et al (1997).

⁶² Segundo o autor, as principais fontes de preços do trigo antes de 1750 foram Thorold Rogers, Beveridge e as séries compiladas por David Farmer para o *Agrarian History of England and Wales*, volumes 2 e 3. Essas fontes foram complementadas com preços de registros de administradores de instituições religiosas (algumas com cervejarias), de tesoureiros de cidades e da *Carpenters Company*. Após 1750, as fontes foram as séries publicadas em: *Agrarian History of England and Wales*, volumes 6 e 7, e o *Board of Trade Report* de 1903.

Figura 3.1 – Série de preços do trigo de 1264 a 1996 na Inglaterra
Preços do trigo a preços de 1996 (Makridakis et al, 1997)



Fonte: Makridakis et al, 1997, p. 459. Disponível em: <<https://ourworldindata.org/grapher/wheat-prices-in-england>>.

As mudanças na série de preços do trigo sugerem variações de indicadores ao longo do tempo. Portanto, em vez de cálculos sobre a série como um todo, optou-se por avaliar os instrumentos de sistemas complexos em janelas dinâmicas com intervalos de 100 anos cada.

Tal procedimento foi inspirado pela constatação de Ribeiro et al. (2018) de que a economia capitalista “não apenas funciona como um sistema complexo, mas também muda seu nível de complexidade ao longo do tempo” (p. 23). Isto é, ao contrário de sistemas complexos físicos que têm regras fixas, a economia pode ter a peculiaridade de comportar variação nas regras subjacentes às relações entre agentes. A análise pode revelar transições e ajudar na identificação de quando a economia passou a ter características de sistema complexo.

3.2.1 Espectro de frequências da Transformada de Fourier

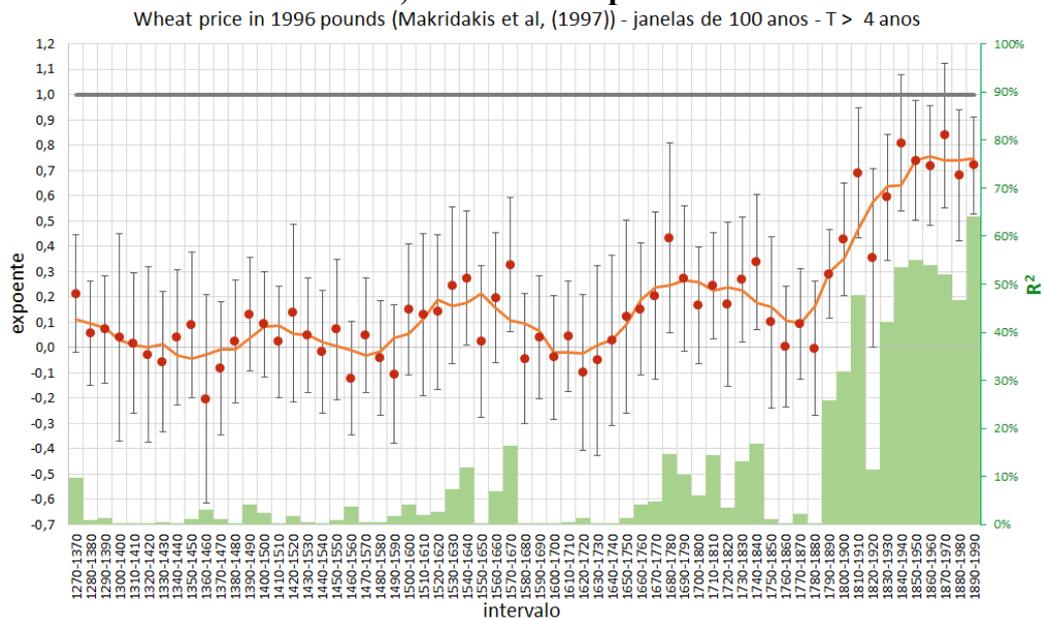
A Figura 3.2 apresenta a evolução dos ajustes em lei de potência⁶³ da distribuição de amplitudes da transformada discreta de Fourier (DFT) em janelas de 100 anos, com variação de 10 anos entre janelas. Os módulos dos expoentes (α) de cada intervalo de 100 anos (pontos

⁶³ Lei de potência: $A(f) = c f^{-\alpha}$, onde $A(f)$: distribuição de amplitude; c : constante; f : frequência; e α : expoente. Ou, na transformação logarítmica: $\log(A) = \log(c) - \alpha \log(f)$.

vermelhos, com barra de erro de previsão⁶⁴) são acompanhados da média móvel de 5 valores, centrada no intervalo corrente (linha laranja). Há também uma linha cinza com a referência $\alpha = 1$ ($A(f) = c f^{-1}$). As colunas verdes referenciadas no eixo da direita trazem o coeficiente de determinação (R^2), medida da qualidade do ajuste da regressão linear da transformação logarítmica da função potência.

O mesmo método⁶⁵ foi aplicado a todos os intervalos, sem esforços para melhorar o ajuste para obtenção de expoentes mais fidedignos. Nesta etapa, o objetivo é avaliar se há transição no tempo do expoente (α) e do ajuste do espectro em lei de potência.

Figura 3.2 – Evolução do ajuste do espectro de amplitudes em função potência em intervalos de 100 anos, considerando períodos acima de 4 anos



Fonte: cálculos próprios a partir da série de preços do trigo de 1264 a 1996 de Makridakis et al (1997).

Pelas colunas verdes, nota-se que os ajustes das amplitudes em função de potência são ruins até 1780-1880 ($R^2 < 20\%$). Apesar de a interpretação dos valores dos expoentes ser frágil, pelo mau ajuste da regressão, os valores próximos a zero sugerem comportamento semelhante a ruído branco, sem a preponderância de alguma faixa de frequência no sinal.

Entretanto, a partir do intervalo 1790-1890, os ajustes do espectro de amplitudes à função de potência melhoram consideravelmente, com R^2 atingindo patamares superiores a 50% a partir do intervalo 1840-1940. Isso indica que os preços do trigo na Inglaterra passam a

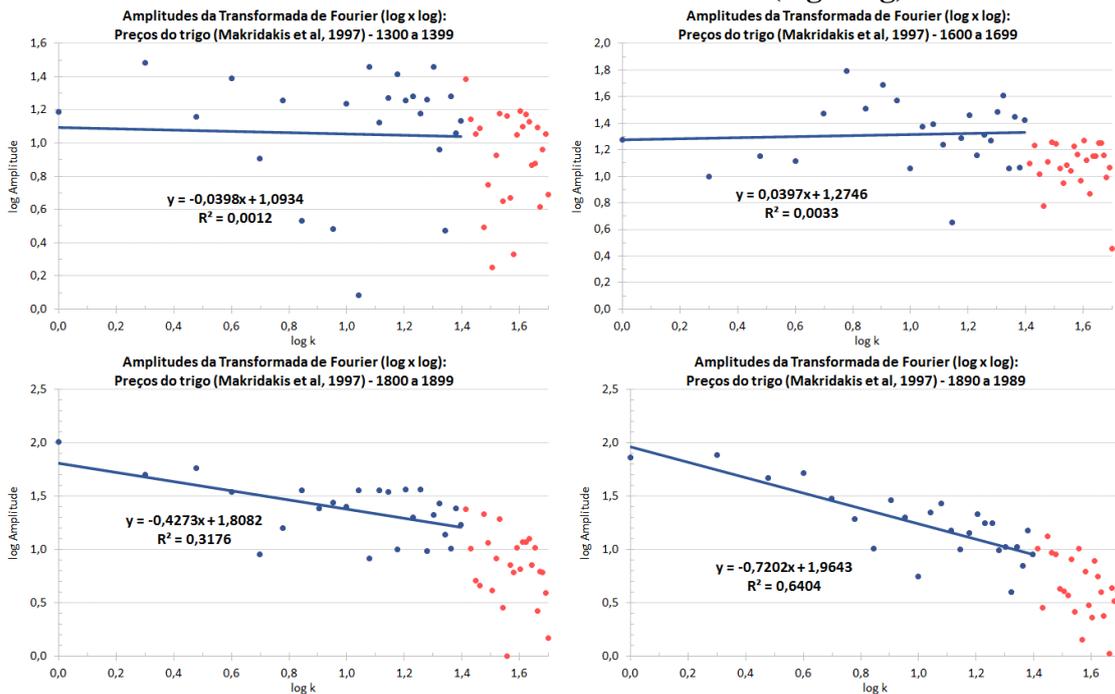
⁶⁴ Considerando o erro padrão da estimativa do expoente e distribuição de t de Student com 95% de confiança.

⁶⁵ Para evitar distorções associadas a problemas de contorno, foram desprezadas nas regressões as amplitudes das maiores frequências, relativas a períodos (T) inferiores a 4 anos: das 50 frequências relativas aos intervalos de 100 anos da transformada discreta de Fourier (DFT), foram adotadas apenas as 25 menores frequências.

revelar características compatíveis com fenômenos de ruído $1/f$, que revelam dependência de longo alcance associada a sistemas complexos.

Para exemplificar os resultados, a Figura 3.3 traz gráficos com transformação logarítmica ($\log \times \log$) dos ajustes em função de potência de quatro períodos (1300-1399; 1600-1699; 1800-1899; 1890-1989). Os pontos vermelhos (maiores frequências) foram desconsiderados nas regressões. O expoente de Fourier é o módulo do coeficiente de x da equação de ajuste (ex: $\alpha = 0,7202$ para 1890-1989). Se nos dois primeiros gráficos o ajuste é ruim (R^2 baixo), a partir do século XIX pode-se admitir espectro de amplitudes com lei de potência. A lei de potência com expoente negativo implica em maior peso de frequências menores, associada a influências de longo prazo, memória e correlação temporal. Também revela a composição de dinâmicas em muitos horizontes temporais, que se manifestam em diferentes frequências e produzem série temporal com dimensão fractal.

Figura 3.3 – Exemplos de ajustes de espectros de amplitudes em função potência em diferentes intervalos de 100 anos ($\log \times \log$)



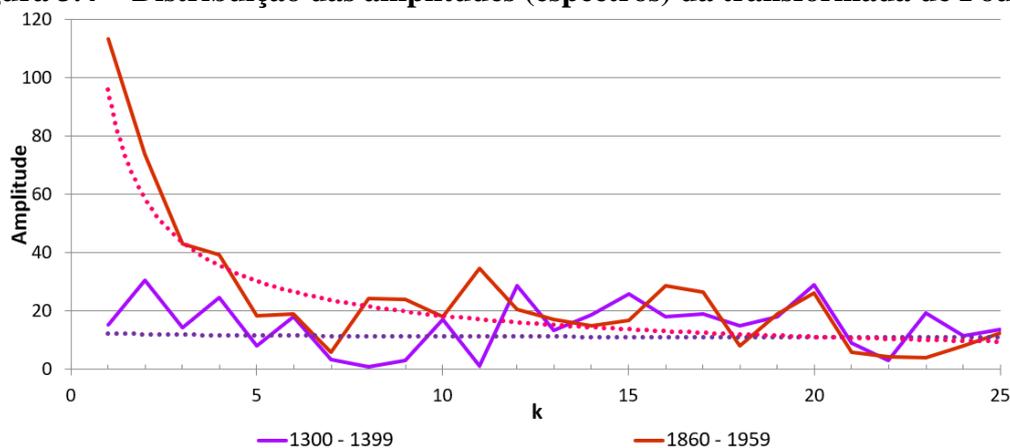
Fonte: cálculos próprios a partir da série de preços do trigo de 1264 a 1996 de Makridakis et al (1997).

A Figura 3.4 apresenta exemplos de espectros de amplitudes de transformada de Fourier⁶⁶ de duas janelas de 100 anos, uma no início e outra no fim da série, acompanhadas dos ajustes à função potência (curvas pontilhadas). Se as janelas até o séc. XVIII tinham distribuição

⁶⁶ A abscissa representa os valores de k das frequências angulares ($\omega = 2\pi kf$) múltiplas da frequência fundamental dada pelo maior período ($f_0 = 1/T_0$). Para intervalo de 100 anos, $T_0 = 100$; $f_0 = 1/100 = 0,01$; k admite os valores (1, 2, 3, ..., 50).

de amplitudes mais homogênea ($\alpha = 0$: $A(f) = c f^0 = c$), como ruído branco, as janelas mais recentes assumiram espectro em lei de potência com expoente negativo.

Figura 3.4 – Distribuição das amplitudes (espectros) da transformada de Fourier



Fonte: cálculos próprios a partir da série de preços do trigo de 1264 a 1996 de Makridakis et al (1997).

A maior relevância das menores frequências (baixos valores de k , à esquerda do gráfico) nos intervalos mais recentes, indica efeitos de memória no sistema ou dependência de longo alcance associados a tendências (movimentos sustentados de longo prazo). Isto é, a partir de meados do séc. XIX, efeitos cumulativos passaram a predominar na economia, levando a adaptações coletivas e mudanças estruturais. Já a composição de muitas altas frequências de baixa amplitude (altos valores de k , à direita) ainda expressa perturbações de toda sorte e mesmo não linearidades ou variações súbitas. Assim, a distribuição do espectro de frequências em lei de potência sugere dinâmicas em várias escalas temporais, como fractal.

É preciso destacar que o espectro da transformada de Fourier não considera outra variável necessária à composição do sinal: a fase. As diferenças de fase entre oscilações determinam se há interferência construtiva ou destrutiva ao longo do tempo. O resultado da agregação de oscilações pode resultar em diferentes formas a depender da distribuição de fases, mesmo que o espectro de amplitudes seja o mesmo (HIGUCHI, 1990). Caso as defasagens sejam múltiplas de um determinado valor, haverá coincidência em um ponto, gerando um pico e relativa estabilidade no restante do intervalo. Portanto, a análise do espectro de amplitudes da transformada de Fourier sem considerações sobre as fases, ou outros testes, não é suficiente para assegurar sinais de sistemas complexos associados ao tempo, como forma da curva, eventos extremos e agregação de volatilidade.

Mas, em caso de haver estrutura fractal, a dimensão fractal (D) guarda uma relação aproximadamente linear com o expoente de Fourier calculado com o espectro de densidade de

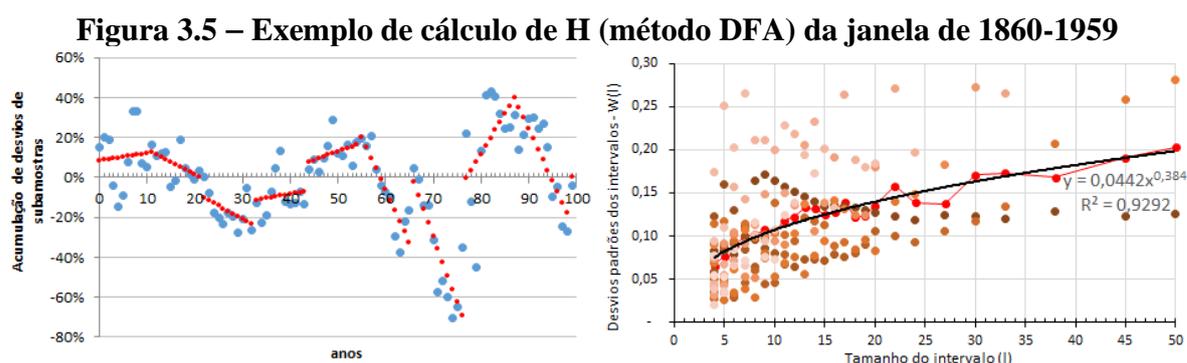
potência⁶⁷ ($\beta = 2\alpha$), na região próxima a $\beta = 2$ e $D = 1,5$: $D = \frac{5-\beta}{2}$ (HIGUCHI, 1990). Ou, considerando o expoente do espectro de amplitude (α): $D = \frac{5-2\alpha}{2}$, para α próximo a 1.

3.2.2 Expoente de Hurst

O expoente de Hurst (H) é uma medida da rugosidade da curva que tem relação com dimensão fractal, correlação temporal e, sob determinadas condições, com o expoente do espectro de Fourier. Assim, seu cálculo pode confirmar a assinatura de sistema complexo.

Uma forma de cálculo do expoente de Hurst é a *Detrended Fluctuation Analysis* (DFA) (MOREIRA *et al.*, 1994; WERON, 2002). Trata-se de uma medida da taxa de variação do desvio padrão conforme se varia o tamanho dos intervalos (escala de observação, *zoom*).

A Figura 3.5 apresenta um exemplo do cálculo do expoente de Hurst pelo método DFA para a janela de 100 anos entre 1860 e 1959⁶⁸. O gráfico à esquerda mostra a acumulação dos desvios (pontos azuis) de 9 subamostras do tamanho de intervalo igual a 11 anos. Para cada uma destas subamostras, é calculada uma linha de tendência (pontos vermelhos). O desvio padrão de cada subamostra é calculado pelo afastamento dos pontos com relação à linha de tendência em vez da média. O gráfico à direita mostra os desvios assim calculados de todas as subamostras (pontos em tons de laranja) para cada um dos 25 tamanhos de intervalo (de 4 a 50 anos neste caso). Os pontos em vermelho, ligados por linha, representam os valores médios para cada tamanho de intervalo. A linha preta é o ajuste em função potência, com o expoente de Hurst sendo o expoente da função ajustada ($H = 0,384$).



Fonte: cálculos próprios a partir da série de preços do trigo de 1264 a 1996 de Makridakis et al (1997).

O gráfico à direita revela grande variabilidade de desvios para intervalos de mesmo

⁶⁷ Cabe esclarecer que os expoentes apresentados até aqui se referem a ajustes de espectro de amplitudes (α) e não espectro de densidade de potência (β), comumente adotado na física. Como a densidade de potência é proporcional à amplitude ao quadrado (HIGUCHI, 1990, equação 5, p. 256), o expoente do espectro de densidade de potência corresponde ao dobro do expoente do espectro de amplitude ($\beta = 2\alpha$).

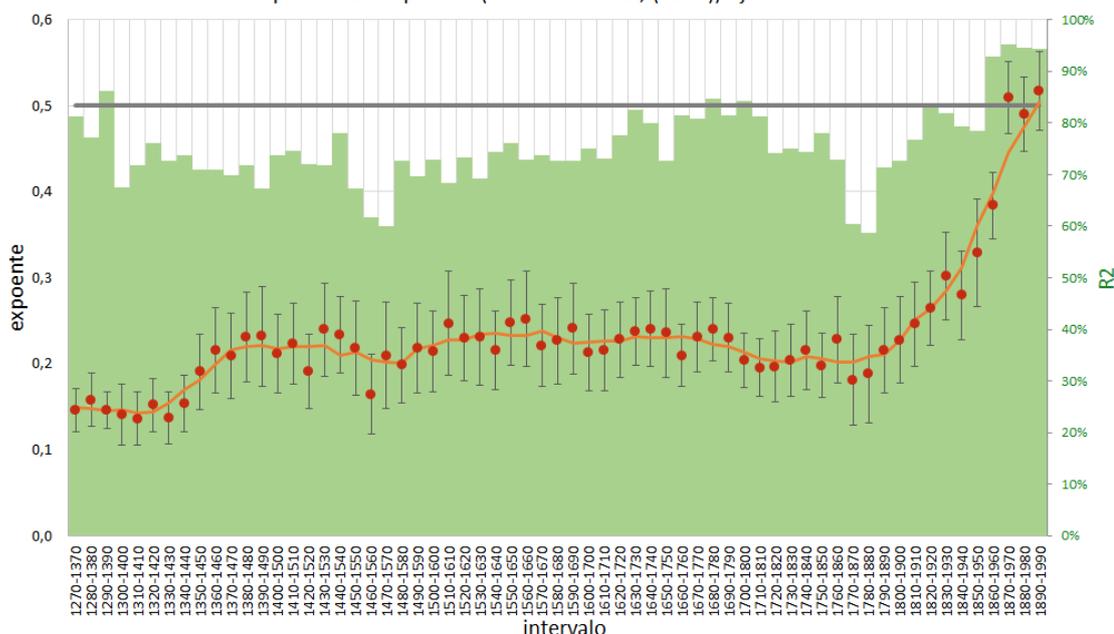
⁶⁸ No cálculo do expoente de Hurst, utilizou-se a variância amostral, com o denominador ($n-1$).

tamanho, caracterizando intermitência: períodos calmos e outros agitados. Tal fenômeno é conhecido como agregação de volatilidade, chamado de efeito José⁶⁹ por Mandelbrot (1997).

A Figura 3.6 apresenta o gráfico com os resultados dos cálculos dos expoentes de Hurst de janelas de 100 anos, adotando 25 intervalos que variam entre 4 e 50 anos. O padrão da apresentação do gráfico é o mesmo da figura da evolução dos espectros de Fourier. Pontos em vermelho são os expoentes de Hurst, acompanhados de barras de erros. A linha laranja mostra as médias móveis. A linha cinza fixa a referência em $H = 0,5$, indicativo de comportamento compatível com caminho aleatório. As colunas verdes indicam os coeficientes de determinação (R^2) do ajuste, referenciados no eixo à direita.

Figura 3.6 – Evolução do expoente de Hurst em intervalos de 100 anos, considerando tamanhos de intervalo acima de 4 a 50 anos

Wheat price in 1996 pounds (Makridakis et al, (1997)) - janelas de 100 anos



Fonte: cálculos próprios a partir da série de preços do trigo de 1264 a 1996 de Makridakis et al (1997).

O resultado reforça a suspeita de que a série de trigo apresenta sinais de transição para complexidade a partir de meados do século XIX. Apesar de o ajuste da regressão (R^2) não ter variado muito, a não ser nas últimas quatro janelas, a progressiva elevação do expoente de Hurst desde a janela de 1790-1890 é marcante e merece ser mais bem avaliada.⁷⁰

Os expoentes de Hurst das últimas janelas se aproximam de $H = 0,5$, levantando a suspeita de se tratar de comportamento semelhante a movimento browniano, com variações

⁶⁹ Baseado no sonho do faraó do Egito descrito na Bíblia e interpretado por José, filho de Jacob, como profecia de sete anos de fartura seguidos por 7 anos de escassez e fome.

⁷⁰ Para comprovar essa transição, as contas foram refeitas com variações de preços reordenadas aleatoriamente (embaralhadas). Nesse caso, os expoentes de Hurst se distribuíram em torno de 0,5, sem um padrão discernível. Assim, o resultado com preços de trigo deve-se à sequência histórica de variações e não é coincidência.

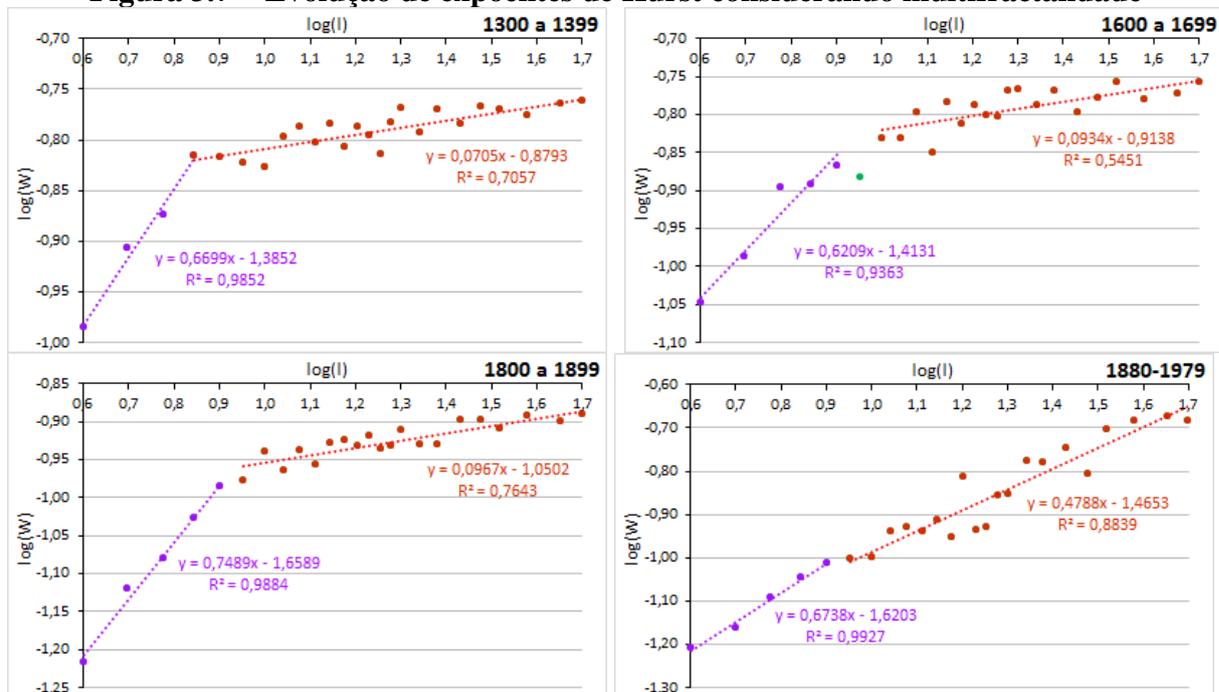
como se fossem aleatórias, portanto, sem efeito de memória. Mas a consideração sobre multifractalidade, realizada a seguir, testa tal suspeita.

3.2.3 Expoentes de Hurst e de Fourier considerando multifractalidade

Como alertou Mandelbrot (1997, p. 38), as análises de espectro de Fourier e de expoente de Hurst são técnicas estatísticas delicadas que merecem cuidado. Assim, foram realizados estudos mais detalhados para, em vez de ajuste de todos os pontos em uma única função de potência, identificar os melhores ajustes possíveis.

A Figura 3.7 apresenta os desvios padrões médios (W) por tamanho de intervalo (l), em escala logarítmica, de quatro janelas de 100 anos. É possível perceber que os pontos se distribuem em dois grupos, revelando multifractalidade. Se um fractal implica em invariância estatística em todas as escalas, no multifractal a invariância da relação de autoafinidade se restringe a determinadas faixas de escala. Multifractais são mais comuns na natureza, por serem raros os processos que atuam da mesma forma em todas as dimensões da escala temporal ou espacial. (MANDELBROT, 1997)

Figura 3.7 – Evolução de expoentes de Hurst considerando multifractalidade



Fonte: cálculos próprios a partir da série de preços do trigo de 1264 a 1996 de Makridakis et al (1997).

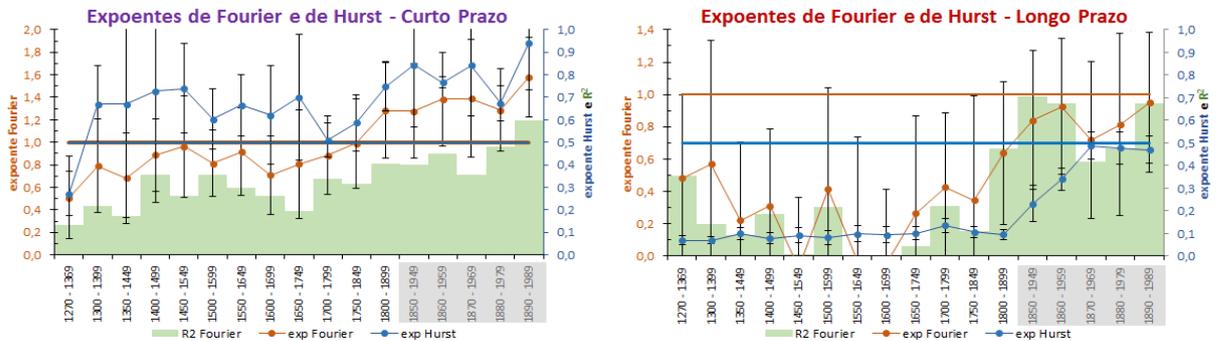
Para os conjuntos de pontos em violeta dos gráficos, referentes aos menores tamanhos de intervalos (geralmente de 4 a 8 anos), os expoentes de Hurst (coeficientes de x da regressão) são maiores que 0,5, indicando persistência ou reforço de variações no horizonte temporal de curto prazo. Já para o conjunto em vermelho, de tamanhos de intervalos maiores, os expoentes de Hurst são menores que 0,5, sinal de anti-persistência ou reversão no longo prazo.

Conforme Peters (1991, cap. 8) a quebra do expoente de Hurst aponta a presença de ciclos não periódicos, quando ocorre alteração de efeitos da memória. No caso analisado, foi detectado um ciclo não periódico de duração média próxima de 8 anos ($\log_{10} 8 = 0,903$), definido pelo encontro entre as retas de regressão dos dois conjuntos de pontos. Esses ciclos não periódicos indicam que tendências persistentes de curto prazo ($H > 0,5$) apresentam algum tipo de reversão após 8 anos, em média. Essas reversões de tendências caracterizam o longo prazo ($H < 0,5$, ou anti-persistência).

Ao contrário de sistemas físicos, na economia capitalista a auto-organização pode envolver mudanças de regras após crises (RIBEIRO et al., 2018). Assim, esses ciclos não periódicos podem indicar o tempo médio que o sistema econômico leva para passar por pontos críticos de transição de fase. Na criticalidade, caracterizada por alta taxa de transmissão de informação e pico de susceptibilidade⁷¹, há reorganização do sistema, com alterações em processos que se refletem em mudanças de comportamento de variáveis agregadas.

A Figura 3.8 traz os expoentes de Hurst e de Fourier⁷² separados nesses dois agrupamentos, denominados de curto e longo prazo, para janelas de 100 anos com saltos de 50 anos entre janelas, exceto os últimos 5 conjuntos de pontos, que têm deslocamento de apenas 10 anos para detalhar o comportamento mais recente.

Figura 3.8 – Evolução dos expoentes de Hurst e de Fourier em intervalos de 100 anos, considerando multifractalidade



Obs: expoentes negativos de Fourier não são mostrados no gráfico à direita pela baixa significância (R^2 baixo) e por estética. Fonte: cálculos próprios a partir da série de preços do trigo de 1264 a 1996 de Makridakis et al (1997).

No gráfico referente ao curto prazo (esquerda, com título em violeta), nota-se que os expoentes de Hurst (em azul, referenciados no eixo à direita) são superiores a 0,5, exceto para a primeira janela (1270-1369). Os expoentes de Fourier (em vermelho, eixo à esquerda e acompanhados do R^2 da regressão no eixo à direita) apresentam uma tendência de crescimento

⁷¹ Volatilidade da variável agregada do sistema (preço do trigo neste caso), medida pelo desvio padrão. Fenômeno semelhante ao que ocorre no Modelo de Ising com a magnetização na temperatura crítica.

⁷² Os resultados diferem dos apresentados anteriormente para as mesmas janelas de 100 anos já que os cálculos até aqui não consideravam multifractalidade.

de seus valores e do R^2 , de forma coerente com os expoentes de Hurst. Resta a dúvida se esse resultado de curto prazo se deve a alguma transitoriedade devido a poucos dados e regressão com apenas 5 pontos. Esse tema será verificado adiante com séries mensais.

O aspecto mais relevante diz respeito aos expoentes de longo prazo (gráfico à direita com título em vermelho). Apenas a partir do século XIX, os coeficientes de determinação (R^2) do ajuste em função potência de Fourier (barras verdes) ultrapassam 40%, conferindo maior confiabilidade nos expoentes (pontos vermelhos). Nesse período, os módulos dos expoentes de Fourier da distribuição de amplitudes se aproximam de 1 enquanto os expoentes de Hurst (pontos azuis com eixo à direita) se elevam de 0,1 para valores próximos a 0,5⁷³. Há de se destacar também a melhoria da compatibilização entre os expoentes de Hurst e de Fourier, mediada pela dimensão fractal, no período recente quando se considera a multifractalidade.

Esses resultados empíricos sugerem que a economia passou por uma longa transição iniciada no final do séc. XVIII e concluída entre 1850 e 1870, quando passou a apresentar características de sistemas complexos. Antes da transição, prevalecia na economia um padrão aleatório de comportamento de preços, provavelmente devido à baixa conexão entre subsistemas que impedia a disseminação e respostas globais diante de eventos locais. A partir da Revolução Industrial no séc. XVIII, passou a haver uma sequência de transformações institucionais, tecnológicas e em redes de comunicação e transportes que permitiram a ampliação da escala produtiva e distributiva e maior interconectividade nos vários níveis hierárquicos da economia (local, regional, nacional, global). Após a segunda metade do séc. XIX, passou a haver predomínio de processos de auto-organização, com a formação de estruturas mesoscópicas (agrupamentos) de todos os tamanhos que conferiam potencial de propagação de perturbações pelo sistema por cadeia de eventos.

Instituições que estabilizavam as regras de interação entre os agentes e as tecnologias produtivas e de comunicação e transportes passaram a permitir a exploração de rendimentos crescentes, fornecendo as bases para desenvolvimentos subsequentes, em um processo recursivo. Mas, durante o período de acumulação (com formação de tendências de curto prazo, alinhamento de expectativas e movimentos de manada), havia formação endógena de contra-tendências que eventualmente se manifestavam, provocavam reações e quebras de expectativas, com reversões abruptas e crises sistêmicas.

⁷³ Cálculos do expoente de Hurst com séries de preços mensais adiante investigarão se o comportamento de longo prazo de fato se assemelha a caminho aleatório ($H=0,5$), ou se há correlação temporal.

A maior escala e a integração entre agentes no mercado permitiam distribuir impactos e suavizar variações de preços em períodos com maior previsibilidade. Mas, nos períodos de crises, a incerteza associada à alta volatilidade de variáveis agregadas, como o preço do trigo, implicava em adaptações nos diversos níveis de atividade econômica e reestruturação.

3.2.4 Comparação entre períodos históricos

Se os cálculos apresentados até aqui adotaram janelas de 100 anos com o objetivo de analisar a transição da economia para sistema complexo, este item analisa intervalos maiores, conforme as características da série de preço (figura 3.1) e as condições da economia:

- **De 1265 a 1535:** grande parte das necessidades satisfeita fora do mercado; população predominantemente rural; mercado local (cidade-campo) e de longa distância para produtos especiais (feiras, rotas comerciais).
- **De 1535 a 1770:** maior papel do Estado na Inglaterra (protecionismo, favorecimento a produtores rurais, *Old Poor Law*); 2ª Revolução Agrícola; cercamentos; institucionalização da propriedade privada; constituição dos mercados de terra, trabalho e dinheiro; integração do mercado nacional; transportes ainda limitados; relativo isolamento no mercado de trigo.
- **De 1770 a 1996:** Revolução Industrial; trabalho assalariado; urbanização; rendimentos crescentes; avanços em redes de transportes e de comunicação; consumo de massa e segmentação; guerras mundiais; transição da ordem britânica para estadunidense; globalização; grandes corporações; Revolução Verde; alimentos processados.
 - **De 1870 a 1996 (destaque para período mais recente):** avanços em transporte de longa distância (rede ferroviária, navios de aço a vapor, aviões) e comunicações (telégrafo, rádio, TV); importação de trigo das pradarias da América do Norte (Canadá e EUA) e da Rússia; bolsas de *commodities*.

A Tabela 3.1 resume os resultados de cada um desses intervalos que podem indicar assinaturas de sistemas complexos, como curtose das variações percentuais, expoentes de Hurst ($H \neq 0,5$) e expoentes de Fourier (β , com R^2 indicando bom ajuste à lei de potência). A compatibilização entre o expoente de Hurst e o de Fourier⁷⁴ em cada intervalo é verificada pelo desvio considerando a estimativa de β a partir do expoente de Fourier. Na tabela, valores em negrito indicam sistema complexo, enquanto os em vermelho exigem maior investigação.

⁷⁴ Como o objetivo é verificar a compatibilização dos expoentes mediada pela dimensão fractal, indicativo de complexidade, adotou-se o expoente de Fourier do espectro de potência ($P \sim A^2$). Assim, os expoentes de Fourier são os do espectro de potência (β) em vez dos de amplitude (α), sendo $\beta = 2 \alpha$.

Tabela 3.1 – Curtose, expoente de Hurst (H), expoente de Fourier (β) e desvio
Expoentes e compatibilização⁷⁵

| Intervalos | Curtose | Curto prazo | | | | Longo Prazo | | | |
|------------|---------|-------------|-------------|----------------|------------------|-------------|---------|----------------|------------------|
| | | Exp Hurst | Exp Fourier | desvio | Exp Hurst | Exp Fourier | desvio | | |
| | | H | β | R ² | $\beta/(1+2H)-1$ | H | β | R ² | $\beta/(1+2H)-1$ |
| 1265-1535 | 3,27 | 0,487 | 1,238 | 15% | -37% | 0,038 | 0,347 | 8% | -68% |
| 1535-1770 | 3,79 | 0,561 | 1,062 | 11% | -50% | 0,046 | 0,604 | 23% | -45% |
| 1770-1996 | 7,88 | 0,688 | 2,621 | 43% | 10% | 0,243 | 1,841 | 63% | 24% |
| 1870-1996 | 11,64 | 0,761 | 2,274 | 22% | -10% | 0,471 | 1,798 | 57% | -7% |

Fonte: cálculos próprios a partir da série de preços do trigo de 1264 a 1996 de Makridakis et al (1997).

Como a curtose da distribuição normal é igual a 3, valores maiores indicam distribuição leptocúrtica, com grande quantidade de pequenas variações e alguns eventos extremos (cauda pesada). Observa-se elevação da curtose com a passagem do tempo, com maior afastamento da distribuição normal a partir de 1770⁷⁶. Instrumentos da estatística padrão que assumem normalidade passam a distorcer resultados, por tratarem eventos extremos como atípicos (*outliers*). Entretanto, esses eventos podem não apenas ser sintomas de dinâmicas não lineares como podem provocar alterações qualitativas devido à reorganização do sistema quando a imprevisibilidade prevalece.

Tanto no curto quanto no longo prazo, os expoentes de Hurst assumem valores diferentes de 0,5 a partir do intervalo de 1770, indicando memória (correlação temporal). Mas o expoente de Hurst do intervalo de 1870-1996 de longo prazo resultou em valor próximo a 0,5, o que será investigado adiante com séries de preços mensais.

Já os expoentes de Fourier tiveram considerável aumento do R², indicando melhor ajuste da distribuição de Fourier à lei de potência também a partir de 1770, com exceção do curto prazo do intervalo após 1870, o que será investigado posteriormente.

Com relação à compatibilização entre os expoentes de Hurst e de Fourier, os grandes desvios na tanto no curto quanto no longo prazo nos intervalos 1265-1535 e 1535-1770 indicam que os preços do trigo não refletem características de sistema complexo da economia até então. Mas há melhoria na compatibilização a partir de 1770. No curto prazo, os desvios são baixos (módulo de 10%) para os dois últimos intervalos. No longo prazo, apenas o intervalo 1870-1996 teve boa compatibilização.

Assim, os preços do trigo sugerem a transição da economia para sistema complexo a

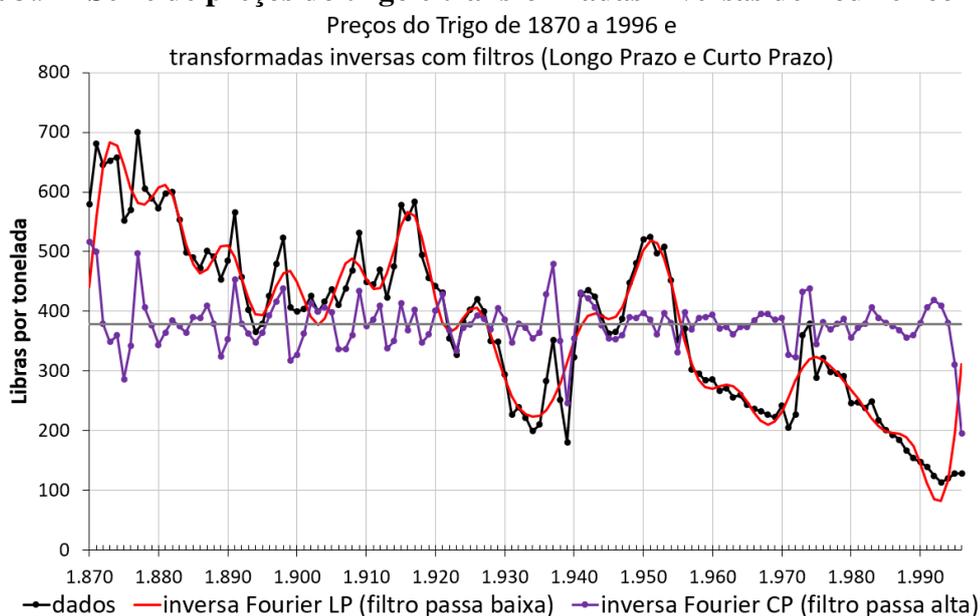
⁷⁵ A dimensão fractal pode ser calculada pelos expoentes de Fourier ($D_F = \frac{5-\beta}{2}$) ou pelo expoente de Hurst ($D_H = 2 - H$). A compatibilização ($D_F = D_H$) do cálculo da dimensão fractal pelos dois métodos exige que $\beta = 1 + 2H$ na região próxima a $\beta = 2$ e $D = 1,5$, conforme Higuchi (1990).

⁷⁶ O aumento da curtose se deve mais à redução do desvio padrão das variações logarítmicas a partir de meados do séc. XIX, devido ao excesso de pequenas variações, do que da maior ocorrência de grandes variações. Não ocorreu aumento de eventos extremos em termos absolutos, mas relativos.

partir da Revolução Industrial, especialmente no fim do séc. XIX, quando foram retiradas as barreiras à importação do trigo e houve integração do mercado internacional, com bolsas de *commodities* – especialmente a Bolsa de Chicago – fornecendo referências de preços para transações nas redes de mercado.

A Figura 3.9 mostra a série de preços de Makridakis et al (1997) de 1870 a 1996 acompanhada das transformadas inversas de Fourier com filtros que caracterizam as dinâmicas de longo prazo (vermelho, baixas frequências: k de 1 a 15) e de curto prazo (violeta, altas frequências: k de 16 a 63), essa em torno do valor médio da série (linha cinza). Na dinâmica de longo prazo (LP), há reversões de tendências em ciclos não periódicos de 8 anos, em média.

Figura 3.9 – Série de preços do trigo e transformadas inversas de Fourier com filtros



Fonte: cálculos próprios a partir da série de preços do trigo de 1264 a 1996 de Makridakis et al (1997).

Como se viu, o expoente de Hurst de longo prazo de 1870-1996 ($H_{LP} = 0,47 \pm 0,02$) tem valor próximo a 0,5, compatível com caminho aleatório. Será a dinâmica de longo prazo da economia moderna caracterizada por variações aleatórias? Ou há outros aspectos que podem ser revelados pela análise de instrumentos de complexidade?

No período 1870-1996, houve transição da ordem britânica para ordem estadunidense e duas guerras mundiais, com um período conturbado entre elas. As análises de preços do trigo de outras fontes presentes no Apêndice I⁷⁷ mostram que os expoentes de Hurst de longo prazo foram significativamente menores que 0,5. O mesmo ocorreu em uma simulação com a série de Makridakis de 1870-1996 ao se desconsiderar as variações de 1914-45 ($H_{LP} = 0,26$). Isso sugere que a inclusão de um período marcado pela desordem econômica pode distorcer os

⁷⁷ Clark, (2003): preços ingleses de 1260 a 1914. Jacks (2019): preços nos EUA de 1850 a 2020.

indicadores de sistemas complexos.

As séries de preços anuais permitiram avaliar a longa transição da economia para sistema complexo intensificada com a Revolução Industrial no final do século XVIII. Mas a reduzida quantidade de tamanhos de intervalo até 8 anos dificultou a interpretação de ciclos não periódicos e de expoentes de Hurst de curto prazo, que poderiam ter resultado em valores acima de 0,5 devido a transitoriedade.

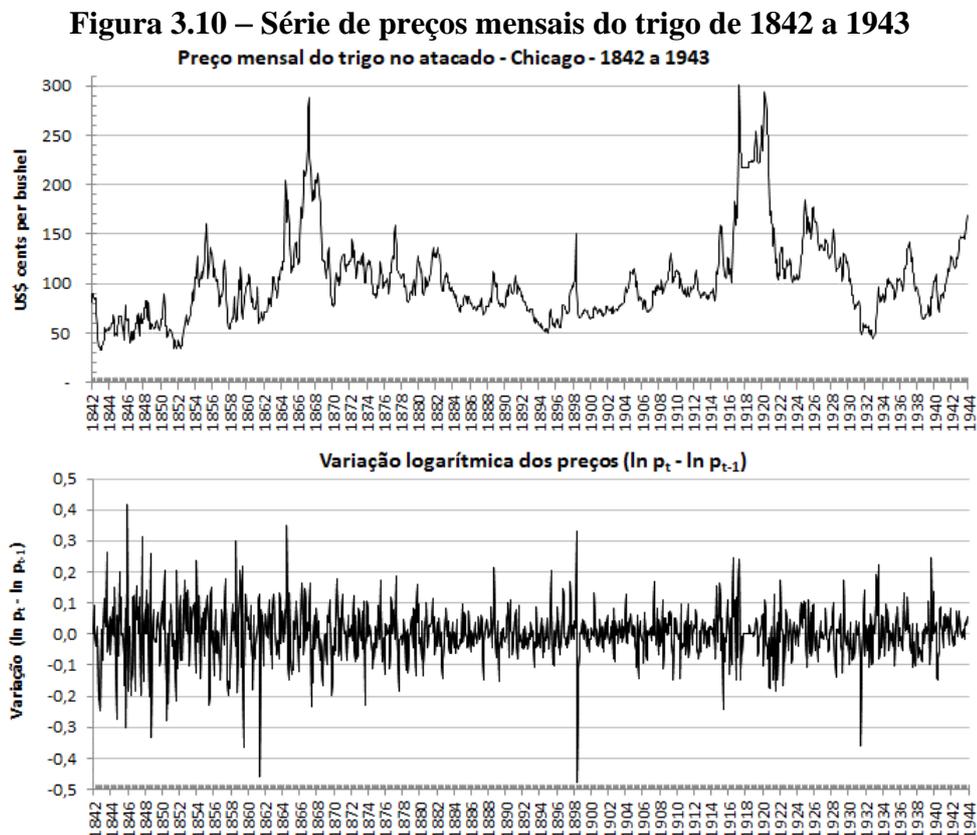
3.3 Economia capitalista como sistema complexo: séries mensais

Neste item, são analisadas duas séries de preços mensais do trigo que podem contribuir para confirmar se a economia capitalista se comporta como um sistema complexo. A análise de períodos mais curtos também permite comparar épocas conturbadas, como de 1914-45, com outras em que a economia apresentou certa ordem.

A maior precisão dos indicadores ainda contribui para a investigação mais profunda das características da economia como sistema complexo.

3.3.1 Preços do trigo em Chicago de 1842 a 1943

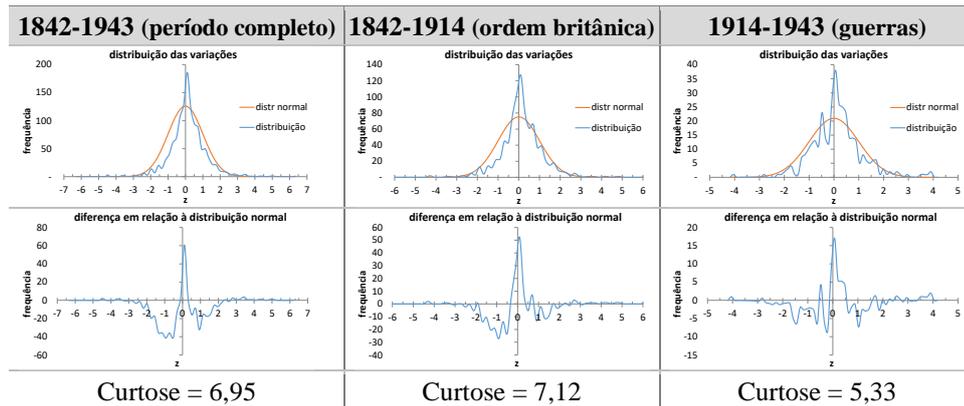
A Figura 3.10 traz a série de preços mensais do trigo disponível mais antiga: preços de atacado em Chicago, disponibilizada pelo *National Bureau of Economic Research* (NBER).



Fonte: NBER. Disponível em: <<https://www.nber.org/research/data/nber-macrohistory-iv-prices>>.

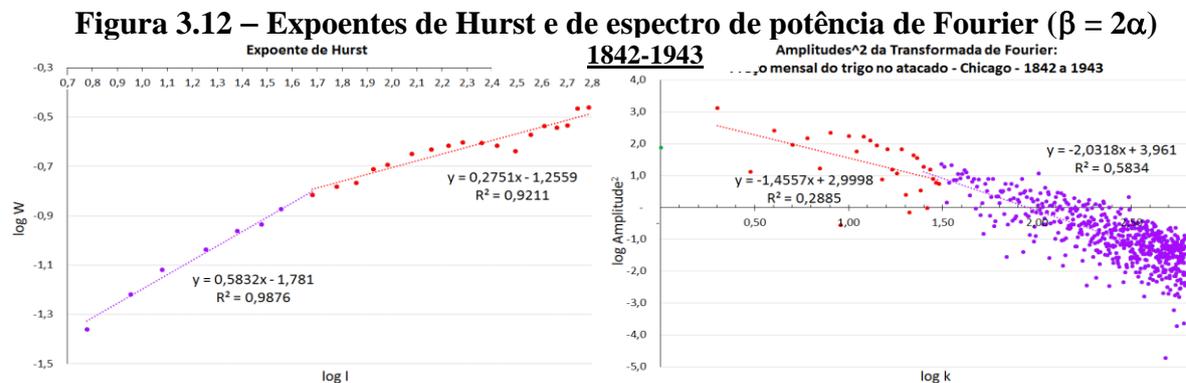
Foram estudados três períodos da série: o período completo (1842-1943); o período da ordem britânica (1842-1914); e o período que engloba as duas guerras mundiais (1914-1943)⁷⁸. A Figura 3.11 traz as distribuições, afastamentos da distribuição normal e curtoses. Em todos os períodos, há maior frequência de pequenas variações e caudas pesadas. Além da curtose maior que 3, há alguma assimetria, especialmente no período de 1914 a 1943.

Figura 3.11 – Distribuição de variações, comparação com distribuição normal e curtose

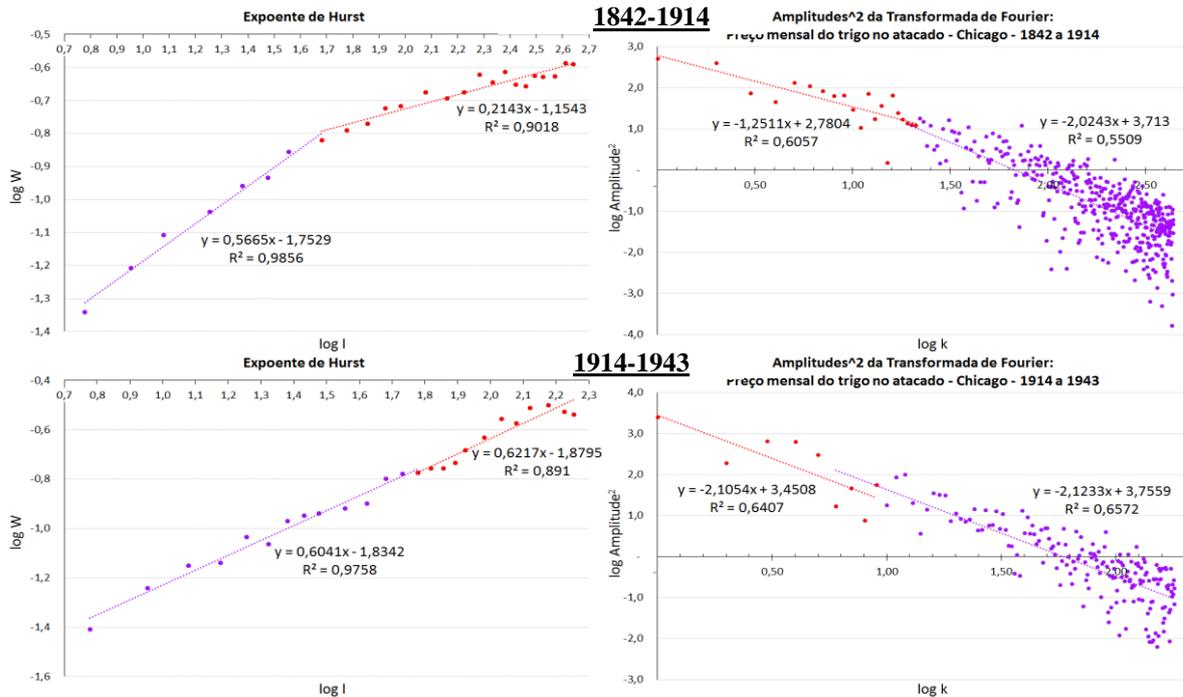


Fonte: cálculos próprios a partir da série mensal de preços do trigo em Chicago do NBER.

A Figura 3.12 mostra os ajustes de regressões para cálculos dos expoentes de Hurst (à esquerda) e de Fourier (à direita), considerando multifractalidade. A tabela traz a compatibilização entre os expoentes.



⁷⁸ Segundo as referências do NBER, para o período até 1870, os preços foram obtidos em jornais da época. A partir de então, os preços são da *Chicago Board of Trade*, que inclui contratos futuros padronizados negociados em bolsa. De setembro de 1917 a junho de 1920, os preços foram fixados pelo governo.



Expoentes e compatibilização

| | Curto prazo | | | | Longo Prazo | | | |
|-----------|-------------|---------|----------------|--------|-------------|---------|----------------|--------|
| | H | β | $\beta = 1+2H$ | desvio | H | β | $\beta = 1+2H$ | desvio |
| 1842-1943 | 0,5832 | 2,0318 | 2,1664 | -6% | 0,2751 | 1,4557 | 1,5502 | -6% |
| 1842-1914 | 0,5665 | 2,0243 | 2,133 | -5% | 0,2143 | 1,2511 | 1,4286 | -12% |
| 1914-1943 | 0,6041 | 2,1233 | 2,2082 | -4% | 0,6217 | 2,1054 | 2,2434 | -6% |

Fonte: cálculos próprios a partir da série mensal de preços do trigo em Chicago do NBER.

Interessante notar a influência do período de guerras, que envolve transição de ordem econômica mundial. Os resultados com dados mensais confirmam a suspeita que esse período distorceu os expoentes de longo prazo do intervalo de 1870 a 1996 da série de Makridakis ($H_{LP} = 0,47$), que sugeriam caminho aleatório. Os últimos gráficos da figura anterior mostram expoentes de Hurst maiores que 0,5 tanto para o curto quanto para o longo prazo de 1914 a 1943, indicando persistência das variações. A compatibilização entre expoentes de Hurst e Fourier tem pequeno desvio no período de guerras e bom ajuste em funções de potência. Ou seja, a economia teve alteração de dinâmicas quando prevaleceu a desordem, deixando de ser multifractal e assumindo uma certa uniformidade entre curto e longo prazos.

A desestruturação institucional desse período invalidou referências de agentes que adotavam horizonte de longo prazo para tomada de decisões. Esses agentes podem ter reduzido as atuações no mercado ou adotado horizontes mais curtos, influenciados por especulações, conforme Hipótese do Mercado Fractal de Peters (1991, 1994). Também cabe resgatar a discussão de Simon (1991, p. 41) sobre a perda da capacidade de transmissão de informações via preços no mercado em épocas de incerteza, exigindo intervenção de Estados.

Já o período de ordem britânica (1842-1914) tem $H_{LP} = 0,21$, indicando considerável anti-persistência no longo prazo. O bom ajuste em função potência do espectro de Fourier

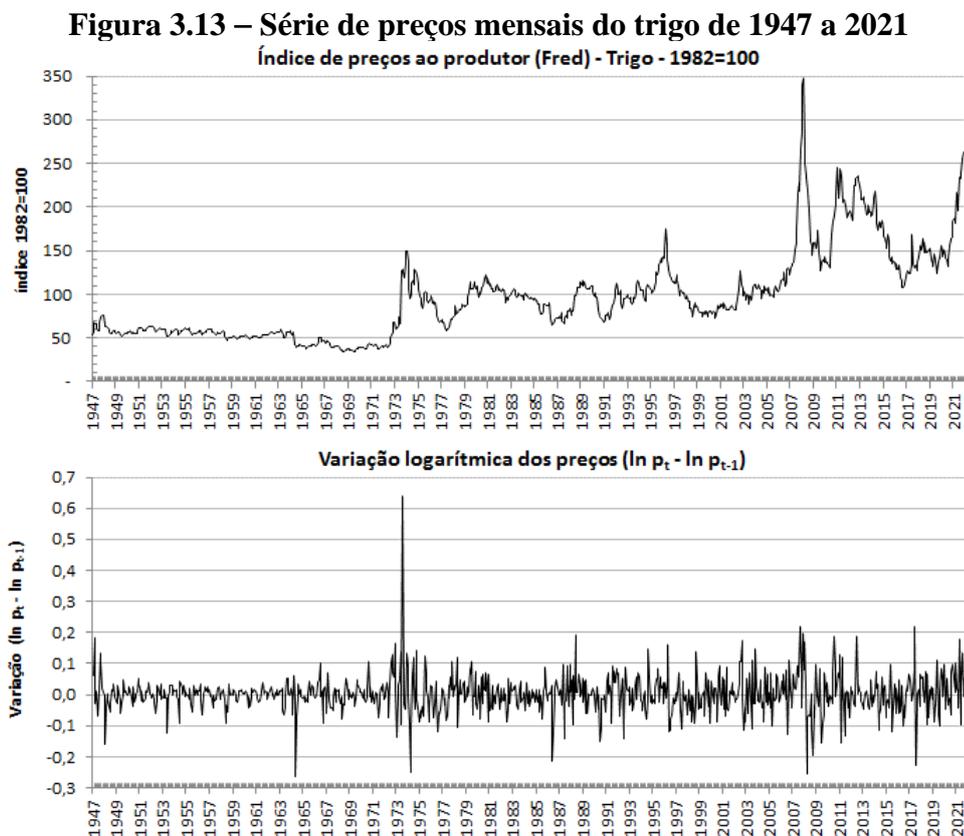
($R^2=61\%$) confirma dependência de longo alcance, sinal de complexidade, apesar de a compatibilização entre os expoentes ter desvio um pouco maior. O período completo também revela as assinaturas de sistemas complexos.

A série mensal confirma que a estrutura multifractal e a persistência no curto prazo ($H > 0,5$) não se devem a transitoriedade. Mais pontos para o cálculo de expoentes de Hurst ratificam a separação dos pontos em grupos, típica de estrutura multifractal. Porém, os ciclos não periódicos tiveram duração menor: apenas 48 meses ($\log_{10} 48 = 1,68$), ou 4 anos.

3.3.2 Índice de Preços ao Produtor: Trigo de 1947 a 2021

Após ter analisado os períodos de ordem britânica e com guerras, esta série de preços mensais do trigo permite avaliar a economia capitalista no pós-guerra, marcada pela hegemonia estadunidense, globalização e corporações multinacionais.

A Figura 3.13 apresenta a série do índice de preços ao produtor: trigo, do *U.S. Bureau of Labor Statistics*, obtido no site do *Federal Reserve Bank of St. Louis* (Fred), acompanhada das suas variações logarítmicas.



Fonte: U.S. Bureau of Labor Statistics. Disponível em: < <https://fred.stlouisfed.org/series/WPU0121> >.

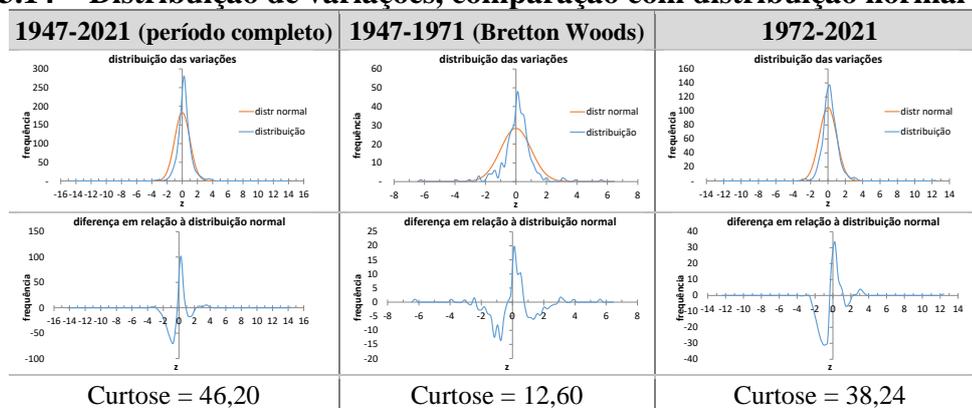
O comportamento da série de preços do trigo é menos volátil durante a vigência do sistema de Bretton Woods, que estabeleceu o dólar lastreado em reservas de ouro como moeda mundial e definiu regras para relações comerciais entre nações capitalistas no pós-guerra,

mesmo com algumas oscilações significativas. Mas seguidos desequilíbrios fiscais dos EUA, que resultaram em inflação, aumento de juros e déficits da balança comercial, levaram o presidente Nixon, em agosto de 1971, a suspender unilateralmente a conversibilidade em ouro para proteger o dólar de ataques especulativos e favorecer a posição dos EUA no comércio internacional. Após tentativas frustradas de acordos internacionais para o restabelecimento do Tratado de Bretton Woods, um sistema de câmbio flutuante foi adotado em março de 1973 (UNITED STATES DEPARTMENT OF STATE, 2018). Após as crises do trigo e do petróleo nesse mesmo ano, houve maior instabilidade de preços e frequentes crises de abrangência mundial. Períodos de agregação de volatilidade de preços do trigo, indicativos de criticalidade, são visíveis entre 1973-75; 1986-89; 2007-09.

Além do período completo da série, foram analisados os intervalos de vigência de Bretton Woods, marcado por maior controle de Estado, e o período seguinte, caracterizado por maior instabilidade e grande influência de grandes corporações multinacionais.

Todos os períodos apresentam distribuições de variações com altas curtoses⁷⁹, não compatíveis com distribuição normal. Ao contrário das outras séries analisadas, o componente inflacionário está presente, resultando em assimetria nas distribuições (média maior que zero).

Figura 3.14 – Distribuição de variações, comparação com distribuição normal e curtose

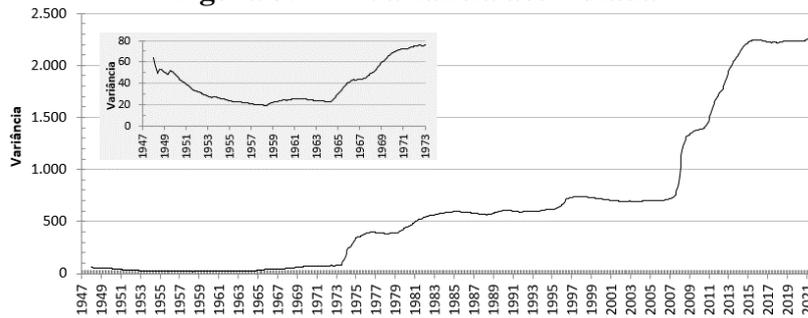


Fonte: cálculos próprios a partir da série mensal de índices de preços do trigo do U.S. Bureau of Labor Statistics.

A Figura 3.15 apresenta a variância acumulada ao longo da série (para observação de seus detalhes, o intervalo 1947-73 foi ampliado). Em vez estabilidade, como em caso de distribuição normal, há saltos em momentos que concentram alta volatilidade. Ou seja, há intermitência na economia, com períodos calmos separados por outros de criticalidade.

⁷⁹ As altas curtoses do primeiro e do último intervalos se devem à variação de preços em agosto de 1973 de 89%.

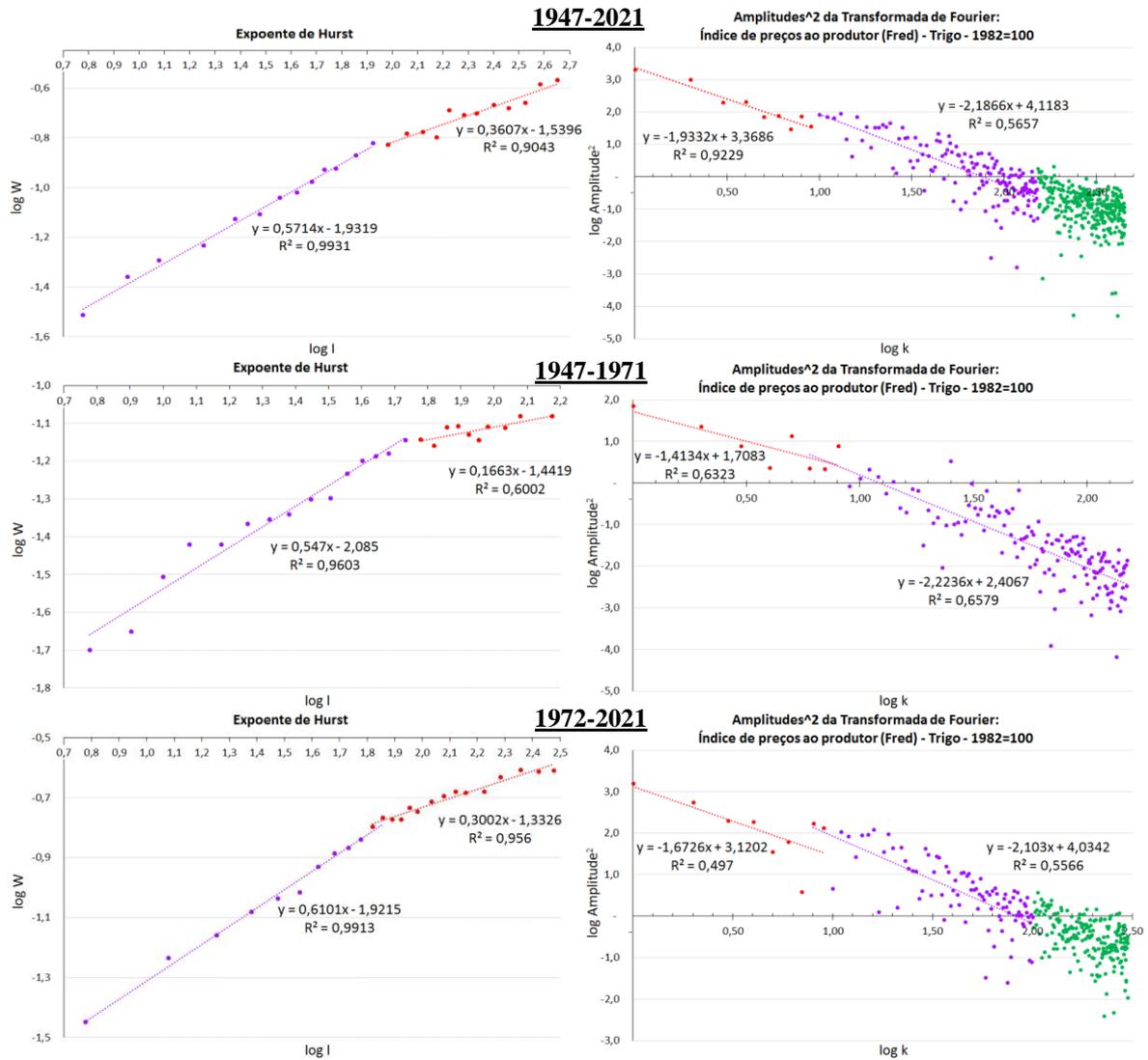
Figura 3.15 – Variância acumulada



Fonte: cálculos próprios a partir da série mensal de índices de preços do trigo do U.S. Bureau of Labor Statistics.

A Figura 3.16 mostra os gráficos com os ajustes em funções de potência que permitem o cálculo dos expoentes de Hurst e de Fourier de cada período, assim como o quadro de compatibilização.

Figura 3.16 – Expoentes de Hurst e de espectro de potência de Fourier ($\beta = 2\alpha$)



Expoentes e compatibilização

| | Curto prazo | | | | Longo Prazo | | | |
|-----------|-------------|---------|----------------|--------|-------------|---------|----------------|--------|
| | H | β | $\beta = 1+2H$ | desvio | H | β | $\beta = 1+2H$ | desvio |
| 1947-2021 | 0,5714 | 2,1866 | 2,1428 | 2% | 0,3607 | 1,9332 | 1,7214 | 12% |
| 1947-1971 | 0,5470 | 2,2236 | 2,0940 | 6% | 0,1663 | 1,4134 | 1,3326 | 6% |
| 1972-2021 | 0,6101 | 2,1030 | 2,2202 | -5% | 0,3002 | 1,6726 | 1,6004 | 5% |

Fonte: cálculos próprios a partir da série mensal de índices de preços do trigo do U.S. Bureau of Labor Statistics.

O primeiro conjunto de gráficos, referente ao período completo da série, confirma o caráter anti-persistente dos preços do trigo no longo prazo ($H_{LP} = 0,36$) e persistente no curto prazo ($H_{CP} = 0,57$). O bom ajuste do espectro de potência de Fourier a função potência ($R^2 = 92\%$) e a compatibilização entre os expoentes evidenciam que a série de preços do trigo é uma variável agregada que reflete a complexidade do sistema econômico no pós-guerra.

O segundo conjunto traz os resultados para o período de vigência de Bretton Woods. O menor expoente de Hurst de longo prazo ($H_{LP} = 0,17$) aponta para anti-persistência mais marcante, associada a fortes instituições e controles governamentais. Mas mesmo a maior centralidade de Estados não descaracteriza o sistema complexo, dada a grande diversidade de agentes em termos de características, escalas de atuação e número de conexões.

Por fim, os últimos gráficos reproduzem os cálculos dos expoentes de Hurst e de Fourier para o período após 1972, marcado pela coordenação mais descentralizada e influência de grandes corporações multinacionais que funcionam como *hubs* na rede de transações econômicas. O expoente de Hurst de longo prazo ($H_{LP} = 0,30$) indica anti-persistência, mas menos marcante que no período anterior.

Apesar das dificuldades inerentes a instrumentos de sistemas complexos para análise de intervalos de curta duração, que prejudicam a precisão dos resultados e impedem uma posição mais categórica, cálculos de expoentes de Hurst de longo prazo para janelas dinâmicas de 20 anos resultaram em: valores maiores que 0,5 em janelas com os anos 1971 e 1973 (fim de Bretton Woods e crises do trigo e do petróleo), indicando mudança de ordem; manutenção de valores próximos a 0,25 em janelas entre 1974 e 2007; valores próximos a 0,4 em janelas que incluíam os anos de 2008, sugerindo nova transição de ordem econômica. A análise mais detalhada apenas do período de 1974 a 1994 também não revelou multifractalidade, com os expoentes de longo prazo semelhantes aos de curto prazo, sem apontar para tendência de reversão, o que indica transição de ordem econômica.

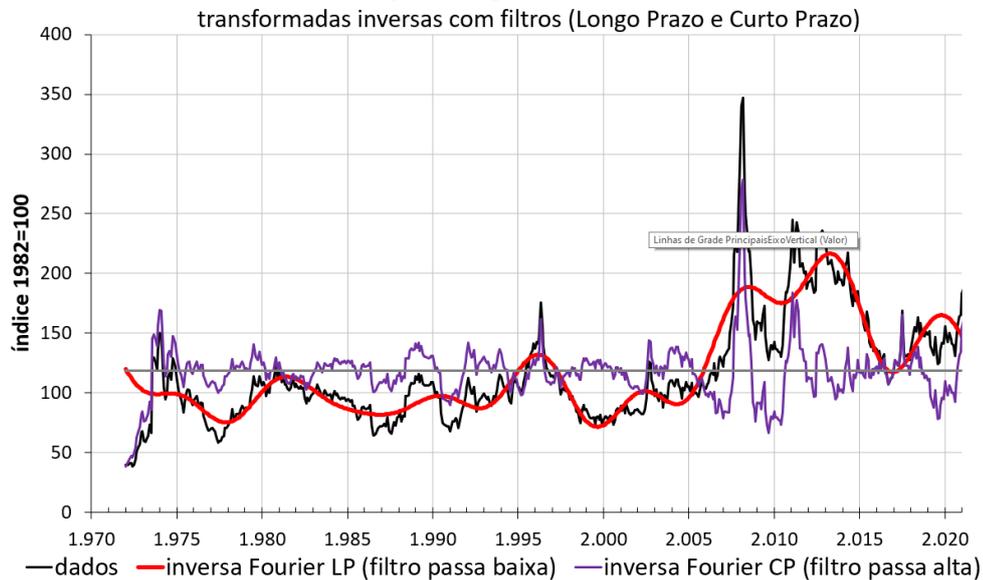
A compatibilização entre os expoentes de Hurst e de Fourier exigiu desconsiderar as maiores frequências (pontos verdes nos gráficos à direita), relativas a períodos inferiores a 6 meses, menor intervalo adotado no cálculo dos expoentes de Hurst. Isso sugere que pode haver um horizonte de curtíssimo prazo com expoentes e dinâmicas particulares, especialmente no período mais recente, quando a internet alterou a disseminação de informações e permitiu maior

agilidade de respostas e negociações eletrônicas em bolsas.

Os ciclos não periódicos, associados ao efeito da memória de eventos nos sistemas (transição entre curto e longo prazo) resultaram em períodos entre 4 e 7 anos ($\log_{10} 1,68 = 48$ meses e $\log_{10} 1,92 = 84$ meses) para os períodos de 1947-1971 e 1972-2021, respectivamente. Interessante notar que os ciclos não periódicos parecem ter relação com o tempo médio entre saltos da variância acumulada da figura 3.15.

A Figura 3.17 mostra a série do período de 1972 a 2021 (preto) acompanhada das dinâmicas de longo prazo (vermelho) e de curto prazo (violeta, com oscilações em torno do valor médio) obtidas pela transformada inversa de Fourier com filtros de frequência.

Figura 3.17 – Série de preços do trigo e transformadas inversas de Fourier com filtros
Preços do Trigo de 1972 a 2021 e



Fonte: cálculos próprios a partir da série mensal de índices de preços do trigo do U.S. Bureau of Labor Statistics.

3.4 Conclusões

A análise da série de preços do trigo na Inglaterra de 1264 a 1996 revelou transição da economia para sistema complexo entre os séculos XVIII e XIX. O preço do trigo, por ser alimento essencial relacionado tanto ao custo de vida quanto do trabalho, refletiu essa nova dinâmica de um mundo cada vez mais conectado.

As distribuições de variações de preços passaram a ter alta curtose, com excesso de pequenas variações e maior probabilidade de eventos extremos, o que revela a inadequação de instrumentos baseados em distribuição normal para análise do capitalismo moderno, afinal *outliers* são tanto resultantes de processos endógenos como indutores de transformações.

O espectro de Fourier, que antes se assemelhava a ruído branco, passou a assumir forma de função de potência com expoente negativo, como ruído $1/f$ que caracteriza dependência de

longo alcance típica de sistemas complexos. A contribuição de todas as frequências sugere dinâmicas em vários horizontes temporais devido a cadeias de ações e reações de agentes e de agrupamentos em rede sem escala. Há desde muitos eventos de baixo impacto e de influência limitada quanto alguns muito relevantes que se disseminam pelo sistema. O maior peso de baixas frequências indica a existência de eventos com efeitos duradouros, conflitante com a suposição de equilíbrio de teorias ortodoxas.

Apesar de a avaliação inicial do expoente de Hurst sugerir comportamento compatível com caminho aleatório a partir de meados do séc. XIX, uma análise mais detalhada revelou multifractalidade⁸⁰. Ou seja, a invariância estatística em diferentes escalas de observação é limitada a horizontes temporais. A quebra do padrão de autoafinidade indica a existência de ciclos não periódicos associados à persistência da memória no sistema e diferenciação de processos com a passagem do tempo. Foi possível identificar um padrão levemente persistente (amplificação) no curto prazo ($H_{CP} > 0,5$), com correlação temporal positiva, e outro padrão anti-persistente (dissipação) no longo prazo ($H_{LP} < 0,5$), ou correlação temporal negativa. A percepção da estrutura multifractal contribuiu para a melhor compatibilização entre os expoentes de Hurst e de Fourier, mediada pela dimensão fractal.

Os resultados apontam para reforço no sentido de variações de preços no curto prazo, possivelmente devido a disseminação de informações/interpretações/expectativas associada a algum tipo de rigidez (técnica, contratos, hábitos). Como os preços são resultado do balanço entre oferta e demanda, é possível que, no curto prazo, um movimento de um lado não seja acompanhado pelo outro. Mas, em um horizonte temporal mais longo, são sentidos os efeitos de reações de agentes e de agrupamentos que se adaptam, seja por fundamentos econômicos – como novos investimentos ou mudanças de hábitos – ou por correções de expectativas. Essas respostas produzem reversões de tendências e reorganização com mudanças qualitativas.

O longo processo de transição da economia para sistema complexo parece ter relação com a Revolução Industrial, no final do século XVIII. Mas a transição se completa entre a segunda e a terceira revoluções tecnológicas, ou ondas de Kondratieff, conforme a abordagem econômica evolucionária (FREEMAN e SOETE, 2014 [1974]). Ferrovias, navegação em âmbito mundial em navios de aço a vapor e comunicação instantânea através do telégrafo reduziram distâncias e criaram um novo ambiente para transações, integrando e expandindo mercados nacionais e os ligando a portos para exploração de mercados externos. A integração

⁸⁰ Há dinâmicas em várias escalas temporais (fractal), mas o efeito de memória de alguns eventos é limitado, o que sugere mudanças de processos ou regras entre o curto e o longo prazo.

dessas redes – especialmente após as revogações de proibição à importação de trigo, como as *Corn Laws* na Inglaterra – possibilitou a transmissão de mercadorias e de informações em diversas escalas espaciais e viabilizou a comercialização em bolsas de *commodities*, que forneceram referência global de preços para mercados.

A ampliação da escala de comercialização permitiu maior especialização e o fortalecimento de atores e de grupos que, aproveitando-se de rendimentos crescentes e de pontos de estrangulamento das redes comerciais, atraíram conexões e se transformaram em *hubs*, exercendo poder de mercado na cadeia produtiva do trigo. A coordenação descentralizada do mercado do trigo por esses atores tem relação com a auto-organização, capaz de sustentar ordens econômicas que permitem acumulação. Mas, progressivamente, contradições e conflitos vão se revelando até que se tornam insustentáveis e desencadeiam crises sistêmicas. Nesses momentos de criticalidade, ocorre maior velocidade de transmissão de informações e grande volatilidade de preços, com exploração de possibilidades e reestruturação das relações. Isto é, em vez de o sistema econômico colapsar, agentes e grupos se adaptam ao novo contexto e assumem novas funções em um processo de auto-organização.

Interessantes características do capitalismo como sistema complexo foram observadas pela análise de séries de preços mensais do trigo. O estudo confirmou os sinais de sistema complexo da economia capitalista, afastou a hipótese que a persistência no curto prazo ($H_{CP} > 0,5$) ocorria pela transitoriedade devido a cálculos com poucos dados, ratificou a estrutura multifractal e possibilitou estudar intervalos recentes separadamente.

As séries de preços mensais em intervalos evidenciaram mudanças nos expoentes de Hurst e de Fourier. Tal constatação revela uma diferença fundamental entre sistemas complexos físicos e econômicos, de forma coerente com Ribeiro *et al.* (2018). Se na física os processos seguem regras imutáveis e produzem invariâncias, na economia as regras mudam conforme a evolução do sistema.

Em períodos em que predomina alguma ordem econômica mundial, observa-se multifractalidade, com marcante diferença entre o curto e o longo prazo. No curto prazo, há persistência de memória, provavelmente devido ao alinhamento de expectativas que resultam em tendências, como movimentos de manada, disseminação de tecnologias entendidas como superiores ou de hábitos de consumo, por exemplo. Mas, após algum tempo, inevitavelmente há reversão da tendência com a ocorrência de algum evento que percola pelo sistema, levando a economia a um ponto de criticalidade, com alta velocidade de transmissão de informações e grande variância de variáveis agregadas. Mas, em vez de colapsar, processos de auto-organização reestruturam o sistema. Assim, o longo prazo se caracteriza por reversões de

tendências recorrentes, como estouro de bolhas de expectativas ou mudanças de percepção quanto a técnicas produtivas superiores ou a modas de consumo.

Mas há alguns períodos em que o sistema se desorganiza, como em 1914-45 e após os anos 1971-73. Nesses períodos, há aumento do expoente de Hurst de longo prazo, que pode assumir valores próximos a 0,5 e mesmo superiores, resultando em maior similaridade entre comportamentos no curto e no longo prazo. Isto é, nesses momentos de transição entre ordens econômicas, o sistema perde a característica de multifractalidade, provavelmente porque as referências de longo prazo se desfazem e a confiança nas instituições se deteriora. Em uma analogia com o modelo de Ising, nesses momentos de maior agitação, há ruptura de agrupamentos maiores e de correlações longas. Ou, em uma analogia com o modelo de monte de areia, é como se a forma cônica do monte devido ao processo de acumulação com avalanches fosse alterada por um evento radical, como um terremoto, colocando o sistema longe da inclinação crítica. Nessa situação, processos cumulativos de auto-organização levam mais tempo para reestruturar o sistema, muitas vezes exigindo mudanças de regras relacionais.

A complexidade econômica parece resultar da estrutura fractal do mercado, com conexões em redes sem escala – que contém muitos elementos com poucas ligações e poucos *hubs* que concentram muitas relações – e pela hierarquia de níveis, compreendendo desde relações frequentes em agrupamentos locais até ligações de longa distância entre agrupamentos. Os *hubs* exercem poder através da coordenação descentralizada em redes entrelaçadas das diversas cadeias produtivas. As relações em agrupamentos e entre agrupamentos são mediadas por diferentes regras, que condicionam e influenciam comportamentos. Essas regras evoluem, já que frequentes novidades perturbam o sistema e exigem adaptações de elementos e grupos, produzindo mudanças estruturais.

Tecnologias e instituições emergentes produzem efeitos duradouros, ou memória de longo prazo. As regras que mediam relações conservam relativa ordem, reduzindo incertezas e favorecendo a especialização com interdependência. Mas perturbações produzem desequilíbrios que podem ser absorvidos localmente ou se propagar por reações em cadeia. Além de mudanças gradativas, o sistema econômico complexo presencia reversões abruptas e mesmo transições entre ordens, que envolveram guerras, inovações disruptivas e crises institucionais seguidas de auto-organização.

Ao contrário das análises de equilíbrio, o tempo importa, pois sistemas complexos estão associados à evolução de processos recursivos, envolvendo eventos concatenados, trajetórias e pontos de inflexão, com mudanças qualitativas irreversíveis.

O Apêndice II traz resultados de espectros de transformada de Fourier e expoentes de Hurst de preços mensais de outras *commodities*, além do trigo, entre 1960 e 2023. Além de a maioria revelar sinais de sistemas complexos, notam-se muitas semelhanças com os resultados do trigo, como: distribuição leptocúrtica de variações (curtose > 3); expoentes de Hurst revelando multifractalidade, com comportamento persistente no curto prazo ($H > 0,5$) e anti-persistente no longo prazo ($H < 0,5$) e com ciclo não periódico de cerca de 8 anos; bom ajuste do espectro de Fourier a lei de potência, indicando processos de longa duração e dimensão fractal. Tais resultados apontam para o entrelaçamento de mercados no capitalismo, com a possibilidade de eventos em algum setor se propagarem por cadeias de reações e afetarem toda a economia. Também revelam a existência de processos sócio-político-econômicos que transcendem mercados específicos.

Para tentar entender os processos e os principais eventos associados aos resultados empíricos, tanto no que diz respeito à transição da economia para sistema complexo quanto à caracterização de ordens econômicas e de transições no capitalismo, o próximo capítulo analisa a história do mercado do trigo.

4 HISTÓRIA DO MERCADO DO TRIGO

4.1 Introdução:

Os estudos empíricos com preços do trigo apontaram transição da economia para sistema complexo. Mas a análise estatística da série temporal, apesar de identificar diferenças entre épocas, não permite entender os processos evolutivos.

Este capítulo busca complementar o estudo empírico interpretando a história do mercado do trigo pela abordagem de sistemas complexos, que considera as influências das relações sobre comportamentos, agrupamentos e impactos no resultado agregado devido a mudanças na organização do sistema.

Conforme o capítulo anterior, assinaturas de sistemas complexos foram observadas a partir de meados do século XIX na série histórica de preços do trigo na Inglaterra de 1264 a 1996 de Makridakis et al (1997), o que coloca em dúvida a adequação de teorias baseadas no conceito de equilíbrio. Concluiu-se que o preço do trigo, que se tornou uma variável agregada sujeita a perturbações de diversas naturezas nos setores da sua cadeia produtiva e mesmo de outros setores relacionados, captura a transição da economia para sistema complexo. E que a transição coincide com a integração global do mercado associada à Revolução Industrial.

Em vez de variações aleatórias em torno do equilíbrio, o preço do trigo passou a comportar dinâmicas com memória (dependência de longo prazo) e com mudanças súbitas (descontinuidades) que requerem a análise das estruturas de rede de mercado e dos efeitos de perturbações em cadeias de *feedbacks*.

A expansão do mercado provocou adaptações de agentes econômicos e mudanças institucionais, em uma dinâmica fora do equilíbrio caracterizada por períodos de acumulação, em que mudanças se disseminam constituindo tendências e padrões, alternados por crises, quando eventos disruptivos restringem a previsibilidade e induzem movimentos exploratórios.

Se o trigo ainda é alimento básico de muitas sociedades, as formas como ocorrem sua produção, transporte, comercialização e consumo coevoluíram. De uma cadeia produtiva simples e de abrangência limitada, o mercado do trigo passou a envolver uma série de atividades, atores e relações em diferentes escalas.

4.2 Idade Média

Se havia rotas comerciais ligando populações da Europa, Ásia e norte da África durante o Império Romano, sua queda em 476 d.C. desorganizou a Europa, que se fragmentou em pequenos feudos. Houve aumento de poder da Igreja de Roma, que buscou consolidar

autoridade política no ano 800 com o Sacro Império Romano, que abrangia quase toda Europa Central. Mas o poder militar permaneceu com senhores feudais que controlavam as áreas vizinhas a seus castelos. (SINCLAIR, 2010)

A agricultura se concentrava em torno de castelos e suas vilas sob o controle absoluto de senhores feudais, que decidiam sobre todas as atividades. Por dependerem dos nobres para proteção e uso da terra, os camponeses não tinham alternativa a não ser trabalhar em troca de parte da produção. Em anos de baixa colheita, os camponeses tinham de pegar emprestado grãos dos nobres. Como essas dívidas eram passadas de pais para filhos, muitos camponeses já nasciam com obrigações a saldar. (SINCLAIR, 2010)

Na Inglaterra, entre os séc. IX e XI, os camponeses eram obrigados a moer seus grãos no moinho do senhor feudal, como forma de controle da cobrança de tributo pela retenção de uma parcela da produção. O comércio também tinha estreita relação com a moagem, pela necessidade de conversão em farinha antes do preparo de refeições. Pelas dificuldades impostas aos camponeses e pela baixa transparência associadas a esse monopólio local, o moleiro era mal visto pela comunidade de camponeses. Enquanto o sistema de tributação pelos senhores foi mantido, como até 1791 na Inglaterra, era raro o trigo ser vendido além dos domínios do senhor. (THE NATURAL HISTORY OF WHEAT, 2022)

Por ser um produto essencial cuja escassez podia provocar revoltas populares, era comum haver regulação. Na Londres medieval, comerciantes eram acusados no tribunal caso vendessem a preço muito alto. Em Bristol, no século XIV, era ilegal armazenar grãos para venda em outro mercado com ágio. Autoridades intervinham em épocas de preços elevados, forçando vendas a preços mais baixos ou confiscando os cereais. E a coroa tinha um direito tradicional de fornecimento de grãos abaixo do preço de mercado. (CLARK, 2015)

No mercado de pães na Inglaterra do século XIII ao XVIII, todos os preços em padarias eram regulados pelo estatuto chamado *Assize of Bread*. Os padeiros trabalhavam sob controle de preços e os lucros sobre pães eram fixados de forma independente dos preços dos grãos. Com preços de pães fixos, eram seus tamanhos que variavam conforme o preço do trigo. Por volta de 1600, pães chatos feitos com farelo de trigo e centeio, conhecidos como *horse-breads*, eram consumidos pelos mais pobres em épocas de carestia. (RUBEL, 2011)

Apesar das restrições institucionais e de transportes, Clark (2015) avalia, pela análise da variação de preços de grãos de 1208 a 1500 no sul da Grã Bretanha, que o mercado de grãos era relativamente bem estruturado, com armazenagem e comércio inter-regional para evitar grandes variações de preços, o que permitia especialização regional. Mas, por outro lado, a falta de uniformidade de medidas e da qualidade dos grãos era sinal de limitações.

Se nobres e comerciantes comiam pães e carnes de animais criados ou de caça, a dieta de camponeses consistia em mingau enriquecido com vegetais de suas hortas, que adubavam com esterco. Em altas latitudes, pela maior dificuldade de se cultivar trigo no frio e em solos menos ricos, havia produção de centeio e aveia que substituíam o exigente trigo, dando origem a variadas receitas regionais, como biscoitos escandinavos e *pretzels* alemães. A cerveja era outro elemento da dieta diária de camponeses. A fermentação a partir de variadas combinações de grãos resultava em grande diversidade de sabores. Se havia produção doméstica de bebidas alcoólicas, o crescimento de vilas e cidades levou ao surgimento de cervejarias para produções em maior escala, com destaque para mosteiros que tinham no comércio de cerveja a principal fonte de renda. Mas dificuldades de transportes associadas ao seu caráter perecível exigiam produção local. Foi nessa época que foram introduzidas flores secas de lúpulo na mistura fermentada para preservação. (SINCLAIR, 2010)

Apesar do ritmo lento, durante a Alta Idade Média ocorreu progresso tecnológico nos setores agrícola e alimentar, com a introdução de novas técnicas de cultivo e de métodos de preparação de comida. As florestas da Europa Central foram progressivamente removidas, dando lugar a plantações em solos menos ricos. O aumento da área de cultivo foi possível pela introdução do arado ferro sobre rodas com placa que revirava a terra, enterrava ervas daninhas e uniformizava o solo em linhas para a semeadura. Por ser pesado, o arado era puxado por bois, tornando esses animais comuns na região. A rotação bianual romana, com descanso da terra, foi substituída pela rotação de três campos, permitindo que dois terços das terras fossem cultivados. Com a introdução de arreios apropriados que distribuíam o peso, cavalos puderam ser usados para puxar arados, ampliando a força e a velocidade, e em carroças usadas para entrega de excedentes às cidades emergentes. (SINCLAIR, 2010)

Durante esse período, houve um processo circular de crescimento da produção e da população, acompanhado de evolução das atividades especializadas de moagem, padarias e cervejarias, além do comércio. O aumento da produtividade gradualmente liberou pessoas das atividades agrícolas que se especializaram como artesãos e comerciantes em cidades, geralmente próximas aos castelos mais produtivos. As cidades prosperaram e passaram a demandar remessas de grãos em maior escala, ampliando não apenas o comércio local, mas também a conexão entre cidades. Afinal, era preciso obter suprimentos em outras regiões em épocas de más colheitas. (SINCLAIR, 2010)

Já o comércio de longa distância no início da Idade Média restringia-se a mercadorias exóticas desejadas por ricos, tendo pouca influência sobre a vida cotidiana das pessoas comuns. O maior controle das autoridades para evitar instabilidades de preços fez com que o comércio

ocorresse fora dos muros das cidades. O comércio atacadista, envolvendo negociações de altas somas de dinheiro, passou a ocorrer em feiras por toda a Europa. Tais feiras tinham regras especiais, impostas pelas autoridades locais, para garantir paz. A lei dos mercadores era internacional e havia uma corte própria com juízes eleitos. Notas de câmbio e de crédito eram adotadas nas negociações entre mercadores atacadistas e o mecanismo de reputação desempenhava importante papel nas relações. (SWEDBERG, 1995, 2005)

A peste negra se disseminou pela Europa a partir de 1347 através das rotas comerciais. Afinal, cargas de grãos também transportavam ratos e suas pulgas. Cerca de um terço da população europeia morreu de peste bubônica em apenas cinco anos. Como consequência da peste, houve retrocesso na produção e no comércio, praticamente fazendo desaparecer o mercado inter-regional de grãos. Receosos do contágio, populações sobreviventes se isolaram e romperam vínculos comerciais. Apenas a partir de 1550, com o restabelecimento da população da Europa e a ascensão dos Impérios Espanhol e Holandês, houve reversão desse processo e novo estímulo para as atividades produtivas e comerciais. (SINCLAIR, 2010)

4.3 Idade Moderna

Transformações ocorridas na Idade Moderna contribuíram para a transição da economia para sistema complexo, como: unificação de mercados nacionais; absorção das pessoas comuns nas redes de mercado pelos processos de criação das mercadorias fictícias trabalho, terra e dinheiro, conforme Polanyi (2000 [1944]); e ampliação das relações a nível global, com as navegações e conquistas imperiais de nações europeias (abertura de mercados).

Nos três volumes da obra, “Civilização material, economia e capitalismo: séculos XV-XVIII” (2005 [1979]; 2009a [1979]; 2009b [1986]), o historiador Fernand Braudel desenvolveu sua visão de economias-mundo como subsistemas relativamente isolados. Os limites de cada época, em cada região, determinaram as trocas possíveis e condicionaram trajetórias evolutivas, seja pelo efeito ocupação ou pela consolidação de regras de transação e de comportamentos aceitáveis, com relações recíprocas entre os aspectos econômico, social, político e cultural.

Braudel analisa esse período a partir de um esquema tripartido, algo compatível com a abordagem de sistemas complexos em que diferentes regras modelam relações entre elementos em agrupamentos e entre agrupamentos em vários níveis hierárquicos:

- i. Infra-economia: economia informal, autossuficiente, com trocas limitadas a raios curtos devido ao isolamento provocado pela precariedade de transportes;
- ii. Economia de mercado: movimento das trocas cotidianas, com concorrência;
- iii. Hierarquias sociais ativas: jogos capitalistas baseados na especulação que falseiam a

troca em proveito próprio, abalando a ordem à distância através de instrumentos de difícil compreensão pelo homem comum, como letras de câmbio, títulos, ações. Tais agentes promovem o capitalismo de exceção, multinacional e monopolista.

Para Braudel, o trigo exemplifica esse esquema tripartido:

Assim, mesmo o trigo, mercadoria onipresente na Europa, se separa, sem erro possível, segundo o esquema que nos retém a atenção: é autoconsumo e situa-se no andar térreo da vida material; é comércio regular de pequena distância, dos celeiros habituais até a cidade próxima que tem sobre eles “uma superioridade de situação”; é comércio irregular e às vezes especulativo de província a província; finalmente, de grandes distâncias, quando das crises agudas e frequentes de penúria, é objeto de intensas especulações por parte do grande comércio. E, cada vez que se muda de andar no seio da sociedade mercantil, são outros os atores, outros os agentes econômicos que interveem. (BRAUDEL, 2009a, p.405)

Por muito tempo, as dificuldades de transportes restringiram as trocas a curtas distâncias. Transações de grandes volumes a preços baixos geralmente ocorriam apenas a nível regional. O relativo isolamento de populações permitiu grande diversidade de técnicas produtivas e de hábitos de consumo pelo mundo. Trocas regulares entre regiões distantes se restringiam a produtos de alto valor com relação a seu peso, como tecidos finos e especiarias.

Progressivamente, de acordo com as condições que possibilitavam regularidade das trocas a curta distância, passou a haver maior divisão do trabalho e especialização, principalmente entre cidade e campo, maior produtividade, diversificação de produtos e de consumo nas regiões, com atividades voltadas para comercialização em vez de subsistência.

As cidades foram se desenvolvendo em torno de mercados que centralizavam as trocas entre camponeses e cidadãos. Algumas dessas cidades abrigavam feiras temporárias que acabaram por regularizar trocas a média e longa distâncias, permitindo maior divisão de trabalho, com especialização produtiva de acordo com as potencialidades de cada região. Com a especialização regional de culturas, a agricultura passou a buscar rendimentos em vez de subsistência, com colheitas comercializadas e dependentes de grandes mercados.

Algumas cidades, favorecidas por sua posição geográfica estratégica, ocuparam os vértices dessas ligações, concentrando relações e atividades comerciais e passaram a formar, entre si, redes na escala mundial. Houve estreita ligação entre a classe mercantil e o poder político nessas cidades com relevância comercial.

O acesso a mercadorias de regiões distantes produzia impactos sociais, com contrastes entre hábitos locais e outras possibilidades de satisfação de necessidades, percebidas por novas experiências e imitações de elementos de culturas de outras regiões. Além de implicar em maior

especialização na produção, maior produtividade e diversificação do consumo, a regularidade das trocas materiais também conduziu à multiplicação de intermediários mercantis, que lidavam com atividades de negociação, transporte e finanças, de forma a extrair valor da ligação de mercados antes separados.

Se os comércios local e regional englobavam os maiores volumes de trocas, o de longa distância permitia altos rendimentos, constituindo-se na gênese do capitalismo mercantil. A ligação por intermediários de dois mercados separados entre si exigia capitais suficientes, crédito, informações privilegiadas sobre ofertas e demandas locais, boas relações e sócios nos pontos estratégicos que partilhassem segredos do negócio. O comércio a longa distância passou a ser controlado por comunidades (família ou origem), já que a confiança recíproca favorecia transações. Regras que mediavam relações entre mercadores foram se desenvolvendo, inclusive com a aceitação de novos instrumentos de pagamento e de crédito (letras de câmbio, notas promissórias) quando havia carência de moedas.

As dificuldades e os riscos envolvidos no comércio de longa distância possibilitaram a imposição de barreiras à concorrência e a consolidação de monopólios. Grandes negócios eram construídos com base em domínios de posições estratégicas da cadeia, como transporte, armazenagem e finanças. Mercadores tentavam se proteger das oscilações dos preços de mercado através de instrumentos como compra antecipada e crédito. Através da armazenagem, era possível contornar a irregularidade da produção e a lentidão das viagens comerciais de forma a transformar as chegadas intermitentes em fluxo contínuo. Mas também permitia controlar a oferta de acordo com características de demandas locais. A consequente manipulação de preços distorcia as regras locais de economia de mercado e gerava lucros extraordinários a minorias que ocupavam o topo da hierarquia mercantil.

A busca por monopólios era favorecida por coalizões entre membros de grupos privilegiados (grandes comerciantes, banqueiros e industriais) em suas negociações com agentes de outras atividades da cadeia (trabalhadores, pequenos produtores e comerciantes, consumidores). Os altos investimentos de certos empreendimentos (custos de capital fixo e de giro) erguiam barreiras à concorrência e conferiam oportunidades diferenciadas.

Em vez de especialização em atividades econômicas, mercadores se envolviam em várias iniciativas concomitantemente nos campos comercial, financeiro e industrial. Esse grupo ocupava posição privilegiada em termos de acesso a informações (dada sua ampla rede de contatos), de opções disponíveis para aplicação de recursos em busca de rendimentos, de acesso a instrumentos que favoreciam a mobilidade de recursos (bolsas, câmbio, crédito) e mesmo a consideração social (garantias, privilégios, cumplicidades, proteções). Isso conferia

plasticidade, capacidade de transformação e de adaptação em momentos de variação da conjuntura (crises) e de manipulação⁸¹. Para Braudel, mais que a própria escolha, é o fato de ter meios de criar e de modificar estratégia que define a superioridade capitalista⁸².

As opções de conexões disponíveis aos agentes são determinantes para os colocar em posição dominante ou dependente. A hierarquia resulta em assimetria no poder de influência das condições que afetam preços e lucros ao longo da cadeia⁸³. O capitalismo implica em maior leque de opções da classe privilegiada e de maior liberdade de escolha, em contraste com aqueles que ocupam a base da hierarquia, que se vêem privados de alternativas, tendo de exercer sua função na divisão de tarefas. Se o lado negativo é a tendência à concentração de capital e de poder, com maior desigualdade, o capitalismo possibilita grande flexibilidade e capacidade de adaptação em um mundo sujeito a mudanças frequentes. Isso se relaciona com a auto-organização do sistema após crises, com efeitos desiguais entre agentes e regiões.

A evolução da economia em diferentes regiões do mundo tem relação com as interações com os aspectos social, político e cultural. Em outras economias-mundo até o séc. XVIII (Islã, Índia, China e Rússia), a categoria mercantil enfrentou maior oposição dos demais setores, seja por governos centralizadores e autoritários, culturas (religiões) que valorizavam mais aspectos espirituais que materiais, condenando o enriquecimento, ou por inflexíveis regras sociais.

Já no Ocidente, a classe de grandes comerciantes das cidades acabou se deparando com meios de obter poder político, ascender socialmente e transformar valores culturais. O poder econômico e o poder político se alinharam devido à necessidade de financiamento de Estados em frequentes disputas, pela ocupação de cargos públicos (como coletores de impostos) e mesmo pela associação em empreendimentos (como fundação de bancos e de companhias mercantis). Esse alinhamento repercutiu em regras e concessões que beneficiaram a classe com predominância econômica, como a proteção da propriedade privada. As instituições sociais ocidentais permitiam alianças e divisão da sociedade em grupos, alguns dominadores, assim como transferências de propriedade por herança que favoreceram acumulações de longo prazo

⁸¹ “A classe capitalista sempre soube dirigir e controlar as mudanças a fim de preservar sua hegemonia.” (BRAUDEL, 2009b, p. 382)

⁸² “Só o capitalismo tem uma relativa liberdade de movimentos. (...) Escolher, poder escolher, mesmo que a escolha seja de fato bastante restrita, que privilégio imenso!” (BRAUDEL, 2005, p. 514)

⁸³ “O principal privilégio do capitalismo, hoje como ontem, continua sendo a liberdade de escolha – um privilégio que tem a ver simultaneamente com sua posição social dominante, com o peso de seus capitais, com suas capacidades de empréstimo, com sua rede de informações e, em igual medida, com os vínculos que, entre os membros de uma minoria poderosa, por mais dividida que esteja por obra do jogo da concorrência, criam uma série de regras e cumplicidades.” (BRAUDEL, 2009b, p. 578)

e alguma mobilidade social. Mesmo a cultura, que representa resistência a mudanças, pregando resignação, submissão e sensatez, passou a aceitar sinalização de *status* social através do consumo conspícuo e deixou de condenar a usura.

Quando as técnicas de transporte evoluíram para permitir contato mais frequente entre as diferentes civilizações, o ocidente usou de violência para impor sua supremacia e forçar os termos de comércio internacional baseado em trocas desiguais, determinante para a divisão internacional de trabalho. Houve frequentes conflitos entre europeus na disputa por exclusividade no acesso a mercados e na proteção de seus mercados internos para evitar afluxo de metais, favorecendo o alinhamento entre a classe capitalista nacional e o Estado.

Como transações econômicas controladas por cidades não respeitam fronteiras, foi necessária a atuação do Estado (territorial) para a constituição de um mercado interno com coerência econômica no espaço político, para prover capacidade de se comportar como agrupamento com relação ao resto do mundo e para colocar a primazia urbana em segundo plano. Ao agir voluntariamente para proteger e fomentar a economia interna⁸⁴, o Estado contribuiu para o desenvolvimento integrado de diversos setores nacionais, ao promover trocas regionais de produtos diversificados e complementares. A existência de um mercado interno vigoroso evita pontos de estrangulamento: quando ocorre crescimento de um, os outros acompanham. Na Inglaterra, mercado interno integrado e domínio de mercados externos foram bases para a Revolução Industrial.

Todos esses fatores levantados por Braudel evidenciam que a análise do mercado não pode se restringir à visão ingênua que destaca troca espontânea, não dirigida, livre e competitiva que atua no equilíbrio entre oferta e procura. A divisão de tarefas não é devido à vocação, mas à herança, consolidação de situações históricas caracterizadas por trocas desiguais, criadoras de desigualdades. A recíproca é válida: desigualdade cria trocas.

Outra contribuição de Braudel para o estudo de mercado é enxergá-lo como rede, que liga agentes e regiões, sendo a variação do preço⁸⁵ um indicador do grau de conexão e da hierarquia: preços no centro variam menos que na periferia. A discussão do autor sobre a existência concomitante de ciclos de diferentes frequências na variação de preços é coerente com o espectro de Fourier encontrado no capítulo empírico.

⁸⁴ Protecionismo; investimento em infraestrutura; constituição de sistema financeiro nacional para gerir moeda, crédito e câmbio; e associação com setor privado nacional em empreendimentos estratégicos.

⁸⁵ “O que vibra sob o impacto dos preços são redes previamente estabelecidas.” (BRAUDEL, 2009b, p. 70)

Destaca-se o papel de intermediários comerciantes, que permitem acessos a mercados e, dependendo do contexto, podem controlar fluxos e preços, distorcer a estrutura da rede e concentrar excedentes, especialmente nas ligações a grandes distâncias. Ao dominar pontos estratégicos, tais agentes exercem controle indireto da rede e coordenam a divisão de tarefas. O mesmo ocorre, em outra escala, com cidades que ocupam vértices de rotas comerciais. O número de ligações, e de opções, pode ser uma medida do poder econômico.

Alimentação

A dieta alimentar era monótona, com o pão consumindo a maior parte do orçamento familiar. Alimentos de origem animal (carnes, laticínios), azeite e bebidas complementavam a dieta em proporções que dependiam da renda familiar e da cultura local. Diferentes tipos de pães eram consumidos conforme classes sociais, sendo o de trigo mais apreciado por ricos e o centeio considerado alimento dos pobres, que também consumiam papas de cereais. Alguns desses grãos, como aveia e cevada, eram majoritariamente destinados a cavalos.

Apesar de as cidades viverem dos excedentes produtivos do campo circundante (raio de 20 a 30 km), era preciso apelar para celeiros privilegiados em tempos de más colheitas, com transporte por via aquática. Por ser alimento de ricos, o trigo era pago em ouro ou prata. Mas o comércio de trigo a longa distância ainda era marginal, representando apenas cerca de 1% do consumo total. No séc. XVI, ainda não havia grandes mercadores especializados em trigo nem em Veneza, Gênova ou Florença, sendo uma mercadoria comercializada apenas em tempos de crise. Somente no séc. XVIII houve evolução nos sistemas de compra, de entreposto e de redistribuição necessários para a circulação regular a longas distâncias de mercadorias pesadas e perecíveis. (BRAUDEL, 2005)

A partir da Europa, a cultura do trigo se expandiu para o leste. Desde o séc. XVI, russos exploravam as terras negras da atual Ucrânia, com abundância que permitia fornecer grande parte da alimentação à Turquia. No séc. XVIII, o trigo russo chegou a ser exportado para a Espanha, Portugal e França. A Polônia também era grande produtora de trigo para exportação, baseada no confisco por nobres proprietários da produção de camponeses, que se alimentavam de cevada e aveia. Conquistas europeias disseminaram o trigo também para as porções temperadas da América e outras partes do mundo. (BRAUDEL, 2005)

Já a base alimentar do oriente se baseou no arroz, cultura que, apesar de também ser muito exigente em termos de trabalho, apresentava maior produtividade e era de simples preparo para consumo pós-colheita. Tais diferenças impactaram as sociedades não apenas em termos de técnicas produtivas e preferências, mas também em termos demográficos. Em regiões com maior custo de trabalho, seja pelos custos de subsistência ou pela carência de pessoas,

havia mais incentivos ao desenvolvimento de técnicas para aumento de produtividade, como uso de ferramentas, de máquinas e força animal.

Revolução Agrícola

A Revolução Agrícola Britânica, iniciada no séc. XVII, caracterizou-se pela aplicação em atividades agrícolas de animais e implementos, como aração e semeadura, uso de adubos orgânicos (esterco e palhada), introdução de novas culturas (como milho e batata, de origem americana), seleção de sementes e novo sistema de rotação de culturas. O uso dessas técnicas permitiu aumento da produtividade, a ampliação da área cultivada com menos trabalho e o crescimento populacional⁸⁶. Também teve como consequência reestruturação fundiária e reorganização social. A política de cercamentos, com ocupação de terras comunais e expulsão de camponeses, começou em meados do séc. XVII, mas se intensificou a partir de 1750.

A adoção de animais no sistema exigia o cercamento das terras para evitar que invadissem as lavouras. Além disso, o cultivo intensivo com implementos agrícolas movidos por animais de carga – além do pastoreio de ovelhas para produção de lã para suprir a nascente indústria têxtil inglesa – requeria ampliação da área ocupada pelas fazendas. Pressões políticas da classe de proprietários rurais resultaram em mudanças de legislação fundiária para transformação de terras comunais em grandes propriedades privadas.

Impedidos de cultivar terras comunais, camponeses foram forçados a migrar, oferecendo o que lhes restava, a força de trabalho, em troca de salários. Para lidar com essas pessoas desalojadas que transitavam pelo país, foram criadas as *Poor Laws*. O aumento da produtividade nos campos, a grande disponibilidade de trabalhadores, os baixos salários e o aumento da produção de lã em campos cercados foram fatores que contribuíram para a Revolução Industrial na Inglaterra. (BRAUDEL, 2005)

Mercado nacional, mercadorias fictícias, contradições e duplo movimento

Mercados nacionais foram criados através de revoluções políticas na Inglaterra, França e EUA, levando ao surgimento de vários mercados especializados. À medida que havia inovações tecnológicas em transportes e em armazenagem, centros comerciais com instituições financeiras, como Bolsas de Valores, permitiam transações de atacado. O mercado varejista também passava por transformações, com a proliferação e surgimento de novos tipos de lojas para atender trabalhadores assalariados. (SWEDBERG, 1995)

A remoção de tarifas, pedágios e barreiras alfandegárias integrou o mercado nacional

⁸⁶ A população da Inglaterra e País de Gales cresceu de 5,5 milhões para 9 milhões de pessoas entre 1700 e 1801.

britânico, constituindo o maior mercado da Europa. O comércio entre regiões requeria mercados, crédito e vendas a termo, além de conhecimentos sobre preços, ofertas e demandas em diferentes locais. O mercado de trigo alcançou integração nacional em 1700, estimulada pelo crescimento de Londres e outras grandes cidades. A partir do séc. XIX, a maior parte da produção agrícola passou a ser destinada ao mercado em vez de subsistência familiar. (BRITISH agricultural revolution, 2023)

O processo de criação do comércio interno não foi natural, mas resultado de esforço do Estado. Como consequência do mercado nacional, houve surgimento de concorrência interna pela disponibilidade do mesmo produto com origens diferentes ou de bens substitutos. Como já se sabia que a competição levaria ao monopólio⁸⁷, o Estado precisou intervir para evitar os perigos do monopólio no mercado de itens necessários à sobrevivência: riscos de grandes oscilações de preços, desabastecimentos e crises. A solução foi regulamentar a vida econômica em escala nacional, não mais apenas municipal, sendo as instituições protetoras das cidades expandidas para a nação. (POLANYI, 2000 [1944])

Polanyi (2000 [1944]) argumenta que se buscou estabelecer um grande mercado integrado e autorregulável. Para isso, era preciso que o mecanismo de mercado envolvesse todos os fatores de produção e mercadorias, interligando-os. Para induzir alocação e produção conforme variações de preços, havia necessidade de capacidade de armazenamento e de mobilidade das diversas mercadorias. Mas, para que todos os fatores de produção estivessem no mercado, com preços, “mercadorias fictícias” precisaram ser forjadas.

A auto regulação significa que toda a produção é para venda no mercado, e que todos os rendimentos derivam de tais vendas. Por conseguinte, há mercados para todos os componentes da indústria, não apenas para os bens (sempre incluindo serviços), mas também para o trabalho, a terra e o dinheiro, sendo seus preços chamados, respectivamente, preços de mercadorias, salários, aluguel e juros. (POLANYI, 2000 [1944], p. 90, grifos meus)

O fim de áreas comunais e a concentração da propriedade de terra nas mãos de poucos retiravam a possibilidade de obtenção do sustento de forma independente de grande parte da população. Pessoas que antes se dedicavam a atividades de subsistência foram obrigadas a se conectarem à rede de mercado. Caso contrário, passariam fome e seriam classificadas como vagabundas ou inaptas (deficientes, crianças e idosos), sendo as primeiras sujeitas aos

⁸⁷ Para Marx (2013 [1867], cap. 23), a luta concorrencial é travada por meio do barateamento das mercadorias. O baixo preço das mercadorias depende da produtividade do trabalho, mas esta, por sua vez, depende da escala da produção. Os capitais maiores derrotam, portanto, os menores.

mecanismos de repressão das *Poor Laws*⁸⁸.

Segundo Marx (2013 [1867]), para que o dinheiro fosse transformado em capital, era essencial que o possuidor de dinheiro encontrasse no mercado o trabalhador livre. Livre em dois sentidos: de ser uma pessoa livre, que dispõe de sua força de trabalho como sua mercadoria; e de, por outro lado, ser alguém que não tem outra mercadoria para vender, carecendo absolutamente de todas as coisas necessárias à realização de sua força de trabalho. Com o capitalismo, ocorre uma mudança estrutural, com o trabalho se dissociando dos meios de produção, transformando-se em mercadoria e gerando demanda, já que todos os bens de consumo devem ser obtidos no mercado. Desde então, a produção de mercadorias se generaliza e se torna a forma típica da produção. Cada produto passa a ser produzido para a venda e toda a riqueza produzida percorre os canais da circulação. A produção de mercadorias se impõe a toda a sociedade quando o trabalho assalariado constitui sua base.

Entretanto, como a economia está inserida em um sistema mais amplo que envolve os fatores social e político, a reestruturação das relações com base apenas em mecanismos de mercado resultaria no desmoronamento da sociedade. Afinal, a terra era o elemento crucial da ordem feudal, a base do sistema militar, jurídico, administrativo e político, sendo seu *status* e função determinados por regras legais e costumeiras. (POLANYI, 2000 [1944])

Como reações para proteger a sociedade frente ao avanço do mercado, evitar mudanças bruscas e dar tempo para adaptação, foi preciso criar mecanismos de proteção social. Mas a própria existência desses mecanismos de proteção impedia o ajuste automático de mercado, resultando em contradições. Afinal, o bom funcionamento do mecanismo de mercado autorregulado requeria que não houvesse qualquer interferência no ajustamento dos preços às mudanças das condições do mercado, exigindo a separação institucional da sociedade nas esferas econômica e política. (POLANYI, 2000 [1944])

Mas aumentos de preços de alimentos por quebra de safras e restrições ao comércio de grãos das *Corn Laws* aumentavam a pobreza e ameaçavam a estabilidade social. Para evitar mudanças bruscas e revoltas populares, em 1795 foi introduzido o sistema de Speenhamland que constituía um fundo para subsidiar salários mantendo proporcionalidade com relação ao preço do pão e ao tamanho da família, visando garantir o direito à vida de trabalhadores. Mas o subsídio acabou sendo apropriado por patrões, que mantinham salários abaixo da subsistência confiando na complementação pelo fundo público. (POLANYI, 2000 [1944])

⁸⁸ A Lei dos Pobres de 1601 decretou que os pobres aptos deviam trabalhar para obterem seu sustento em troca de qualquer salário oferecido e só os que não conseguiam trabalho podiam pedir assistência. (POLANYI, 2000)

A intensificação das *Corn Laws* em 1815, após o fim das guerras napoleônicas, implicou em aumento dos preços de alimentos em um contexto de crescimento da população e de desemprego. Essas condições inviabilizaram o sistema Speenhamland e, em 1834, foi instituída a Nova Lei dos Pobres para reduzir o custo assistencial. A partir de então, o auxílio apenas seria concedido em casas de trabalho que deveriam ter condições degradantes como forma de dissuadir a todos, menos aqueles destituídos de capacidade de trabalho.

Portanto, a história social do século XIX foi o resultado de um “duplo movimento: a ampliação da organização do mercado em relação às mercadorias genuínas foi acompanhada pela sua restrição em relação às mercadorias fictícias”. (POLANYI, 2000 [1944], p. 98)

4.4 Idade Contemporânea

Foi na Idade Contemporânea que o capitalismo se estabeleceu e os preços do trigo passaram a revelar sinais de que a economia se comporta como um sistema complexo, conforme o capítulo empírico desta tese. Inúmeras perturbações, algumas disruptivas, processos de auto-organização e períodos de crises levaram à alternância entre ordens econômicas, que abrangem aspectos institucional, político e social.

(...) nenhum estado do capitalismo é permanente ou estável. Cada novo momento da história do capitalismo produz novas instabilidades e até contradições, provocando vastos rearranjos espaciais, sociais e políticos. (BECKERT, 2014, p. 20)

Por ser um alimento básico, o trigo possui grande relevância econômica, relacionando-se não apenas aos diversos setores de sua produção (terra, insumos agrícolas, máquinas, trabalho rural), distribuição (transportes, comunicação, armazenagem, atacado, varejo) e consumo (mercadorias complementares e substitutas), mas também pela conexão indireta – intermediada pelo trabalho⁸⁹ – a todos os setores da economia. Além disso, por constituir base alimentar, o preço do trigo pode ser considerado uma variável a ser mantida em faixas aceitáveis para a estabilidade de agrupamentos, como o conceito de *homeostasis*.

Portanto, a análise histórica do mercado trigo requer considerar contextos econômicos mais amplos, como as Revoluções Industriais e os Regimes Alimentares.

Revoluções Industriais

Autores da economia evolucionária⁹⁰ organizaram a história econômica pós-Revolução Industrial em cinco eras tecnológicas:

⁸⁹ Os preços dos alimentos básicos definem o piso do salário de subsistência.

⁹⁰ Freeman e Louçã (2001); Freeman e Soete (2014 [1974]) e Perez (1983; 2010).

- RI 1: era do algodão, ferro e energia hidráulica;
- RI 2: era das ferrovias, vapor e mecanização;
- RI 3: era do aço, engenharia pesada e eletrificação;
- RI 4: era do petróleo, automóveis, motorização e produção de massa;
- RI 5: era da tecnologia de informação e da comunicação.

A tabela abaixo resume os conjuntos de características de cada era tecnológica:

Tabela 4.1 – Eras Tecnológicas das Revoluções Industriais (RI)

| | RI 1 Era do algodão, ferro e energia hidráulica | RI 2 Era das ferrovias, vapor e mecanização | RI 3 Era do aço, engenharia pesada e eletrificação | RI 4 Era do petróleo, automóv., motoriz. e prod. de massa | RI 5 Era da tecnologia de informação e da comunicação |
|--|--|---|--|---|--|
| Décadas (aprox.) | 1770 – 1840 | 1830 – 1890 | 1880 – 1940 | 1930 – 1990 | 1980 – |
| Energia | Hidráulica | Vapor (carvão) | Eletricidade: geração central e distribuição | Petróleo e derivados | Energia nuclear e fontes renováveis (solar, eólica, biomassa); baterias |
| Materiais | Algodão, ferro, água | Ferro, água (vapor) | Aço e outras ligas metálicas | Materiais sintéticos (plástico, poliéster, fertilizantes) | Silício (chips) |
| Infraestrutura (redes) | Estradas e canais; portos em mares e rios navegáveis | Rede ferroviária; telégrafo; cabo submarino | Rede elétrica; telefonía; saneam.; portos oceânicos | Ruas, rodovias; aeroportos | Internet; redes sem fio; satélites |
| Unidade produtiva dominante | Fábrica integrada; empresa familiar | Sociedade de investimentos | Empresa Multidivisional | Multinacional com suporte do Estado | Corporação transnacional |
| Máquinas | Fuso e tecelagem | Locomotivas, máquinas a vapor | Máquinas elétricas | Motor a combustão (carros, caminhões, tratores, aviões) | Computador |
| Varejo e Consumo | Monopólio local de comerciantes; vendedores itinerantes | Mercado urbano; diversificação de mercadorias | Lojas de depart.; catálogos postais; cadeias de lojas; serviços urbanos (eletr., saneam., tel) | Supermercados; <i>shopping centers</i> ; consumo de massa | <i>E-commerce</i> ; plataformas; segmentação do consumo |
| Outros aspectos | Trabalhadores assalariados em unidades fabris | Urbanização; integração do interior ao mercado | Economias externas em cidades; <i>utilities</i> | Capilarização do mercado | Mundos virtuais |

Fontes: Albuquerque (2018; 2022); Freeman e Louçã (2001); Freeman e Soete (2014 [1974]) e Perez (1983; 2010).

Obs: a tabela lista as novidades de cada Revolução Industrial, mas as novas tecnologias se sobrepõem às antigas em vez de substituí-las. Por exemplo, combustíveis fósseis ainda predominam na matriz energética de muitos países.

Cada uma dessas eras envolveu um conjunto de mudanças com *feedbacks* positivos que produziram transformações qualitativas da economia. Além das inovações em setores específicos, destacam-se as interrelações que pressionam por adaptações nos demais setores de forma a superar os gargalos de cada época, configurando processos coevolutivos. As eras representam intervalos de predomínio de ordens econômicas, com disseminação de práticas, padronização e tendências de alinhamentos. Entre essas eras, houve períodos de crises, marcados por exploração de possibilidades até que uma nova tendência fosse definida.

Regimes Alimentares

Já a literatura de Regime Alimentar analisa historicamente a interrelação entre mudanças regulatórias e tecnológicas, considerando o sistema estatal, a organização econômica nacional e a agricultura comercial (FRIEDMANN e MCMICHAEL, 1998).

Em um regime alimentar, atores sociais – como fazendeiros, capitalistas, governos e movimentos sociais – são limitados por regras implícitas que resultam em relações comerciais relativamente estáveis. Essas relações, por sua vez, moldam a divisão social e geográfica do trabalho, padrões de comércio e políticas do sistema global alimentar. Entre tais regimes, ocorrem marcantes transições em processos de auto-organização que abrangem diversos aspectos do sistema. São identificados três regimes alimentares baseados na liderança econômica e política de um poder mundial hegemônico: (MAGNAN, 2016)

- Regime Alimentar Centrado no Reino Unido, de 1870 a 1914: quando a política agrícola girava em torno dos interesses e lutas dos colonos, à medida que EUA e Canadá se integravam nos mercados mundiais de trigo. A política alimentar priorizava o acesso a alimentos básicos baratos e seguros.
- Regime Alimentar Mercantil-Industrial, de 1945 a 1973: período de forte regulamentação estatal, com programas de segurança agrícola, com *lobbies* nos países centrais exercendo influência para consolidação de posições na rede.
- Regime Alimentar Corporativo, desde 1995: dinâmica mais conflituosa e contraditória marcada pela liberalização da política agrícola que afetou atores de forma diversa no mundo (norte x sul), em setores (laticínios x grãos) e em classes (grandes fazendeiros industriais x pequenos fazendeiros familiares).

Como o poder não é permanente e rivais desafiam as instituições dominantes, contradições e tensões na dinâmica do sistema capitalista mundial levam a períodos de rápida mudança, geralmente com transição de hegemonia. Nas crises, atores adotam diferentes estratégias procurando ou desafiar ou manter as regras, gerando padrões de competição e de comércio. Assim, regimes alimentares moldam e são moldados, com efeitos de *feedback*, por interesses, motivações e percepções dos atores. (MAGNAN, 2016)

Períodos do mercado do trigo

Tendo como referência as ordens econômicas e transições consideradas nas literaturas de Revoluções Industriais e de Regimes Alimentares, optou-se por dividir a análise da história do mercado do trigo na Idade Contemporânea em 8 períodos⁹¹:

- 1) Economia agrícola exportadora: 1760s a 1803;
- 2) Restrições ao comércio internacional de grãos: 1803 a 1846;
- 3) Abertura ao comércio internacional de grãos: 1846 a 1873;

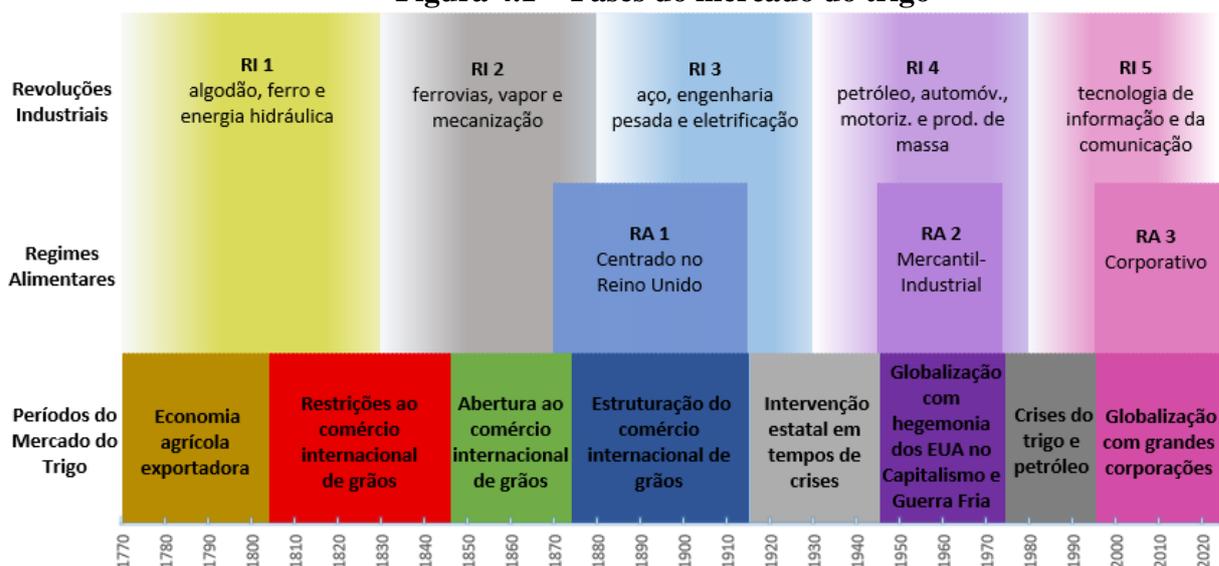
⁹¹ Apesar de a periodização clássica definir a Revolução Francesa (1789) como início da Idade Contemporânea, esse estudo precisou retornar à década de 1760.

- 4) Estruturação do comércio internacional de grãos: 1873 a 1914;
- 5) Intervenção estatal em tempos de crises: 1914 a 1945;
- 6) Globalização com hegemonia dos EUA: 1945 a 1973;
- 7) Crises do trigo e do petróleo: 1973 a 1995;
- 8) Globalização com grandes corporações: a partir de 1995.

Qualquer tentativa de dividir a história em períodos é contestável, afinal acontecimentos não são isolados ou aleatórios, mas associados a processos que possuem múltiplos aspectos. Os limites entre períodos foram escolhidos com base em acontecimentos marcantes que, por um lado, derivaram de acúmulo de contradições que culminaram em crise e, por outro lado, implicaram em adaptações institucionais e no surgimento de atividades.

A Figura 4.1 mostra a linha de tempo com os períodos aqui selecionados para a análise do mercado do trigo, que contempla tanto épocas com ordens institucionais definidas quanto outras com transições marcadas por crises e exploração de possibilidades, tendo como referência os contextos das Revoluções Industriais e dos Regimes Alimentares.

Figura 4.1 – Fases do mercado do trigo



Fonte: Períodos do Mercado do Trigo como elaboração própria a partir de: Freeman e Louçã (2001), Freeman e Soete (2014 [1974]) e Perez (1983; 2010) para Revoluções Industriais; e de Magnan (2016) para Regimes Alimentares.

O Apêndice III traz a série temporal de preços de trigo de Makridakis et al (1997) a partir de 1770 e eventos relevantes associados às mudanças os preços, segundo esta classificação. Sugere-se que se consulte a Figura AIII1 do Apêndice III para verificar as mudanças do comportamento dos preços do trigo ao longo dos períodos.

Interessante notar que os períodos de transição entre regimes alimentares (em tons de cinza) coincidem com as mudanças de eras tecnológicas. As transições também são marcadas por conflitos de abrangência global.

4.4.1 Economia agrícola exportadora: 1760s a 1803

Na década de 1760, durante o reinado da czarina Catarina II, o Império Russo inaugurou uma política de comercialização internacional de grãos. Tal política inspirava-se nos fisiocratas, que entendiam que a riqueza de impérios poderia ser alcançada através do apoio estatal à agricultura, eliminação de barreiras comerciais, controle de importações e de exportações e educação pública. Para ampliar a produção de grãos, especialmente de trigo, foi criado um sistema de propriedade privada, com cessão de terras para proprietários de servos. A expansão de Catarina II incluiu reformas militares para incorporação da Polônia, o controle da Criméia e o acesso ao Mar Negro. Tendo em vista os objetivos comerciais, o Império Russo ameaçou Istambul, essencial para o escoamento de grãos do Mar Negro para o Mar Mediterrâneo através dos estreitos de Bósforo e Dardanelos. A expansão russa entre as décadas de 1760 e 1830 ampliou significativamente a produção de grãos. Em 1791, a Rússia investiu em um grande porto em Odessa para o escoamento, visando alimentar cidades europeias. (NELSON, 2022)

A influência fisiocrata também se fez sentir após a independência dos EUA, com Benjamin Franklin e Thomas Jefferson defendendo a colonização agrícola do oeste, investimentos em educação e planos de exportação de grãos. Ao contrário de Alexander Hamilton, partidário da industrialização, Jefferson esperava que a expansão agrícola evitasse o rápido desenvolvimento econômico nos moldes britânicos, com “moinhos satânicos”, trabalho infantil e agitação social. (NELSON, 2022)

Entre 1660 e 1770, cidades como Nova Iorque, Filadélfia e Baltimore eram portos para escoamento de alimentos brutos, tabaco e semimanufaturados destinados a suprir ilhas coloniais caribenhas das Companhias das Índias Ocidentais ou para a Marinha Real Britânica que as protegiam. As cidades portuárias estadunidenses forneciam alimentos como farinha de trigo, carne bovina e suína, arroz e fubá a regimes escravagistas que exportavam café, açúcar e cacau. Com a independência em 1776, essas cidades portuárias expandiram seu comércio para o abastecimento de colônias tropicais espanholas, francesas, dinamarquesas e suecas. A maior parte do trigo era produzido em Virgínia e Maryland com escravos. (NELSON, 2022)

A atividade mercantil fazendo uso de navios próprios permitiu o aprimoramento naval – barcos a vela mais eficientes e com menos tripulação – e o desenvolvimento de uma classe de mercadores que acumulou recursos e ampliou sua influência política na luta pela independência e na formação do Estado nacional. Mercadores do leste estadunidense foram indutores do desenvolvimento nos anos seguintes como industriais, donos de ferrovias ou de navios e financistas, além de outras atividades comerciais. (BECKERT, 2014)

Nos EUA, as trajetórias dos sistemas agrícolas entre as regiões norte e sul divergiram

após a independência. Com a maior demanda do setor têxtil inglês, o sul intensificou a produção de algodão, atividade intensiva em trabalho e que exige cuidados durante todo o ano, com trabalho escravo em grandes propriedades. Já no norte, camponeses livres cultivavam principalmente trigo e milho, gramíneas menos exigentes em trabalho a não ser nas épocas de plantio e colheita, para suprir especialmente as colônias caribenhas. (NELSON, 2022)

1ª Revolução Industrial: algodão, ferro e energia hidráulica

Este período tem como plano de fundo a primeira revolução tecnológica industrial, caracterizada pela organização fabril associada a máquinas movidas a energia hidráulica que ocorreu principalmente na Grã-Bretanha entre as décadas de 1770 e 1840. A conversão de energia hidráulica em mecânica – originada da moagem de grãos – passou a ser adotada na produção industrial em fábricas próximas a rios que reuniam trabalhadores assalariados, assumindo a denominação de moinhos (*mills*).

O custo do trabalho era um empecilho para a industrialização inglesa, já que as restrições ao comércio de alimentos faziam com que os salários fossem maiores. Mas o uso de máquinas⁹² permitiu um aumento de produtividade de 370 vezes em três décadas, tornando o peso do custo do trabalho tão baixo quanto na Índia (BECKERT, 2014). As inovações tecnológicas em um contexto competitivo levaram a queda de preços e melhoria da qualidade. A alta elasticidade da demanda do setor têxtil⁹³ contribuiu para a coevolução entre oferta e demanda.

Associação entre mercados e Estado

Desde 1780, mercadores de Manchester (*Manchester Chamber of Commerce*) transformaram a região de Lancashire⁹⁴ em um *hub* de uma rede global de agricultura, comércio e produção industrial. Empreendedores e o Estado reformularam a indústria têxtil combinando: expansão imperialista e trabalho escravo para obtenção de insumos; e trabalho assalariado e novas máquinas para produção de mercadorias. (BECKERT, 2014)

Mercadores pressionavam por ordem legal, já que, apesar das convenções entre mercadores, eram necessárias regras impostas pelo Estado. Leis eram particularmente importantes para transformar regiões remotas em supridoradas de matérias primas e em

⁹² Principais inovações: *flying shuttle* (1733); *spinning jenny* de Hargreaves (1760); *water frame* de Arkwright (1769), que exigia muita energia e levou à produção em fábricas próximas a quedas d'água; *James Watt mule* a vapor (1769); *Crompton mule* (1779); Cartwright *water-powered loom* (1785). (BECKERT, 2014)

⁹³ Roupas atendem às diversas motivações de consumo: desejos básicos (necessidades), desejos adquiridos (conforto) e sinalização social (consumo conspícuo). As duas últimas motivações evitam que haja saciedade do consumo. (CARRARA, 2019)

⁹⁴ A industrialização de Lancashire foi favorecida pela ausência de controle de guildas e pela proximidade com Liverpool, que se tornou o maior porto do comércio de algodão, escravos e manufaturas têxteis.

consumidoras de manufaturas. Com o reforço de leis e infraestrutura estatal, mercadores se mobilizaram coletivamente para usar o poder do Estado de forma a moldar o comércio global. A abertura de mercados estrangeiros era uma função central de governos. Mesmo defendendo o “livre comércio” para acesso a mercados e trabalho barato, mercadores defendiam a criação de barreiras que os favorecessem. “As regras do mercado, e o mercado em si, emergiram na interseção da ação coletiva de mercadores e do Estado” (BECKERT, 2014, p. 279).

A associação para cooperação entre agentes que desempenham a mesma atividade distorceu o aspecto competitivo do mercado e exerceu pressão política para favorecimentos do Estado contra interesses públicos, como observou Adam Smith (1985 [1776], v. I, p.229):

O interesse dos negociantes, em qualquer ramo específico de comércio ou de manufatura, sempre difere sob algum aspecto do interesse público, e até se lhe opõe.

O interesse dos empresários é sempre ampliar o mercado e limitar a concorrência.

Além disso, associações de mercadores estabeleciam outro nível hierárquico de relações no mercado, por viabilizarem transações em grandes volumes com agrupamentos distantes.

Conexões financeiras

A invenção de instrumentos financeiros (como seguro marítimo e contas de embarque) possibilitou a transferência de capital e bens a grandes distâncias. O desenvolvimento de sistemas legais conferiu segurança a investimentos globais e a construção de alianças com capitalistas e legisladores distantes permitiu o acesso de produtores de fios e tecidos a cultivadores de algodão. A expropriação de terras e a deportação de africanos viabilizaram a criação de *plantations*. (BECKERT, 2014)

O crédito também era essencial para financiar a movimentação das colheitas de algodão até os industriais ingleses. Para Beckert (2014), a ferramenta mais importante para mercadores construir conexões era capital na forma de crédito, com recursos do mercado financeiro de Londres. Mais que organizar transações e transporte a longas distâncias, esses mercadores conseguiram introduzir o ritmo de produção industrial no interior. O crédito era essencial para fazendeiros comprarem terra e escravos antes de obterem suas colheitas. Além de fornecerem crédito a fazendeiros, mercadores europeus e de Nova Iorque investiam em títulos de estados sulistas e bancos que também financiavam a expansão do cultivo.

Mercadores construíram uma rede densa através da qual fluíam informação, crédito e mercadorias. O movimento internacional de capital, pessoas, bens e matérias-primas transformou o sistema econômico. O processo de formação de conexões econômicas globais teve consequências dramáticas para sociedades humanas ao redor do mundo. A integração do mercado resultou em conflitos globais entre: escravos e fazendeiros; mercadores e estadistas;

fazendeiros e mercadores; trabalhadores e donos de fábricas. Também iniciou um processo de grande divergência entre países industrializados e os não-industrializados, entre colonizadores e colonizados, entre o Norte e o Sul globais. A dominação europeia da indústria têxtil representou uma onda de desindustrialização no resto do mundo, resultando em novas formas de integração na economia. (BECKERT, 2014)

O trabalho assalariado em fábricas na Europa e plantações de algodão em monoculturas com trabalho escravo implicou em maior demanda por alimentos. Fábricas, cidades e grandes fazendas tinham de garantir o suprimento em escalas que superavam a capacidade da vizinhança rural, criando condições para o comércio de longa distância de grãos.

Estradas e canais

Para viabilizar a grande – e crescente – escala produtiva de firmas localizadas no interior da Inglaterra, era preciso garantir a regularidade do fluxo de insumos e da remessa de mercadorias para os centros de mercado interno – as maiores cidades, como Londres – e para os portos, para exportação. Havia, portanto, pressão para o aprimoramento de transportes.

O Estado teve importante papel, mesmo que indireto, na expansão e melhoria da infraestrutura de transportes. Através de legislação parlamentar (*Turnpike Acts*), eram autorizadas iniciativas privadas de cobrança de pedágio em estradas e canais como forma de financiar suas construções, reformas e manutenções.

Estradas e canais contribuíram para a integração britânica e para a formação de um mercado interno. Algumas regiões, próximas a portos e centros produtores ou consumidores, concentraram investimentos e formaram rede de transporte, induzindo um maior dinamismo na relação entre agentes econômicos que permitiam economias de aglomeração, com maior concentração de trabalhadores qualificados, menores custos de insumos, ampla estrutura de comercialização, negociantes bem informados e configuração de mercados regionais. O aprimoramento dos transportes teve efeito em muitos setores pela redução dos custos e do tempo de circulação e pela ampliação do mercado, que permitia maior escala de produção, com maior divisão de trabalho em firmas e entre firmas.

Sucessivas inovações na indústria naval viabilizaram o transporte de cargas volumosas e pesadas a longas distâncias, beneficiando cidades portuárias. Mas esses navios exigiam considerável tripulação, assim como o embarque e o desembarque de cargas levavam tempo e ocupavam muitos estivadores. Tais condições representavam altos custos e tempo de circulação, restringindo o transporte de mercadorias de baixo valor e perecíveis.

4.4.2 Restrições ao comércio internacional de grãos: 1803 a 1846

Na Europa, o alto preço de alimentos devido a fracas colheitas é apontado como uma das principais causas da Revolução Francesa em 1789. Durante as guerras revolucionárias francesas e as posteriores Guerras Napoleônicas (1803-15), barris de farinha atravessavam o Atlântico atraídos pelo alto preço na Grã-Bretanha, França, Espanha e Itália. Mas tal comércio era de alto risco pela necessidade de superar bloqueios imperiais e por estar sujeito a mudanças de preços e deterioração da carga em viagens que podiam durar dois meses, muitas vezes sujeitas a tempestades. Apesar do risco, mercadores estadunidenses se enriqueceram e expandiram o mercado internacional de trigo e de farinha. (NELSON, 2022)

O comércio de alimentos tornou-se estratégico durante as Guerras Napoleônicas. Pela dependência de grãos de Londres e da região de Lancashire, Napoleão fechou os portos europeus ao comércio inglês. A resposta britânica foi o sistema de bloqueio continental, que impediu a remessa de suprimentos às tropas francesas por mares. (NELSON, 2022)

Napoleão se esforçava para fornecer pães de qualidade a suas tropas a fim de manter o moral elevado, algo decisivo em batalhas. Com o bloqueio continental, o deslocamento do trigo teve de ser feito por terra, o que acabou disseminando a preferência pelo pão de trigo por onde passava. Até então, o consumo de trigo se limitava às regiões de influência romana, sendo o centeio, por ser menos exigente em termos de fertilidade do solo, mais consumido no nordeste da Europa e a aveia, na Escócia⁹⁵. Quando a linha de suprimentos foi rompida durante a invasão da Rússia em 1812, seu exército morreu de fome. (JACOB, 2016 [1944])

Apenas o Mar Negro estava livre da disputa entre franceses e ingleses. Afinal, o Império Otomano, que controlava a passagem por Istambul desde 1453, impedia a entrada de navios militares. A proteção da rota comercial pelo Mar Negro pelos Impérios Otomano e Russo tornou Odessa uma zona segura, que se consolidou como o centro do mercado internacional de grãos europeus a partir de 1807⁹⁶. Pela primeira vez desde a época dos *aristoi* do Império Ateniense, enormes navios de grãos com destino a portos distantes transitavam pelo Mar Negro. Os armadores gregos no Império Otomano – com bases em ilhas gregas, em Istambul e no Mar Negro – detinham vantagens comerciais. (NELSON, 2022)

⁹⁵ Um famoso dicionário inglês definiu aveia como “alimento para homens na Escócia, cavalos na Inglaterra”. Os escoceses responderam: “A Inglaterra é conhecida pela excelência de seus cavalos e a Escócia, pela excelência de seus homens.” (JACOB, 2016 [1944], p. 32)

⁹⁶ Ano da queda do Sultão Selim III do Império Otomano na guerra entre Rússia e Turquia.

Nesse período, o Império Russo aproveitou os ganhos com exportação de trigo para financiar sua expansão, através do Mar Cáspio, em direção à China, e em sua borda ocidental, consolidando a ocupação do corredor de grãos do Mar Negro ao Mar Báltico, estratégica para a comercialização de grãos com o norte europeu. (NELSON, 2022)

Corn Laws restringem a importação de trigo

Além das guerras e das limitações de transportes, o mercado de trigo era caracterizado por práticas restritivas mercantilistas de impérios receosos de perder ouro e prata em caso de *déficit* na balança comercial. Em 1784, a Grã Bretanha impôs as *Corn Laws* para estimular a produção em seus domínios e evitar a competição desleal com grãos baratos produzidos por trabalhadores cativos na Rússia e nos EUA. A restrição beneficiava produtores agrícolas nacionais, com forte influência política, e prejudicava industriais, preocupados com os altos salários, e mercadores, desejosos de ampliar suas atividades.

Após a derrota de Napoleão em 1815, o fim dos bloqueios possibilitava o acesso ao trigo barato da Rússia e dos EUA. Mas como a importação poderia reduzir as reservas de metais e como a concorrência externa comprometeria rendas de proprietários de terra com arrendatários produtores de grãos, as *Corn Laws* inglesas foram intensificadas. (NELSON, 2022)

Os EUA reagiram com os Atos de Navegação Americanos de 1817 e 1818 para bloquear manufaturados britânicos, o que significou um estímulo à nascente indústria nacional. Por sua vez, os britânicos responderam com o *Free Port Act* de 1818, que impedia a entrada de navios americanos nos portos do Reino Unido, exceto os provenientes dos portos canadenses. A partir de então, as provisões a colônias no Caribe teriam de ser transportadas por navios britânicos ou contrabandeadas para se passarem como de origem canadense. O resultado foi o pânico americano de 1819, com queda de 50% no preço da farinha de trigo nos EUA. (NELSON, 2022)

Por falhas de controle de origem, os moinhos de farinha canadense transformavam trigo americano em farinha “canadense”, que poderia ser vendida para as plantações britânicas no Caribe. Mas esse longo caminho encarecia alimentos, levando investidores ingleses a abandonarem suas plantações escravagistas. Diante da crise de abastecimento, revoltas de escravos impulsionaram a emancipação em colônias caribenhas. (NELSON, 2022)

Nos EUA, houve falência por dívidas de fazendeiros, que acabaram perdendo suas terras. Se entre 1803-19 as exportações de trigo eram comparáveis com as de algodão⁹⁷, em 1820 as exportações de trigo e farinha passaram a 1/5 das de algodão e, na década de 1830,

⁹⁷ A exportação estadunidense de grãos até 1820 é subestimada devido ao contrabando através do Canadá. Por isso, sobrevaloriza-se a exportação de algodão sobre a do trigo antes da Guerra Civil. (NELSON, 2022)

eram apenas 1/10. O algodão substituiu o trigo como exportação mais valiosa dos EUA por quarenta anos, de 1820 a 1860. Quando a participação estadunidense no comércio internacional de escravos se encerrou, em 1808, fazendeiros de algodão no sul compraram escravos em fazendas de trigo em decadência em Maryland e Virgínia. (NELSON, 2022)

Rendimentos crescentes alteram a estrutura de mercado

Economias de escala associadas ao aproveitamento energético, à cooperação em organização fabril e à mecanização permitiram grande crescimento de algumas fábricas⁹⁸. A distribuição de tamanho de firmas passou a ser caracterizada por algumas poucas grandes firmas respondendo por cerca de um terço da produção convivendo com um amplo leque de firmas médias, pequenas e muito pequenas (FREEMAN e SOETE, 2014). Inovações de processos e economias internas levavam a redução de custos médios que, em um ambiente competitivo, mesmo que imperfeito, se convertiam em queda de preços.

Firmas pequenas tinham mais dificuldades de enfrentar recessões que as maiores e muitas foram à falência entre 1836 e 1842. Tal concentração acabou por produzir alteração da estrutura de mercado, com mudança de distribuição de tamanho de firmas ao longo do tempo. O domínio de algumas atividades-chave por grandes firmas afetava as transações e a distribuição de valor na cadeia produtiva.

A melhoria de estradas e canais em algumas regiões propiciaram economias de aglomeração, como em Lancashire no noroeste inglês, com divisão de trabalho entre firmas. Nessa situação, podia haver especialização de firmas para viabilizar a utilização de máquinas-ferramenta específicas que exigiam maior escala de operação ou a aplicação de técnicas que requeriam outros conhecimentos, como alvejamento químico. Mas essa coordenação entre firmas, algumas vezes por subcontratação, restringia-se a regiões com maior densidade de empresas em que o transporte entre elas não fosse um empecilho.

O desenvolvimento das sociedades anônimas incorporadas foi uma relevante inovação institucional da época. Antes, grandes empreitadas em comércio, transportes ou finanças eram viabilizadas através de parcerias entre mercadores. Com mercadores financiando os comércios inter-regional e internacional nos EUA, passou a haver agrupamento de capitais locais para o estabelecimento de corporações – empresas privadas de interesse público – que viabilizavam a operação em maior escala. (CHANDLER, 1999)

⁹⁸ A fábrica de Arkwright em Cromford empregava 300 pessoas na década de 1770 e 727 em 1816. Na época, havia outras empresas de fiação que empregavam mais de mil funcionários. (FREEMAN e SOETE, 2014)

Comércio de grãos nos EUA

Uma rede comercial se desenvolveu quando a fronteira agrícola se moveu para o oeste, com o assentamento de famílias em pequenas fazendas produtoras de trigo, milho, tabaco e cânhamo para comercialização. Famílias de camponeses também produziam outros alimentos para subsistência e fabricavam seus móveis, roupas, sabões, velas, dentre outros. Mas alguns produtos, como ferragens (talheres, ferramentas e implementos agrícolas), remédios, produtos secos e mantimentos tinham de ser adquiridos. Portanto, além de transportar os grãos para os portos do leste ou do sul, era preciso levar provisões no sentido contrário. (CHANDLER, 1999)

O rio Mississippi e seus afluentes era a principal rota comercial. Mas, com a construção do Canal Erie, que liga os grandes lagos a Nova Iorque, em 1820, e com o sistema de canais de Ohio e Pensilvânia na década seguinte, houve a abertura de nova rede para movimentar as colheitas e a produção de trigo aumentou. (CHANDLER, 1999)

A especialização na comercialização de grãos seguiu à do algodão, apesar da menor escala até 1840. Cleveland, Buffalo e outras cidades portuárias nos lagos – como a nova vila de Chicago – tornaram-se centros de transbordo. Lojistas, mercadores locais que construíam armazéns, moleiros e até mesmo fazendeiros consignavam grãos ou farinha a casas corretoras ou atravessadores nessas cidades portuárias dos lagos, recebendo adiantamentos. As cargas de grãos eram enviadas a corretoras ou a agentes de cidades portuárias do leste para venda final internacional através de casas de comissão em cidades portuárias estrangeiras. Apesar de o transporte oceânico ser financiado por bancos comerciais estrangeiros, o comércio de grãos era custeado principalmente por capital estadunidense em vez de britânico, ao contrário do algodão. Esse comércio de grãos seria radicalmente transformado a partir da década de 1850 pelas ferrovias e pelo telégrafo. (CHANDLER, 1999)

Apesar do processo de constituição do mercado nacional britânico, dos avanços em outros mercados nacionais e da ampliação do comércio internacional, a precariedade de transportes, guerras e restrições à importação impediam a integração global do mercado.

4.4.3 Abertura ao comércio internacional de grãos: 1846 a 1873

Até então, regiões permaneciam relativamente isoladas, rurais e submissas a interesses imperiais. A pequena escala de comercialização, exceto de produtos ligados ao setor têxtil, não viabilizava maior especialização econômica. A lentidão dos transportes ainda exigia muitos intermediários locais para escoamento da produção e dificultava a integração do meio rural e de regiões não favorecidas por portos.

A comunicação, ainda vinculada ao deslocamento físico, dificultava o estabelecimento

de uma referência universal de preços que induziria reações e sincronização de comportamentos de agentes e grupos econômicos, como ocorreria nas bolsas de *commodities* quando foi instalada a rede de telégrafo e o cabo submarino ligando a Europa aos EUA.

A 2ª Revolução Industrial implicou em grande expansão econômica e superação de limites técnicos para conexões de longa distância. Ao ampliarem as escalas de negócios, industriais e comerciantes exerceram influência política, pressionando pela remoção de barreiras ao comércio internacional.

Algumas regiões com cidades portuárias em mares internos ou em rios navegáveis eram beneficiadas por sua posição geográfica. Nessas regiões, os custos de alimentos e de insumos eram mais baixos, favorecendo a implantação de fábricas e o crescimento de cidades. Mas, mesmo nesses locais, os alimentos consumiam grande parte dos salários de trabalhadores e os salários eram vinculados ao custo do pão. Como a competitividade dos produtos manufaturados em mercados externos dependia dos custos locais de produção, havia busca por alternativas de fornecimento de alimentos.

2ª Revolução Industrial: ferrovias, vapor e mecanização

A Segunda Revolução Industrial, que ocorreu entre as décadas de 1830 e 1890, representa a superação dos limites da era anterior relacionados ao transporte, comunicação e à localização de indústrias graças aos aprimoramentos tecnológicos da máquina a vapor. A mecanização foi disseminada por várias atividades econômicas e por outros países além da Inglaterra, em especial Estados Unidos e Alemanha.

A adoção de máquinas a vapor viabilizou diferentes escalas de operação e resultou em industrialização de cidades. A melhoria dos transportes permitiu redução de custos de aquisição de insumos e de escoamento de produção, ampliando a competitividade das manufaturas no mercado internacional. A relação recíproca entre expansão da rede ferroviária e localização industrial resultou em urbanização e estabelecimento de novos polos industriais.

A aplicação de motores a vapor em locomotivas e em navios de ferro transformou o transporte, permitindo o deslocamento de produtos pesados ou volumosos – como ferro, carvão e grãos – a longas distâncias e a baixo custo. Melhorias de velocidade, de regularidade e de capacidade de carga reduziram custos e tempo de circulação (CHANDLER, 1999).

A redução de fretes ferroviários, fluviais e marítimos foi o principal fator que possibilitou a abertura de mercado nos grandes centros consumidores do mundo e, conseqüentemente, o cultivo de imensas quantidades de trigo. (DONDLIGER, 2018)

A implantação de linhas de telégrafo paralelas aos trilhos representou uma revolução nas comunicações ao dissociar a transmissão de informação do deslocamento físico. A

comunicação quase instantânea permitiu coordenação remota que favoreceu a gestão de firmas com operações descentralizadas, como era o caso do serviço de transporte ferroviário, viabilizando o crescimento do tamanho de firmas para aproveitar economias de escala e de escopo. O telégrafo também facilitou a comunicação entre firmas, reduzindo custos de transação e ampliando a cooperação em cadeias produtivas. Cabos submarinos permitiram a comunicação regular entre Inglaterra e Estados Unidos a partir de 1866.

A maior integração entre os países implicou em intensificação das relações comerciais e de investimentos ingleses na América do Norte. Redes ferroviária e de telégrafo criaram um novo ambiente para as relações comerciais entre agentes econômicos, integrando e expandindo o mercado nacional e o ligando a portos para exploração de mercados externos. A transmissão de preços de bolsas de *commodities* favorecia a sincronização e movimentos de manada.

Os avanços tecnológicos também propiciaram reforço positivo entre desenvolvimento econômico e poderio bélico. Após a derrota de Napoleão em 1815, a Inglaterra teve um século de domínio e ampliou seu poder imperial⁹⁹. A hegemonia econômica e militar britânica conduziu a transição de políticas protecionistas mercantilistas para a filosofia do *laissez-faire* e do livre comércio. A adesão ao “livre” comércio era imposta pela força de canhões¹⁰⁰. À medida que mercados internos e externos se conectavam pela redução de barreiras ao comércio e pela evolução dos transportes, havia oportunidades de obtenção de economias de escala e de ampliação da divisão do trabalho (FREEMAN e SOETE, 2014 [1974]).

Houve integração da rede econômica, que passou a apresentar tanto aglomeração (cidades e regiões) quanto maior velocidade de transmissão de informações entre áreas distantes, assumindo atributos de “mundo pequeno”. Rendimentos crescentes favoreceram *hubs*¹⁰¹ e a configuração de rede sem escala (crescimento com conexão preferencial).

Revogação das Corn Laws

Desde 1820, havia questionamentos de mercadores e industriais pela revogação das tarifas das *Corn Laws*, que restringiam o comércio internacional e encareciam alimentos e o custo do trabalho. Em 1838, foi criada a *Anti-Corn Law League*, com o objetivo de organizar o movimento, contestar privilégios da classe de proprietários rurais e promover a impressão e divulgação de textos liberais. A revista *The Economist* foi fundada em 1843 com a ajuda da

⁹⁹ Segundo Polanyi (2000 [1944], p. 19), “o século XIX produziu um fenômeno sem precedentes nos anais da civilização ocidental, a saber, uma paz que durou cem anos – 1815-1914”.

¹⁰⁰ Índia, China e Egito são alguns exemplos em meados do séc. XIX.

¹⁰¹ Economias internas beneficiavam o desenvolvimento de empresas e economia externas, de cidades e regiões.

Liga para propagar o livre comércio. (CORN LAWS, 2022)

Apesar das pressões, apenas quando a peste da batata dizimou culturas de subsistência na Europa, em 1846, que as barreiras à importação de alimentos, como as *Corn Laws*, tiveram de ser removidas. O maior comércio internacional do trigo levou ao surgimento de novos atores e ao desenvolvimento de cidades portuárias, que se tornaram centros comerciais e de armazenagem de grãos. (NELSON, 2022)

No fim do verão de 1845, um navio americano chegou na Bélgica com uma carga de batatas contaminada por fungo. A praga se disseminou rapidamente, produzindo manchas marrons nas plantas e estragando as batatas no subsolo. A fome irlandesa matou quase um milhão de pessoas e desestabilizou o Império Britânico, já que latifundiários irlandeses se aproveitaram do maior preço do trigo para exportar grãos e gado para a Inglaterra enquanto camponeses passavam fome. (NELSON, 2022)

A crise na Irlanda forçou a suspensão e posterior revogação, em 1846, das *Corn Laws* que taxavam grãos estrangeiros. Outros países da Europa Ocidental e Central sofreram com a praga da batata, levando fome e revoltas à França, Alemanha, Polônia, Áustria e Rússia. As revoluções de 1848 ocorreram nesse contexto. Os impérios europeus responderam à fome com a redução de barreiras ao comércio de alimentos e tratados de livre comércio. (NELSON, 2022)

Trigo barato na base alimentar de trabalhadores

O trigo passou a substituir a batata como alimento de pessoas pobres, principalmente em cidades. Após 1850, houve crescimento do comércio de grãos do Mar Negro para portos de cidades europeias. O trigo barato alterou a qualidade do pão e o senso de divisão de classes sociais, já que a cor do pão era indicadora do *status* social da família. (NELSON, 2022)

Padarias surgiram entre portos e indústrias, fornecendo café da manhã e lanches. Padarias tornaram-se fábricas, com muitos fornos funcionando continuamente. O pão branco tornou-se alimento de trabalhadores, sendo farelos e sobras, antes usados para fazer pão de baixa qualidade, destinados a animais. A maior disponibilidade de ração aumentou a oferta de carnes e laticínios, com ampliação da diversidade alimentar. Mas a preferência pelo pão branco reduziu o valor nutricional do pão, que deixava de incluir partes do trigo mais escuras e ricas em fibras e nutrientes. (NELSON, 2022)

Cidades portuárias, onde o alimento era barato, prosperaram e ampliaram o trabalho assalariado e a acumulação de capital. A armazenagem e o processamento de grãos em moinhos aumentaram, com moinhos de água e de vento do interior sendo abandonados devido à emigração. O investimento em infraestrutura de transportes para reduzir custo de alimentos e permitir a especialização em manufaturas passou a ser estratégico. Entre 1845-60, cidades como

Paris, Londres, Antuérpia e Amsterdã mais que dobraram de tamanho e aprimoraram suas estruturas de transportes, saneamento e construção civil. (NELSON, 2022)

A redução de preços e a diversificação de alimentos permitiu a melhoria da qualidade de vida de trabalhadores. Com o crescimento de cidades e do comércio, moradores urbanos acumularam capital e passaram a depositar recursos em bancos, contribuindo para a capacidade de investimento de empresas e para expansões imperiais. (NELSON, 2022)

Guerras pelo trigo russo

A dependência alimentar de impérios da Europa Ocidental após 1845 trouxe preocupações à França e à Inglaterra quanto a um eventual monopólio russo no fornecimento de grãos. Em 1853, o Império Russo declarou nova guerra ao Império Otomano e proibiu a exportação de grãos na tentativa de baratear o custo de fornecer alimentos a seus exércitos. Em uma semana, os preços do trigo aumentaram mais de 35% na Inglaterra. Em 1854, franceses e ingleses se uniram ao Império Otomano para derrotar os russos. Para suprir seus exércitos, foram promovidos incentivos a mercadores privados, que introduziram navios a vapor de fundo largo no transporte de trigo no Mar Negro. Esses navios a vapor, com canhões pequenos e manobráveis, revolucionaram a entrega de provisões a exércitos em invasões de terras distantes e futuras guerras navais. (NELSON, 2022)

A guerra entre russos e otomanos se encerrou em 1856 com rendição do Império Russo. Mas as pesadas dívidas contraídas pelo Império Otomano junto à França e à Inglaterra implicaram em sua derrocada nas décadas seguintes. (NELSON, 2022)

A assinatura da paz em Paris colocou limite à expansão do Império Russo. A crise financeira provocou uma reforma do sistema de trabalho na Rússia. Como bancos russos apenas emprestavam dinheiros a grandes proprietários de terras que tinham servos, a incapacidade de pagamento de dívidas colocou em prática um plano de fim da servidão em 1860: servos teriam de pagar a seus senhores por sua liberdade e aquisição de terras, devendo o recurso ser usado pelos nobres para saldar dívidas com os bancos. Assim, ex-servos tiveram acesso a terras, mesmo que de pequenas áreas e às custas de endividamento. (NELSON, 2022)

Trigo dos EUA na Europa

Neste período, os Estados Unidos se tornaram o principal provedor de trigos para a Europa graças à redescoberta de uma tecnologia romana de conservação de grãos e a aprimoramentos de veleiros. Expedições arqueológicas francesas durante o reinado de Napoleão desvendaram um segredo, perdido entre 300 e 1400 DC, de como conservar grãos. Por volta de 1810, o químico Jean-Antoine Chaptal visitou ruínas romanas na Itália onde escavações revelaram areia e grama seca ao redor das bordas das paredes da *horrea*, armazém

romano de grãos. Através de engenharia reversa, Chaptal percebeu que o processo consistia em secar grãos e selá-los sem oxigênio. A descoberta foi tratada como segredo de estado na França, apesar de não ter sido possível aproveitá-lo na invasão da Rússia. As descobertas foram publicadas em Boston em 1839 e o primeiro armazém hermético de grãos foi importado em 1840. Era uma cópia do silo francês, nomeado de *elevator*. (NELSON, 2022)

Aprimoramentos em navegação permitiram que o veleiro americano reduzisse o tempo de travessia até a Europa para menos de duas semanas em 1850. Mas o *design* estreito do casco, relacionado à maior velocidade, não oferecia muito espaço no porão para carga. Entretanto, a densidade e a maleabilidade dos sacos de grãos os tornavam adequados como lastro para o transporte de algodão. Tal combinação permitiu aumento da participação dos EUA no comércio europeu de grãos, ainda que reduzida até a Guerra Civil. (NELSON, 2022)

Expansão ferroviária e divergência entre norte e sul nos EUA

A Lei de Concessões de terras nos EUA (*Land Grant Act*) de 1850 deu incentivos federais à construção de canais e ferrovias nos EUA, por conceder terras às margens dos trilhos às empresas. A expansão ferroviária foi financiada com títulos de ferrovias a serem pagos com rendas de fretes e vendas de terras a colonos. Após início da construção, as terras eram vendidas a imigrantes em hipotecas de 4 anos, que garantiam fluxo de renda às companhias. As hipotecas eram agrupadas por bancos em títulos ferroviários e vendidas na Europa. (NELSON, 2022)

No nordeste dos EUA, o escoamento de grãos e a presença de moinhos e padarias tornava a comida barata. Trabalhadores se estabeleciam em cidades onde o custo de alimentos era baixo, favorecendo a industrialização com trabalho assalariado. Já no sul, com o predomínio de grandes fazendas escravagistas, a economia era dominada pelo algodão, com pouca diversidade e com fraco mercado interno. Títulos ferroviários tinham diferentes preços a depender da localização, já que ferrovias no sul tinham dificuldades de pagar suas dívidas pelo menor fluxo de mercadorias no sentido leste-oeste. (NELSON, 2022)

Barões mercadores se aproveitavam dos momentos de altos preços e se protegiam das oscilações diversificando investimentos entre remessas de grãos e atividades associadas ao comércio, como ferrovias, armazéns, navios nos Grandes Lagos e seguros. Cobrança de fretes ferroviários ofereciam retornos mais estáveis, mas era preciso fluxo nos dois sentidos para garantir pagamento do financiamento em expansão. Esses barões demandavam incentivos governamentais para assentar famílias em fazendas a oeste, subsídios governamentais a ferrovias interestaduais, concessões de terras, formação de um gabinete dedicado à agricultura e educação superior. Barões mercadores e ferroviários do nordeste dos EUA queriam o fim da escravidão para que houvesse colonos que consumissem produtos de forma a permitir fluxo de

mercadorias nos dois sentidos. A escravidão era uma ameaça à lucratividade de empreendimentos ferroviários no meio-oeste. (NELSON, 2022)

Em 1861, o Partido Republicano assume o poder político com eleição de Abraham Lincoln. Já em 1862, o governo produziu mudanças institucionais que teriam impactos de longo prazo no sistema produtivo dos EUA. O *Homestead Act* incentivou o assentamento de colonos a oeste pela concessão de terras, estabelecendo uma base de produção familiar de grãos em pequenas propriedades. A criação do *United States Department of Agriculture* (USDA) possibilitou a formulação e a condução de políticas agrárias de Estado que criariam incentivos e direcionamentos ao setor. Já os *Land Grant Colleges* viabilizavam estudos acadêmicos e práticas agrícolas sustentadas em ciência e tecnologia. (NELSON, 2022)

Guerra de Secessão

Mas, pouco depois da posse de Lincoln, forças confederadas separatistas atacaram o Fort Sumter, dando início à Guerra Civil entre a União do norte e os Confederados do sul entre 1861 e 1865. Um aspecto decisivo para a vitória seria a capacidade de envio de suprimentos até as frentes de batalha, como alimentos para soldados e animais. (NELSON, 2022)

A malha ferroviária no norte representava uma vantagem da União, mas era preciso coordenar compras e remessas. Em junho de 1863, o Congresso criou um sistema nacional centralizado de compras de longa distância. Pagamentos de suprimentos da União eram feitos em *greenbacks* que, ao contrário do dólar, não eram lastreados em reservas de ouro ou prata. O valor dependia do progresso da União na guerra e havia considerável deságio na troca a depender da conjuntura. A volatilidade dos preços de grãos (trigo e milho para soldados e aveia para cavalos) e das notas *greenbacks* tornava a contratação de suprimento arriscada. Em 1863, houve redução dos contratados dispostos a assumir o risco, limitando-se a grandes negociantes, e os preços de provisões aumentaram. (NELSON, 2022)

Mercado Futuro

A *Chicago Board of Trade* havia sido estabelecida em 1848 seguindo os padrões das bolsas de negociação de cidades europeias. Nos anos seguintes, surgiram bolsas de grãos em outras cidades. Houve esforços de cooperação para padronizar qualidades, pesos e outros procedimentos a nível nacional mesmo antes da Guerra Civil. (CHANDLER, 1999)

Mas houve uma transformação no sistema de compras da União que revolucionou o comércio internacional de grãos no fim de 1863. Letras de câmbio (*bills of exchange*) foram particionadas em centenas de contratos executáveis, cada um representando mil alqueires (*bushels*). A possibilidade de negociação desses contratos como títulos daria origem ao mercado futuro. Antes já havia negociações em contratos a termo (*forward contracts*) de bens que as

partes concordavam com a entrega futura de certa quantidade a um preço fixo. Mas o contrato futuro do exército se diferenciava em importantes aspectos, com a definição de:

- mês fixo de entrega;
- margem, ou percentual fixo pago por cada parte para garantir o contrato;
- qualidade padronizada baseada em inspeção de terceiros;
- quantidade padronizada (e menor: cem ou mil *bushels*), chamada de “contrato”;
- árbitro terceirizado (*Chicago Board of Trade*) que coletava as margens e detinha autoridade legal para punir o comprador ou vendedor que não cumprisse as obrigações acordadas. (NELSON, 2022)

O contrato futuro era autoaplicável, tornando desnecessário um julgamento sobre a reputação das partes. Contratos eram padronizados, sendo as únicas variáveis o preço e a data. O caráter anônimo de compradores e vendedores permitia que o poder dos grandes comerciantes fosse quebrado pela atuação de muitos pequenos agentes. (NELSON, 2022)

A inovação institucional do mercado futuro de trigo de Chicago foi decisiva para a vitória da União na Guerra de Secessão e tornou-se referência para bolsas de *commodities* nos anos seguintes, com a negociação deixando de ser um gargalo para tornar-se um centro de propagação de eventos e de expectativas. (NELSON, 2022)

Como mercados futuros operam como um banco de um grão ou outra *commodity*, a grande quantidade de agentes contribui para aumentar a liquidez. Outra vantagem é que o mercado futuro oferece possibilidade de proteção contra variação de preços, já que o comprador de grãos pode se tornar vendedor de contratos futuros (o oposto para o vendedor de grãos) para reduzir a exposição ao risco de variações abruptas de preços. (NELSON, 2022)

Mas a possibilidade de renegociação de contratos entre intermediários financeiros sem comprometimento com a entrega ou recebimento de grãos resultou em caráter especulativo, com o volume negociado na bolsa superando por muito o físico¹⁰². Também havia risco de manipulação, pela possibilidade de atuação de grandes compradores. (NELSON, 2022)

A partir de então, o comércio de *commodities* ocorria não apenas para assegurar a mercadoria, mas como especulação sobre preços futuros. A especulação tornou-se possível pela criação de um “preço mundial” disponível em qualquer momento para todos os agentes da cadeia. O ritmo do capital industrial e das finanças passaram a dominar o comércio de *commodities* negociadas em mercados futuros, como algodão e trigo. (BECKERT, 2014)

¹⁰² Entre 1884 e 1888, o volume de grãos negociado no mercado futuro foi 8 vezes maior que o volume produzido. Em 2002, a negociação foi 11 vezes superior à produção. (SANTOS, 2008)

O mercado futuro conferiu aos preços de *commodities* um caráter financeiro típico de títulos negociados em bolsas¹⁰³. Houve vantagens associadas a liquidez e a instrumentos de proteção. Mas também consequências devido à especulação e à exposição dos preços às conjunturas de outros mercados. Isto é, o mercado futuro de *commodities* implicou no entrelaçamento de mercados característico de sistemas complexos.

O mercado futuro, apoiado na comunicação telegráfica, reduziu drasticamente os custos de circulação. Até a década de 1850, informações e mercadorias viajavam com a mesma velocidade. Comerciantes comissionados tinham de armazenar mercadorias para venda futura, o que implicava em altos riscos associados a oscilação de preços que eram repassados a compradores. O preço final ainda incluía custos de inspeção de amostras, aluguel de armazém, carregamento, descarga, seguro e margem do comerciante que variava entre 10 e 40%. Com o telégrafo, preços eram negociados antes da chegada da mercadoria. Vagões de trens e porões de navios passaram a funcionar como armazéns e compradores podiam se organizar para o recebimento da entrega no dia agendado. (NELSON, 2022)

As mudanças do modelo de comercialização e os avanços em comunicação e nos transportes contribuíram decisivamente para a vitória da União. Após o fim da Guerra Civil, aplicar as melhorias visando o comércio internacional tornou-se prioridade dos barões mercadores e diretores de ferrovias. (NELSON, 2022)

A redução do custo de transporte de grãos do oeste estadunidense para o Atlântico foi essencial para viabilizar a exportação do trigo para a Europa e concorrer com o trigo russo. O processo resultou na constituição de monopólios de corredores de baixa fricção por companhias ferroviárias, cujo poder não se restringia ao controle do transporte, mas também político, por envolver cobrança de impostos. O poder de mercado permitia lucros extraordinários e influências, já que preços de fretes de companhias privadas nos EUA variavam de acordo com produto transportado. Grãos com apelo comercial tinham fretes mais baixos, incentivando monoculturas de trigo e milho por fazendeiros, que não tinham incentivo a diversificar em culturas de frete mais caro. A exportação de farinha foi prejudicada pela discriminação da farinha em favor do trigo, dando a moleiros estrangeiros vantagem na competição com moleiros estadunidenses. (DONDLIGER, 2018; NELSON, 2022)

Nas férteis terras do meio-oeste abaixo dos Grandes Lagos, a produção de grãos não ocorria apenas em propriedades familiares, mas cada vez mais em grandes fazendas privadas

¹⁰³ Contratos futuros são parte da família de instrumentos financeiros chamados de derivativos.

com trabalhadores assalariados que aproveitavam economias de escala para reduzir custos, como pelo uso de máquinas. Nas épocas de plantio e de colheita, essas grandes fazendas contratavam trabalhadores migrantes. As frequentes oscilações de preços e as dívidas resultavam em falências de fazendeiros que se viam obrigados a vender suas terras a grandes proprietários. A produção privada em larga escala de monoculturas voltadas para a exportação transformou o mercado mundial, com o processo se replicando em outros países produtores de trigo como Rússia, Canadá, Índia, Argentina e Austrália. (NELSON, 2022)

Nitroglicerina e portos oceânicos

Um impulso ao comércio internacional de grãos ocorreu em 1867 graças à dinamite patenteada por Alfred Nobel. Explosões controladas com nitroglicerina viabilizaram túneis ferroviários, alargamento de rios e aprofundamento de portos. Portos oceânicos em cidades em foz de rios navegáveis tornaram Antuérpia, Amsterdã e Roterdã *hubs* do comércio internacional por receberem grãos estadunidenses baratos. (NELSON, 2022)

Na década de 1860, Antuérpia se tornaria o principal porto de chegada dos grãos dos EUA após a Câmara de Comércio de Antuérpia ter usado dinamites para alargar e canalizar o rio Scheldt e adequar o porto para receber navios oceânicos de calado profundo. Para acomodar o fluxo de trigo barato, os mercadores passaram a usar barcos pequenos de casco largo para armazenar trigo que não poderia ser beneficiado. O trigo poderia ficar nesses barcos por meses ou anos. Isso alterou drasticamente o tempo de descarga, tornando Antuérpia o porto de destino preferido de navios de trigo, especialmente quando os preços eram baixos. Rios e canais davam acesso para o interior da França e da Alemanha. O governo holandês também investiu na construção de um porto oceânico para competir com Antuérpia. Após a abertura em 1871, Roterdã se tornou um acesso ao interior da Alemanha através do rio Reno. (NELSON, 2022)

A conclusão do Canal de Suez em 1869 abriu uma rota entre o Oceano Índico e o Mar Mediterrâneo. Rotas comerciais tradicionais foram desestruturadas. Outro efeito do Canal de Suez foi estimular o uso de navios a vapor, já que veleiros não conseguiam atravessar o estreito canal. Mas veleiros continuavam a dominar viagens de longa distância, especialmente no Atlântico. Como o telégrafo e as regras do mercado futuro permitiam a negociação para entrega posterior, a baixa velocidade de veleiros não era um empecilho. (NELSON, 2022)

Ferrovias e Impérios

O papel fundamental das ferrovias para o rápido deslocamento de tropas e suprimentos na Guerra de Secessão foi percebido por europeus. Prussianos investiram em infraestrutura ferroviária e criaram equipes especialistas nas forças armadas – incluindo engenheiros, ferroviários e auxiliares – que construíam e destruíam trilhos e operavam estações e linhas

capturadas. Nas estações, havia telégrafo e controle de tráfego. A partir de 1866, foi construído o corredor logístico prussiano até Antuérpia. Alemães passaram a encomendar grãos baratos dos EUA para recebimento em Antuérpia e posterior deslocamento por canais e pelo rio Reno até as estações militares. Lá os alimentos eram preparados e distribuídos pelos corredores ferroviários às tropas. As ferrovias foram determinantes para a vitória na Guerra Franco-Prussiana de 1870-71. Como os alemães dependiam da importação de alimentos, quando a Alemanha invadiu a França, britânicos lembraram às duas partes que a Bélgica e o porto de Antuérpia eram neutros e que trinta mil soldados estavam preparados para desembarcar para manter o porto aberto. Após a guerra, a conexão com Antuérpia permitiu a industrialização da Alsácia-Lorena e de cidades ao longo do rio Reno, pelo acesso a alimentos baratos e pela facilidade de escoamento da produção industrial. (NELSON, 2022)

Se antes as linhas de grãos eram internas a impérios, com o aumento do transporte de longa distância, as linhas de suprimento passaram a depender de remessas externas através de relações comerciais. Corredores de alimentos – ferrovias, canais e rios navegáveis – tornaram-se essenciais para o sucesso militar. (NELSON, 2022)

Transformações na estrutura de mercado

Por volta de 1840, a ampliação do fluxo e da variedade de mercadorias permitiu a especialização de comerciantes estadunidenses em atividades e em uma ou duas linhas de produtos, como algodão, trigo, provisões, bens secos, ferramentas ou remédios. Com o grande número de comerciantes, o conhecimento pessoal perdeu relevância, sendo preciso desenvolver mecanismos de mercado que facilitassem as trocas. (CHANDLER, 1999)

Segundo Chandler (1999 [1977], 2004 [1990]), a implantação e a operação de ferrovias transformaram a gestão de empresas e contribuíram para sua profissionalização. A necessidade de coordenação em larga escala e de forma descentralizada exigiu o desenvolvimento de especialização administrativa capaz de considerações de longo prazo em termos de custos, de ativos (manutenção e depreciação) e de pessoal (contratação, treinamento e desenvolvimento). Inauguravam-se, assim, as bases administrativas de grandes corporações.

Em 1825 na Inglaterra, houve a revogação da Lei das Bolhas de 1720, que representou o início do processo de retirada de restrições a empreendimentos comerciais. Em 1844, foi aprovada a Lei das Sociedades por Ações que permitiu registrar pessoas comuns em sociedades. Passou a ser possível estabelecer uma empresa como uma diferente pessoa legal, na qual direitos e deveres de todos os investidores e gestores poderiam ser canalizados, trazendo grandes vantagens administrativas. (CORPORATION, 2021)

Em 1855 foi aprovada a Lei de Responsabilidade Limitada que permitiu que, em caso

de fracasso, os donos respondessem apenas até o montante investido na empresa. Essas novidades institucionais foram codificadas na Lei das Sociedades por Ações de 1856 e na Lei das Sociedades de 1862, que vigorou pelo resto do século (CORPORATION, 2021). Como consequência, a diferença não coberta pelos sócios em caso de falência teria de ser absorvida pela sociedade, notadamente credores, parceiros comerciais, funcionários e o poder público.

Impacto da velocidade de circulação no mercado de crédito

Com o fim da Guerra de Secessão e com o telégrafo transatlântico, mercadores reduziram o tempo de negociação e não precisavam mais das antigas letras de câmbio. A possibilidade de comprar e vender no mesmo dia títulos que representavam grãos reduziu abruptamente o risco para comerciantes. De 1866 a 1873, a margem para comerciantes de grãos, ou diferença entre os preços de compra e venda, caiu de 20% para apenas 1 ou 2%. Assim, um empréstimo para viagens de seis meses passou a ser desnecessário. (NELSON, 2022)

As transformações do sistema de crédito agrícola foram marcantes. Nos anos 1850, ferrovias ofereciam hipotecas de terras ao longo da ferrovia. Nos anos 1860, os *elevators* emitiam títulos de grãos armazenados que funcionavam como moeda. Nos anos 1870, bancos – em colaboração com ferrovias – ofereciam linhas de crédito a fazendeiros através de agentes comissionados em troca de contratos futuros. Já a partir de 1873, um único sistema de crédito baseado no mercador que negociava em mercados futuros funcionava desde o porto até a porteira do fazendeiro. (NELSON, 2022)

Crise Agrária e Pânico de 1873

Com o barato trigo estadunidense, países territoriais europeus entraram em crise. Terras cultiváveis foram muito desvalorizadas na Suécia, Alemanha, Inglaterra e Irlanda. Já a França sofreu menos por ter agricultura mais diversificada e excelentes canais. (NELSON, 2022)

A crise agrária adquiriu caráter sistêmico através do sistema financeiro, por afetar empréstimos para projetos de longo prazo, como mercado imobiliário de cidades, ferrovias e indústrias. Muitas empresas faziam empréstimos de curto prazo em letras de câmbio para projetos de longo prazo, às vezes especulativo. Bancos se viram em posição delicada em Viena e Berlin. O Banco da Inglaterra, temendo instabilidade desses bancos, dobrou as taxas de juros em três choques entre 1872 e 1873, deixando empresas endividadas em risco de *default*, ameaçando bancos. Também passou a ser difícil obter crédito para remessa de mercadorias. O primeiro choque atingiu o banco de Odessa mais fortemente, o segundo derrubou os bancos de Berlin e o terceiro afetou os bancos americanos. O Pânico de 1873 produziu falências em série e fez ruir o sistema de letras de câmbio como instrumento de crédito do comércio internacional de grãos e de empréstimo entre bancos. (NELSON, 2022)

4.4.4 Estruturação do comércio internacional de grãos: 1873 a 1914

Após o Pânico de 1873, o mercado de grãos se reorganizou a partir do comércio de alimentos básicos entre a América do Norte e as potências imperiais europeias. O crescimento do volume negociado e transportado em ferrovias e em navios a vapor mais modernos, rápidos e com maior capacidade de carga – possibilitados pelo uso do aço e de outras ligas metálicas em vez de ferro – permitiu redução de custos de circulação que se refletiu nos preços. Houve ampliação da demanda por trigo em cidades europeias e estadunidenses que cresciam e se industrializavam com a difusão das inovações da terceira revolução industrial. O maior volume comercializado implicou em mudanças qualitativas do mercado internacional de grãos, com a consolidação de novos atores, regras relacionais e redes comerciais.

Primeiro Regime Alimentar

Entre os anos 1870 e 1914, estabeleceu-se o Primeiro Regime Alimentar internacional caracterizado por uma nova divisão internacional de trabalho, com fluxo de produtos agrícolas de regiões temperadas para a Europa e, de capital, bens manufaturados e imigrantes¹⁰⁴ no sentido oposto. Carnes e grãos baratos importados serviram de alimento para a classe trabalhadora europeia, contribuindo para a redução dos custos da industrialização e ampliação da competitividade de produtos manufaturados exportados. Ainda, a disponibilidade de alimentos baratos amenizava conflitos sociais internos. (MAGNAN, 2016)

Nas regiões temperadas exportadoras de produtos agrícolas com Estados com independência administrativa, estabeleceu-se um ambiente econômico competitivo que conduziu processos de expansão e ocupação territorial baseada em imigração europeia e em expulsão de população indígena que produziram transformações estruturais e desenvolvimento econômico, apesar dos impactos sociais e ambientais. Já as regiões especializadas em culturas tropicais e subtropicais que passaram a compor a dieta europeia – como açúcar, café, chá, tabaco e cacau – mantiveram-se subordinadas como colônias de ocupação ou zonas de influência, tratadas como complementares. (FRIEDMANN e MCMICHAEL, 1989; MAGNAN, 2016)

O Primeiro Regime Alimentar é marcado pelo papel hegemônico do Reino Unido, que exercia influência através do sistema de padrão ouro. Por ser a libra esterlina a moeda de referência do comércio internacional, todos os países tinham de manter balanços nessa moeda em Londres. Além de permitir manipulações da libra a seu favor, o papel central do Reino

¹⁰⁴ Navios a vapor transportavam trigo e retornavam com imigrantes europeus, totalizando mais de 30 milhões de pessoas em 4 décadas, em outra relação direta entre grãos e mercado de trabalho, além da fonte energética.

Unido no Primeiro Regime Alimentar deve-se ao fato de ser o maior importador de alimentos a partir da revogação das *Corn Laws* em 1846. Após o fim dos tributos que protegiam os fazendeiros britânicos dos grãos importados, o Reino Unido adotou princípios de liberalismo comercial que possibilitavam a importação de matérias primas e de alimentos baratos como insumos industriais. (FRIEDMANN e MCMICHAEL, 1989; MAGNAN, 2016)

Nesse período, houve grande aumento do mercado mundial de trigo devido à queda dos custos de transportes em ferrovias e navios de aço e ao estabelecimento, pela primeira vez, de uma referência única de preço do trigo em bolsas de grãos. A constituição de um mercado mundial do trigo, o primeiro de um bem de subsistência, produziu uma série de consequências sociais, políticas e econômicas associadas à provisão de alimentos em um contexto em que o custo do trabalho era determinante para a competitividade industrial. (MAGNAN, 2016)

Nesse sistema global, instituições influenciam as relações, conferindo relativa estabilidade em agrupamentos. Em países exportadores de grãos, surgiu uma classe de fazendeiros familiares comerciais que, por aplicar seus próprios esforços no cultivo de terras obtidas gratuitamente, conseguiam produzir com custos mais baixos de forma a competir em mercados distantes. Mas esses fazendeiros familiares tinham pouco poder de barganha por estarem à mercê de poderosos agentes privados, como bancos, ferrovias, armazéns e mercadores de grãos, além de Estados, que organizavam o comércio internacional. Esses fazendeiros experimentaram diferentes formas de organização política e econômica, incluindo cooperativas agrícolas. (MAGNAN, 2016)

3ª Revolução Industrial: aço, engenharia pesada e eletrificação

Este período também é marcado por inovações tecnológicas que impactaram a produção, a distribuição e o consumo e transformaram a estrutura de mercado. A terceira revolução tecnológica industrial, entre 1880 e 1940, caracterizou-se por novos materiais, energia e motores derivados de avanços científicos que ampliaram as possibilidades e conferiram maior flexibilidade de escala de operação.

Avanços da siderurgia nas décadas de 1850 a 1880, sobretudo o processo Bessemer, levaram à progressiva substituição do ferro pelo aço, com vantagens em escala produtiva, preço, qualidade e durabilidade. A adoção de fornos elétricos proporcionou controlar e atingir temperaturas mais altas que em fornos a carvão. Desenvolvimentos científicos em eletricidade e em química permitiram a composição do aço com outros elementos, formando ligas que conferiram versatilidade de aplicação, com melhorias de dureza, resistência, precisão, capacidade de corte e corrosão e até propriedades elétricas e magnéticas. Tais características fizeram do aço a base material para muitas inovações em variados ramos e escalas produtivas.

(FREEMAN e LOUÇÃ, 2001; FREEMAN e SOETE, 2014 [1974])

Com o desenvolvimento da eletricidade, passou a ser possível adquirir energia elétrica de *utilities*, com transformação de custo fixo em variável, e distribuí-la na fábrica conforme a necessidade, com amplas vantagens em termos de custo, transporte, confiabilidade, limpeza, flexibilidade e simplicidade de comando. O uso de eletricidade não se resumia à indústria, mas incluía residências e iluminação pública em cidades, apesar de a rede elétrica se limitar inicialmente a centros urbanos. A revolução energética teve impactos que transcenderam o aspecto econômico, com efeitos em hábitos, qualidade de vida e na poluição de cidades. (FREEMAN e LOUÇÃ, 2001; FREEMAN e SOETE, 2014 [1974])

O sistema de transporte foi aprimorado pelo uso de aço em ferrovias e em navios, pela abertura de passagens (canais de Suez e do Panamá), pelos avanços em comunicação e pela eletricidade, que permitia refrigeração da carga. Houve, assim, condições de fornecimento de insumos em larga escala e com abrangência mundial, com grande expansão do comércio entre norte e sul, caracterizado pela troca de manufaturas por minerais e alimentos.

Chandler (1999) destacou os efeitos da implantação e da operação de ferrovias na administração de grandes firmas intensivas em capital e com atividades descentralizadas. Também descreveu os efeitos do transporte ferroviário nas atividades de atacadistas de grãos que passaram a lidar com grandes volumes e desenvolveram técnicas, padronização e regras transacionais para reduzir tempo e custos de circulação, permitindo diminuir margens e lucrar pelo alto volume comercializado. O transporte do trigo foi transformado com a integração da rede ferroviária. Entre 1866 e 1900, a produção aumentou 3,75 vezes quando a exportação se tornou uma nova oportunidade comercial. (THE NATURAL HISTORY OF WHEAT, 2022)

As regiões mais conectadas foram favorecidas pelo maior fluxo de materiais, pessoas e informações, gerando economias de aglomeração que ampliaram a divisão de trabalho entre firmas e entre localidades. A defasagem na implantação de vias de transporte rápido produziu desigualdades regionais, com localidades periféricas sendo obrigadas a fazer uso de meios de transporte tradicionais que implicavam em maiores custos.

O aço também foi aplicado em navios a vapor, melhorando a durabilidade, segurança, capacidade de carga e reduzindo o custo de produção pela menor espessura das chapas. O aprimoramento dos transportes marítimos contribuiu para a ampliação do comércio mundial, em especial a ligação entre nações europeias e suas colônias e entre nações aliadas, produzindo a primeira onda de globalização de 1870 a 1914. Mas o mundo ainda estava segmentado segundo políticas imperialistas e medidas protecionistas.

Na década de 1870, apesar da resistência da navegação a vela, esta foi superada pelos

navios a vapor em termos de peso transportado. Entre 1892 e 1896, quase 80% do peso de cargas mercantis eram realizados por navios britânicos. Os britânicos dominaram o comércio naval até a primeira guerra mundial. (FREEMAN e LOUÇÃ, 2001)

A comunicação à distância foi transformada com o telefone, que surgiu em 1876. Em vez de transmissão em código Morse exigindo intermediários em tradução, passava a ser possível conversa em dois sentidos por voz, ampliando a capacidade de coordenação em firmas com muitas unidades e favorecendo transações no mercado.

O cinema (1895) e o rádio (1920) levaram à integração cultural com comunicação de massa, que impactou a difusão de informações e o alinhamento de percepções e de escolhas. Jornais também se valeram de telégrafos e de telefone para acessar e transmitir informações e dos avanços nos transportes para distribuição. A possibilidade de divulgar informações a um grande público, produzir narrativas e influenciar interpretações deu poder a organizações de comunicação, como na indústria de entretenimento, no jornalismo e na publicidade. Governos fizeram uso dessas mídias para construir consensos e união contra inimigos externos.

A maior interligação permitia que perturbações locais se disseminassem por toda a rede, podendo ser amortecidos ou ampliados a depender das reações. Em caso de *feedbacks* positivos, novidades podiam resultar em mudanças estruturais.

Rendimentos crescentes e mudanças na estrutura de mercado

Nos EUA, incentivos estatais para construção de ferrovias e para o estabelecimento de fazendas no oeste levaram ao desenvolvimento do setor financeiro. A concessão de propriedade de terras permitia a constituição de colaterais de empréstimos para investimentos. A institucionalização de sociedades anônimas e a consolidação de bolsas de valores, necessárias para negociação secundária de títulos, contribuíram para o surgimento de grandes firmas. Essas instituições também viabilizaram a ampliação de investimentos em tecnologia e em capital de longa duração. (CHANDLER, 1999; ALBUQUERQUE, 2012)

Como discutido por Chandler (1999, 2004), mudanças tecnológicas e organizacionais conduziram a transformação de grandes firmas em estruturas departamentalizadas. A “mão visível” da direção administrativa substituiu a “mão invisível” do mercado na coordenação da circulação desde os produtores de matérias primas até os consumidores finais. A integração da produção de massa com a distribuição de massa ocorreu pela incapacidade de comerciantes intermediários lidarem com o alto fluxo associado à adoção de máquinas de processo contínuo. Com essas máquinas, surgiram as primeiras grandes corporações industriais dos EUA no final do século XIX na produção de cigarros, palitos de fósforos, farinha de trigo, cereais matinais, comidas enlatadas e filmes fotográficos. A integração permitiu reduzir custos de transação,

amenizar incertezas e manter baixos preços necessários à sustentação e ampliação da demanda. Com a redução de preços e a possibilidade de imitação de concorrentes, passou a ser necessário investir em publicidade para estabelecer marcas. Mas a maior barreira à entrada de concorrentes era a organização de redes de compras, de vendas e de distribuição que conferiam economias de velocidade e que permitiam manter lucros mesmo com baixos preços. (CHANDLER, 1999)

Os processos de crescimento e conexão preferencial que resultam em redes sem escala (BARABÁSI, 2016) – com muitos nós e poucos *hubs* que crescem com o tempo – se manifestam nesse período de ampliação da escala de produção e de distribuição. As reconfigurações de redes internas a firmas e de redes de mercado são exemplos econômicos da expressão “*more is different*” de Anderson (1972).

O processo de verticalização também afetou o mercado pela alteração do poder econômico nas relações entre agentes. Firms gigantes passaram a exercer poder de monopólio e/ou de monopólio e a estabelecer marcas associadas à qualidade de serviços e de produtos que contribuía para manutenção de lucros extraordinários, proteção de fatias de mercado e construção de barreiras à entrada de concorrentes.

Mas, se houve concentração industrial em ramos como ferrovias, navegação, comunicação, indústria pesada, produção de máquinas, eletricidade e de equipamentos elétricos, os ganhos de escala obtidos nesses setores também produziram economias externas por: ampliar a disponibilidade, padronizar e reduzir custos de materiais (aço e outras ligas metálicas); permitir acesso a energia, a motores e a máquinas-ferramentas elétricas; implantar sistemas de comunicação e de transportes que ampliavam mercados. Essas economias externas favoreceram outras firmas que ampliaram a diversificação econômica.

Com a maior estratificação econômica, agentes de diferentes escalas passaram a estabelecer relações conectando os níveis hierárquicos, seja através do mercado ou em organizações verticalizadas, valendo-se dos avanços em transportes e em comunicações.

Mercado futuro se difunde em bolsas de grãos

A *New York Produce Exchange* aderiu aos mecanismos das bolsas do oeste em 1874, unificando a negociação nacional de grãos. Já a *Liverpool Corn Exchange* adotou contratos futuros em 1883, padronizando transações internacionais. (NELSON, 2022)

Em bolsas, compradores e vendedores têm acesso a: infraestrutura para negociação; estrutura legal (regras de negociação, mecanismos de arbitragem); especificações de contrato (classes, padrões, prazo e método de entrega, formas de pagamento); e mecanismos de compensação (*clearing house*) para facilitar a negociação de futuros. Apenas os membros da bolsa podem negociar, sendo que os não-membros precisam contratar um intermediário

membro em troca de uma taxa de comissão. (SANTOS, 2008)

Qualquer agente especula quando antecipa ou adia a negociação na expectativa de variação de preços a seu favor, mesmo fazendeiros e compradores. Mas o caráter financeiro de títulos de mercado futuro conferiu nova dimensão à especulação, resultando em distorções no funcionamento do mercado. No começo do século XX, havia especuladores como *corners* – aqueles que tentam controlar parte significativa da oferta para ditar preços¹⁰⁵ – e manipuladores que usavam meios fraudulentos para produzir flutuações atípicas de preços, além de casas de apostas banidas em 1915 (DONDLIGER, 2018, p. 249). Houve reações e tentativas de regulação¹⁰⁶ devido a desconfianças de manipulações, mas eliminar a especulação implicaria em redução de liquidez do mercado, com efeitos nocivos. A ampliação e a integração do mercado mundial dificultam o controle de preços por *corners*, mas não a influência de grandes corporações, como armazéns. Considerações sobre racionalidade limitada, informações assimétricas e rede sem escala conferem outra perspectiva à questão.

A especulação em mercados futuros parece ser um dos principais fatores a provocar distribuição leptocúrtica na variação dos preços, conforme o capítulo empírico. A ampliação do volume de negociação, os mecanismos de proteção e o aumento de liquidez contribuíram para o excesso de pequenas variações de preços quando comparado à distribuição normal. Mas a estrutura de mercado sem escala – com nós e *hubs* e agrupamentos com diferentes características – favorece a disseminação de informações e movimentos de manada por quebras de expectativas associados a saltos atípicos em tempos de crises.

Armazéns dominavam a distribuição de grãos

Se até 1869 o transporte de grãos de Odessa à Europa ainda predominava, desde então o trigo dos EUA passou a substituir o russo como alimento da classe trabalhadora urbana europeia¹⁰⁷. Mercadores gregos, que dominaram a cadeia de grãos de Odessa para Livorno ou Liverpool entre 1791 e 1861, foram superados por mercadores de grandes armazéns. Com o mercado futuro de grãos e o telégrafo transatlântico, grandes armazéns auferiam lucros pela negociação de contratos a descoberto e reposição com preços melhores. (NELSON, 2022)

Na distribuição, surgiu o mercador de massa moderno que comprava diretamente do

¹⁰⁵ José do Egito pode ser considerado o primeiro grande especulador de trigo. A atuação de Hutchinson em 1867 e as disputas entre Joe Leiter e Phillip Armour em 1898 resultaram em saltos nos preços por manipulações no mercado do trigo nos EUA.

¹⁰⁶ Através de auto-regulação e de leis administrativas, já que somente houve regulação estatal após a I Guerra Mundial. (SANTOS, 2008)

¹⁰⁷ Em 1867, 44% do trigo importado da Grã-Bretanha era russo e apenas 14% dos EUA. Em 1873, 44% era estadunidense e apenas 21% russo. (NELSON, 2022)

produtor agrícola ou industrial e vendia a varejistas ou consumidores finais, eliminando intermediários. A transformação se iniciou na comercialização dos principais produtos agrícolas: grãos e algodão. Além de acelerar os movimentos das colheitas, houve desenvolvimento de empresas auxiliares, como *elevators* de grãos, prensas de algodão, armazéns e bolsas de negociação de *commodities*. A padronização e sistematização de procedimentos de comercialização transformaram os métodos de financiamento e reduziram os custos de movimentação das safras. O aumento da escala de comercialização exigiu o desenvolvimento de métodos impessoais como padronização de qualidade, procedimentos de pesagem e de inspeção. (CHANDLER, 1999)

Houve concentração do comércio de grãos em empresas com escritórios nos principais portos que coordenavam compras com preços futuros. Grandes firmas lidavam melhor com variações súbitas de preços que exigiam seguro, contratos em diferentes lugares, diversas línguas e variados tribunais para disputas. Com a redução de margens, era preciso grande volume. O controle sobre os lucrativos carregamentos do comércio de longa distância passou a ser exercido pelos maiores armazéns de grãos, conhecidos como ABCD: André em Lausanne, Bunge na Antuérpia, Continental em Nova Iorque e Dreyfus em Paris. Grandes volumes negociados permitiam lucrar com pequenas variações de preços. (NELSON, 2022)

Entre as décadas de 1870 e 1970, houve domínio – mas não controle – do comércio internacional de grãos através do Atlântico por esses grandes armazéns. Essas empresas investiam maciçamente em coleta de informação, com agências de notícias privadas sem publicação¹⁰⁸. Também atuavam em outras atividades da cadeia como *elevators*, moinhos e fábricas de alimentos processados, em um processo de verticalização. (NELSON, 2022)

Em mais um exemplo da expressão “*more is different*” de Anderson (1972), Dondliger (2018 [1908], p. 215) afirmou que havia três métodos de comercialização de trigo pelos agricultores estadunidenses, a depender da quantidade de trigo. Os maiores fazendeiros vendiam no atacado, aproveitando momentos oportunos ou empregando agentes especializados que atuavam em câmaras de comércio. A classe intermediária obtinha preços próximos das cotações da cidade por suas estreitas relações comerciais com comissionados de armazéns nos grandes terminais, evitando intermediação do revendedor local. Já a grande massa de pequenos agricultores vendia para os *elevators* locais. (DONDLIGER, 2018)

À medida que as quantidades de mercadorias e de agentes aumentam, o mercado se

¹⁰⁸ Impérios também formaram grandes e caras agências de inteligência.

torna mais complexo, com mudanças estruturais acompanhadas do surgimento de manipulações. Dondliger (2018 [1908], p. 240) percebeu a existência de três níveis no mercado de trigo: 1) o mercado local que, desde que isolado de mercados maiores, é limitado e violentamente afetado pelos eventos locais; 2) o mercado da cidade que, por agregar oferta e demanda de um território maior, não sofre distúrbios tão violentos, já que eventos com resultados opostos podem se compensar; 3) mercado estrangeiro ou internacional, com atuação decisiva de especuladores – profissionais especialistas na obtenção e interpretação de notícias de variações na oferta e na demanda – na determinação de preços que, com pequenas variações locais, prevalece em toda a indústria do trigo. Com a emergência de mercados mundiais, as condições locais passaram a ter menor relevância na determinação de preços.

Concentração na moagem e na indústria alimentícia

Em 1882, foi inaugurado o primeiro moinho de processo contínuo que mantinha sob o mesmo teto as atividades de classificação, limpeza, descasca, corte, empacotamento e despacho de alimentos nos EUA, antecipando a moderna linha de montagem. No começo dos anos 1890, quando a demanda pela farinha branca de moinho cilíndrico se elevou, passou a haver fusões no setor de moagem de trigo e integração vertical. Empresas passaram a empacotar seus produtos com marcas e distribuí-los em escala nacional em vez de vendê-los no atacado. Essas corporações criaram redes de compras e de vendas que os conectavam a *elevators* de grãos em regiões produtoras de trigo e a varejistas. Ao contrário dos setores de alimentos de aveia e tabaco, por exemplo, o mercado do trigo era tão extenso que impedia o controle do mercado por uma única firma. Mas empresas como Washburn-Crosby e Pillsbury se mantiveram como as maiores firmas de moagem de trigo dos EUA no século XX. (CHANDLER, 1999)

Essa transformação do setor favoreceu a produção em massa de produtos feitos com grãos a partir do final do século XIX. Na década de 1890, Kellogg patenteou e lançou a marca *Cornflakes* que rapidamente conquistou o mercado. Progressivamente, os cereais matinais substituíram o pão na dieta estadunidense. Outros alimentos tradicionais, como macarrão e biscoito, passaram a ser produzidos industrialmente em larga escala e vendidos com marcas.

As mudanças tecnológicas durante o Primeiro Regime Alimentar transformaram o pão em um produto cada vez mais padronizado, feito por padarias industriais que utilizavam farinhas produzidas em múltiplos estágios por grandes empresas com moinhos cilíndricos de aço movidos a eletricidade e que tinham como insumo poucas variedades de trigo importado. O pão perdeu a variedade de textura, cor e sabor associada à classe social e o pão branco barato e de baixo teor nutritivo passou a predominar na dieta. (MAGNAN, 2016)

Cidades portuárias como hubs

Os preços dos grãos nas cidades europeias caíram cerca de 40% entre 1870 e 1900. O baixo custo de alimentos, a ampla disponibilidade de matéria prima e a possibilidade de escoar bens manufaturados em vagões e navios que traziam comida contribuíram para a industrialização em cidades portuárias como Londres, Liverpool, Antuérpia e Roterdã. O maior adensamento populacional em cidades criou oportunidades de divisão do trabalho, com o desenvolvimento de serviços e do comércio. (NELSON, 2022)

Essas grandes cidades portuárias tornaram-se *hubs* comerciais, por onde impérios europeus exportavam bens manufaturados para o resto do mundo. Algumas passaram a taxar os grãos importados para financiar a expansão imperial – ampliar exércitos e construir navios de guerra. As grandes cidades portuárias eram tanto vitais para a expansão desses impérios quanto ponto de fraqueza, pelo risco de entrada de pragas e pestes. (NELSON, 2022)

Houve concentração de moinhos nessas cidades, que exportavam farinha contando com compensação tributária para o trigo reexportado. Sobras do processo de moagem eram destinadas a animais, ampliando a produção de carnes e laticínios. A maior disponibilidade e a redução de preços possibilitaram que trabalhadores diversificassem suas dietas pelo consumo de manteiga, queijo, chocolate, bacon e linguiça. Também passou a haver a produção em larga escala de pães em padarias graças às invenções da máquina de amassar (trabalhoso processo de misturar fermento na farinha) em 1873 e dos fornos Borbeck¹⁰⁹ em 1883. O baixo custo de vida atraía trabalhadores assalariados de regiões interioranas, onde os gastos com alimentação comprometiam quase metade da renda. (NELSON, 2022)

Transformações no Reino Unido

Desde a revogação das *Corn Laws* em 1846, o Reino Unido promoveu um conjunto de políticas de livre comércio para garantir alimentos baratos à classe trabalhadora que resultou em dependência de trigo importado e em transformações no setor alimentar. A partir do início da década de 1860, houve importação massiva de grãos da América do Norte, fazendo com que o trigo importado aumentasse de menos de 20% em 1860 para 71% em 1910-14. O fluxo de importação fez com que o preço do trigo despencasse, inviabilizando o cultivo local. Mesmo incluindo o custo de transporte, os grãos da América do Norte eram vendidos pela metade do preço do trigo doméstico. (MAGNAN, 2016)

Uma das transformações mais marcantes foi a adoção de nova tecnologia de moagem

¹⁰⁹ Fornos a lenha de dimensão industrial para assar pães.

adequada às variedades de trigo americanas mais duras que influenciou as características das farinhas, as tecnologias de panificação e hábitos de consumo. A disseminação do moinho cilíndrico de origem húngara (*roller mill*) nos EUA nas décadas 1870-80 forçou a conversão da indústria de moagem britânica à nova tecnologia, sendo necessários pesados investimentos no início do século XX. Os cilindros de aço e o processo de múltiplos estágios permitiam produzir diferentes tipos de farinha pela separação entre as partes constituintes do grão: farelo, endosperma e gérmen¹¹⁰. Além disso, moinhos elétricos passaram a substituir moinhos a vapor a partir de 1900. A maior eficiência das novas tecnologias e a intensificação de capital levaram à concentração de mercado, com a predominância de grandes moinhos localizados em cidades portuárias. Se as cinco maiores empresas de moagem produziam 19% da farinha no Reino Unido em 1910, as três maiores chegaram a 63% em 1930, sendo que duas (Spillers e Rank) estabeleceram-se nessa época. A padronização do processo de moagem uniformizou a demanda por variedades de trigo¹¹¹. (MAGNAN, 2016)

A indústria de panificação se modernizou nos anos 1880 com a introdução de novas tecnologia como amassadeiras mecânicas e máquinas de divisão de massa, que permitia a produção de pães padronizados a partir de porções de massa com peso definido. A adoção dessas tecnologias também produziu concentração e consolidação nesse setor. Com o tempo, houve integração vertical entre os setores de moagem e de panificação. (MAGNAN, 2016)

O setor de varejo também se adaptou, com o surgimento de padarias com múltiplas lojas. As cadeias de lojas têm origem no movimento cooperativo, por beneficiar os membros pela maior escala de compra. Em 1900, as cooperativas respondiam por 6% do mercado de pães, chegando a 19% em 1915. Esse conceito passou a ser aplicado na iniciativa privada e, em 1910, havia 21 cadeias de lojas no Reino Unido. Mas a maioria das vendas ainda ocorria em pequenas padarias. Algumas das maiores corporações de alimentos britânicos, como a Lipton e a Sainsbury's, surgiram nesse período. Na véspera da I Guerra Mundial, a Lipton operava 500 lojas e a Sainsbury's, 115. As cadeias de lojas cresceram consideravelmente nos anos entre guerras. Apesar de existirem nos EUA desde a década de 1920, os supermercados seriam introduzidos na Inglaterra apenas após a II Guerra Mundial. (MAGNAN, 2016)

¹¹⁰ O farelo advém das camadas externas e é rico em fibras, vitamina B e minerais. O endosperma é a parte intermediária, composta principalmente de amido (carboidrato), mas com algumas proteínas e vitaminas, especialmente na parte mais externa. O germe é o núcleo, com nutrientes benéficos, como vitaminas e gorduras.

¹¹¹ A indústria do trigo classifica as milhares de variedades existentes em seis classes de trigo, cada uma com características adequadas à moagem para produtos específicos: *hard red winter*; *hard red spring*; *soft red winter*; *durum*; *hard white*; e *soft white wheat*. (THE NATURAL HISTORY OF WHEAT, 2022)

A demanda por pão reagiu à inundação do trigo barato da América do Norte, à adoção das novas tecnologias de moagem e de panificação e às adaptações do setor varejista. Além do crescimento populacional das grandes cidades, o maior acesso ao pão branco induziu o hábito de comprar pão em lojas em vez de fazer em casa. Também houve uma mudança no tipo de pão consumido, já que até então o pão de centeio predominava, com o leve pão branco de trigo sendo um produto de luxo destinado às classes privilegiadas. Com ampla disponibilidade e menor preço, o pão branco ganhou a preferência da classe trabalhadora por ser de fácil digestão e mais saboroso. Na década de 1880, quase todo o pão consumido era o branco feito com farinha de trigo, que passou a ser o alimento básico da dieta inglesa. (MAGNAN, 2016)

As mudanças alimentares foram tão consideráveis que o movimento organizado de consumidores associava o pão branco barato com justiça social e com o livre comércio, em oposição ao protecionismo. Liderado pela guilda cooperativa de mulheres, essa visão liberal radical de consumismo desconfiava da regulação estatal e via no livre comércio a menor interferência na vida das pessoas e a garantia das necessidades básicas. (MAGNAN, 2016)

Entretanto, o pão branco era feito apenas com o endosperma do trigo, provocando deficiências nutricionais de fibras e vitaminas B1, B3 e ferro. O farelo e o gérmen eram separados na moagem e destinados a ração animal. Isso permitiu ampliar a produção europeia de carnes e laticínios, o que amenizava o problema quando era possível ter uma alimentação diversificada. Mesmo assim, a dieta baseada em pão branco reduziu a ingestão de vitamina B1 para metade do necessário. Os mais pobres, que comiam apenas pão, tinham importante deficiência de ferro. Apesar do apoio da classe trabalhadora urbana, uma minoria do movimento de consumidores passou a se preocupar com a deficiência nutritiva do pão branco, dando origem à primeira contestação à comida industrializada. Em 1880, surgiu a Liga da Reforma do Pão que promoveu uma campanha em prol dos benefícios do pão integral. Em 1909, a Liga lutou pelo estabelecimento de padrões de nutrição de pães pelo governo. (MAGNAN, 2016)

Em resposta a essas preocupações nutricionais, padeiros introduziram formulações que destacavam benefícios específicos. De forma a chamar atenção para o pão marrom, a empresa Hovis o comercializava como alimento saudável, usando assadeiras modificadas para estampar sua marca no pão. Apesar de nunca ter superado 5% da fatia de mercado, esse pão era popular entre consumidores de classe média. (MAGNAN, 2016)

Isto é, se mudanças do lado da oferta induzem aumento do consumo de forma a absorver a maior produção, especialmente através da redução de preços, alterações no consumo familiar também produzem reações de produtores, gerando uma dinâmica coevolutiva com propagações de eventos nos dois sentidos da cadeia (ou rede) produtiva.

Canadá como líder na exportação de trigo

Apesar da liderança dos EUA na exportação de trigo para a Inglaterra no final do século XIX, o Canadá os superaram no início do século XX. Isso tem relação com a expansão da fronteira agrícola canadense para o oeste incentivada pela política nacional agrícola a partir da década de 1870, que combinava imigração, transporte e proteção tarifária. (MAGNAN, 2016)

O maior teor de proteína do trigo canadense resultava em uma farinha forte, ideal para a produção de pão branco de textura leve, conferindo ao trigo canadense uma reputação de qualidade superior e maior valor comercial. A definição de qualidade, que dependia de propriedades do grão com relação ao processo industrial de moagem, reestruturou o comércio mundial de trigo. Como o teor proteico não é verificável pelos sentidos, passou a ser adotado um sistema de classificação por tipo de grão (duro, primavera) e qualidade (nº 1, nº 2) que transformou os grãos de produtos heterogêneos em *commodity* homogênea. (MAGNAN, 2016)

Uma limitação para a exportação do trigo canadense era o transporte até portos. Mas, em 1897, o governo federal negociou fretes com a Canadian Pacific Railway de forma a reduzir o custo de transporte de grãos para o leste e de insumos e implementos no sentido contrário. Entre 1890 e 1914, a área cultivada mais que triplicou e a produção aumentou mais de dez vezes, atraindo mais de um milhão de imigrantes. (MAGNAN, 2016)

Mas os fazendeiros das pradarias canadenses tornaram-se dependentes do comércio privado de grãos, dominado por grandes mercadores. Os fazendeiros se organizaram e demandaram do governo proteção contra abusos, como trapanças na pesagem e na classificação de agentes dos armazéns, além de manipulações de preços por mercadores de grãos. O governo respondeu com medidas regulatórias que contribuíram para consolidar o Canadá como fornecedor de trigo de alta qualidade. (MAGNAN, 2016)

Para lidar com a assimetria de poder de mercado, os fazendeiros experimentaram novos tipos de cooperação econômica, incluindo a venda coletiva de grãos. Foi proposto um modelo no qual todos os grãos seriam negociados coletivamente (*pool* compulsório, ou monopolista) por um longo período de forma a conciliar a oferta à demanda sem as fortes oscilações de preço do mercado. Os fazendeiros ainda formaram cooperativas para atuação em vários segmentos do setor, como comercializadoras e *elevators*. (MAGNAN, 2016)

Os vínculos com o Reino Unido favoreceram as exportações no contexto de dependência britânica de importação de alimentos. Após 1920, o Canadá tornou-se o maior fornecedor para o Reino Unido, mantendo-se líder até a década de 1960. (MAGNAN, 2016)

No Canadá, a predominância do poder político de associação de fazendeiros levou a uma estrutura de mercado diversa da estadunidense, onde ferroviários, mercadores e industriais

exerciam poder. Em vez disso, o Estado canadense apoiou fazendeiros unidos em cooperativas para a constituição de um monopólio público no comércio de grãos.

Reação Russa

A Rússia também passou por importantes transformações que culminaram na Revolução de 1917. Na década de 1860, o plano russo para superação da crise financeira falhou após a crise agrária de 1873. O *Moscow Loan Bank* fez empréstimos a grandes fazendeiros com base em vendas futuras. Quando preços desabaram em 1873, o banco teve grandes dificuldades e faliu em 1875, levando a uma cascata de falências bancárias no país. Como consequência, o rublo desabou e provocou quebra de detentores de instrumentos negociáveis, como *varanty* ou acordos assinados. Nas décadas de 1870 e 1880, os bancos liquidaram os fazendeiros devedores, assumindo as terras dadas como garantia.

Para atender à necessidade de crédito para expansão agrícola, novos instrumentos foram criados por ministros em 1883. Foram lançados títulos no mercado financeiro internacional, adquiridos principalmente por cidadãos franceses através de instituições financeiras de cooperativas de trabalhadores. Com esses títulos, a agência fiscal russa iniciou um ambicioso programa de expansão de plantação de grãos nas estepes a leste e a oeste da Ucrânia, leste dos Montes Urais e até na Manchúria. A produção ocorria em grandes fazendas que faziam uso de arado e contratavam camponeses nas colheitas. (NELSON, 2022)

Os russos fizeram uso do crédito internacional para financiar infraestruturas de transportes, em uma tentativa de copiar o modelo estadunidense¹¹². Afinal, a ambição russa de expansão da produção de grãos exigia acesso ao mercado mundial. O projeto russo incluía a Ferrovia Transiberiana, para transformar a Sibéria em região produtora de grãos, e portos exportadores no Pacífico em Vladivostok e na Manchúria (Port Arthur). Em 1904, o custo com a ferrovia na Manchúria tornou a Rússia o império mais endividado do mundo. Com a humilhante derrota na guerra na Manchúria contra o Japão em 1904-05, a passagem do Mar Negro para o Mediterrâneo era vital. (NELSON, 2022)

O trigo e a geopolítica

Após suas unificações, Alemanha e Itália construíram grandes portos oceânicos e subsidiaram a construção de ferrovias que facilitaram a importação de alimentos e a exportação de manufaturas. Cientes da sua dependência de grãos importados, os alemães nacionalizaram

¹¹² Desde as décadas de 1840-50, títulos ferroviários e portuários tinham seus ativos como colateral, em vez de garantia de Estados. Assim, houve grande aumento de negociação de títulos e financiamento da expansão ferroviária nos EUA e dos canais de Suez e do Panamá. (NELSON, 2022)

suas ferrovias em 1879 e investiram para reduzir custos internos de transporte e baratear alimentos. Impostos e cobranças de fretes eram as principais receitas do Estado alemão, sendo os recursos usados na expansão imperial. A taxaço de grãos importados em portos oceânicos era um instrumento de proteção para evitar falência de agricultores, garantir o suprimento interno de alimentos e proteger a indústria. Benefícios fiscais ao comércio interno de alimentos permitiram sinergia entre agricultura e indústria que resultou no desenvolvimento da indústria química de fertilizantes e agrotóxicos. (NELSON, 2022)

O processo Haber-Bosch – desenvolvido laboratorialmente por Fritz Haber em 1908 e industrialmente por Carl Bosch em 1912-13 – permitiu a síntese do amoníaco a partir de combustíveis fósseis para produção de adubo nitrogenado, assim como de explosivos (NELSON, 2022). A produção industrial, que substituiu esterco e guano, permitiu grande aumento da produtividade agrícola e sustentou o crescimento populacional desde então.

A taxaço de grãos importados financiou a construção de ferrovias e de navios de guerra usados para expansão imperial e na luta entre impérios. Alguns Estados instituíram o abatimento de imposto de grãos no preparo de farinhas, pães, massas e biscoitos para exportação na década de 1890, com o objetivo de estimular o setor de beneficiamento (moinhos). Se, por um lado, o acesso a alimentos baratos era essencial para manter a ordem social e para suprir exércitos, por outro lado, a expansão imperial europeia buscava mercados cativos para produtos derivados do trigo produzidos em moinhos de cidades imperiais e outras mercadorias manufaturadas. (NELSON, 2022)

Com a grande oferta de grãos a partir de 1865, os preços caíram pela metade de 1860 a 1890, beneficiando potência industriais, como Alemanha, França, Inglaterra e Itália. Já Estados agrários (Russo, Otomano, Habsburgo e Qing) se desestruturaram e sofreram ainda mais na década de 1880, quando as potências industriais impuseram barreiras tarifárias à importação de trigo, combinando a competição de grãos americanos com tarifas europeias. (NELSON, 2022)

A I Guerra Mundial tem relação com o grão barato que alimentava as grandes cidades da Europa. A Guerra envolveu países europeus dependentes de grãos estrangeiros, sinalizando que apenas potências que controlassem grãos teriam futuro. Todos os impérios lutaram pelo controle do nexo comida-comércio-impostos, pois a autoridade dependia do controle do pão. A I Guerra Mundial se iniciou nos Balcãs e o domínio do estreito de Bósforo pelos Otomanos trouxe dificuldades para Inglaterra e França garantirem seus alimentos. Alemanha e Turquia formaram uma aliança que envolvia a construção da ferrovia que daria aos alemães um acesso a uma via crucial do comércio mundial: o Expresso do Oriente. (NELSON, 2022)

4.4.5 Intervenção estatal em tempos de crises: 1914 a 1945

Com as guerras mundiais, o Primeiro Regime Alimentar entrou em crise e exigiu a atuação do Estado para reconfigurar o setor, que passou a ser regulado e cada vez mais dominado por grandes corporações industriais e varejistas. (MAGNAN, 2016)

Esse período é marcado por crises econômicas acompanhadas de severas depressões de abrangência mundial. Em alguns casos, as crises envolviam disputas de caráter geopolítico, em outros, tinham relação com superprodução e especulação financeira. As principais crises e depressões foram: I Guerra Mundial, Revolução Russa de 1917, Crise de 1929, Grande Depressão dos anos 1930 e II Guerra Mundial. Além de produzirem desequilíbrios e rupturas, esses eventos foram determinantes para a transição de hegemonia, com os EUA se tornando a maior potência mundial no pós-guerra.

Crise do Primeiro Regime Alimentar

As significativas transformações desde o aumento do volume de trigo comercializado internacionalmente produziram variadas reações de agentes, grupos e nações. As tensões culminaram na crise do Primeiro Regime Alimentar. O período de hegemonia britânica foi encerrado e o colapso do padrão ouro propagou a instabilidade globalmente.

Durante a I Guerra Mundial, os preços do trigo subiram à medida que a Europa tentava mobilizar suprimentos. Mas os laços históricos entre ingleses, canadenses e estadunidenses contribuíram para a remessa de suprimentos, especialmente após 1917, quando submarinos alemães ameaçavam a rota transatlântica. (MAGNAN, 2016)

Após a guerra, os preços despencaram, desestabilizando a forma de comercialização que envolvia cooperativas de fazendeiros e poderosos agentes privados. A guerra explicitou a vulnerabilidade da dependência a alimentos importados. (MAGNAN, 2016)

Com a Crise de 1929, os preços do trigo despencaram e o *New Deal* incluiu uma nova política agrícola. Em época de preços baixos por superprodução, fazendeiros tinham acesso a empréstimos para estocar grãos. Se preços continuassem baixos, o governo comprava a um preço definindo para cobrir custos. Excedentes eram mantidos fora do mercado na política conhecida como “Celeiro da Normalidade Permanente”. Quando preços subiam, o governo estadunidense vendia seu estoque, ajudando na estabilização. (POLLAN, 2007)

A II Guerra Mundial iniciou com a tomada da Polônia, produtora de grãos, pelos nazistas. Em 1941, a Alemanha invadiu a União Soviética na Operação Barbarossa, que tinha como principais alvos a região do Mar Báltico, Moscou, Ucrânia e Mar Negro, abrindo o *front* oriental. Assim como ocorreu com a invasão napoleônica em 1812, o rigoroso inverno, a resistência russa com a estratégia de terra arrasada e a quebra da linha de suprimentos resultaram

em fome, mortes e enfraquecimento do exército invasor, sendo determinante para o desfecho da guerra. Já no Atlântico, submarinos alemães tornaram a interceptar navios cargueiros com suprimentos norte americanos para a Inglaterra.

As guerras colocaram em dúvida dois pilares da estratégia britânica – a dependência ao trigo importado e a dieta baseada no pão branco – evidenciando a importância de o Estado assumir um papel mais ativo na garantia da segurança alimentar e no estabelecimento de padrões de nutrição. Com as frequentes interrupções no fornecimento de grãos, o Reino Unido ampliou a produção doméstica de alimentos para substituição de importações e abandonou a política de livre comércio. Com os avanços no conhecimento científico sobre nutrição, consumidores reviram seus conceitos sobre o papel do Estado na implementação de padrões de segurança alimentar, controle de preços e regulação do comércio. Nesse período, também houve concentração e consolidação nos setores de moagem, panificação e varejo. (MAGNAN, 2016)

Segurança alimentar como prioridade

Os ataques de submarinos alemães em 1916 desestruturaram o tráfego naval no Atlântico, produziram aumento dos preços e forçaram o governo britânico a exercer controle alimentar. Por serem o trigo e sua farinha os alimentos mais importantes, o governo criou o Ministério de Alimentos e passou a controlar todos os moinhos na primavera de 1917, exercendo monopólio sobre as compras de trigo, ditando preços da farinha e introduzindo um subsídio ao pão. Através do controle alimentar, o governo estabeleceu pela primeira vez requisitos mínimos de nutrição baseados na ciência. Em 1918, a crise forçou o governo a racionar alguns tipos de alimentos, mas o comitê da *Royal Society* recomendou não racionar o pão, por ser a fonte de energia mais barata. Em vez disso, o governo regulou taxas de extração de farinha (proporção de trigo convertida em farinha no processo de moagem), que passou de 70 a 72% para 92% em 1918. O escuro “pão da guerra” era impopular, mas tolerado como um sacrifício em tempos difíceis. Com a elevação da taxa de extração, houve maior aproveitamento das reservas de trigo para farinha de consumo humano em vez de destinação a ração animal. Além disso, a maior taxa de extração melhorava a qualidade nutritiva do pão, adicionando vitaminas, minerais e fibras presentes no germe e no farelo do trigo. Assim, em vez de racionar a quantidade de pão, o governo regulou sua qualidade. (MAGNAN, 2016)

A guerra alterou a percepção do movimento de consumidores. Em vez de defender a política de pão barato baseada no livre mercado, foram valorizadas questões como nutrição, segurança alimentar e proteção contra os grandes conglomerados industriais. Apesar de ainda não haver consenso, o movimento de consumidores aceitou o Estado como garantidor dos seus interesses em uma política social-democrata que envolvia controle de alimentos importados e

cooperação internacional em vez de livre comércio. (MAGNAN, 2016).

No período entre guerras, o governo britânico consolidou seu envolvimento em pesquisas científicas sobre nutrição e tecnologia alimentar, através do *Advisory Committee on Nutrition* de 1931. O governo também repensou suas políticas de livre comércio e de dependência a alimentos importados, encorajando a produção doméstica, especialmente através de melhoria da produtividade agrícola. Com a Grande Depressão, o livre comércio foi abandonado e passaram a ser adotados impostos de importação e uma política de preferência a colônias, com menor taxaço ao trigo canadense. O *Wheat Act* de 1932 definiu altas tarifas sobre trigo e farinha importados e preço garantido para o trigo doméstico. Apesar de o trigo importado ainda corresponder a 88% entre 1934 e 1938, as políticas reduziram a dependência para 60% às vésperas da II Guerra Mundial. (MAGNAN, 2016)

Concentração nos setores de panificação e de varejo britânicos

No setor de panificação, surgiram plantas industriais nos anos 1930. Adotando fornos elétricos com esteiras, as padarias transformaram a fabricação de pão em produção em série e contínua. Com a introdução da embalagem de pão e fatiamento nas décadas de 1920 e 1930, respectivamente, as padarias industriais passaram a estampar marcas nas embalagens de pão de fôrma. Se as padarias industriais detinham apenas 10 a 12% de participação da produção nacional de pães em 1937, esse percentual passou para 35 a 40% em 1953 e 70% no fim da década de 1960. As padarias industriais produziam pães para entrega direta em residências, lojas, cadeias de restaurantes, casas de chá e para suas lojas varejistas. (MAGNAN, 2016)

O setor de varejo britânico de pães se transformou com o crescimento de cadeias de lojas de pães, que alcançaram 30% das vendas em 1939. A *Allied Bakeries* passou a exercer poder de mercado, abrangendo 32% das vendas em 1950. Também houve a disseminação de cadeias de lojas de mercearias, antecessoras dos supermercados, com 26 firmas que detinham mais de 100 lojas dominando metade do mercado em 1939. (MAGNAN, 2016)

Estado apoia o corporativismo agrícola no Canadá

Para atender ao desejo de fazendeiros por maior estabilidade de preços, o governo canadense implementou políticas para garantir o suprimento aos britânicos experimentadas durante a I Guerra Mundial. No início da guerra, o Reino Unido e o Canadá agiram de forma coordenada para moderar a volatilidade de preços dos grãos. Enquanto o Reino Unido impôs embargo sobre exportações de regiões sob sua influência a qualquer país rival ou neutro, o Canadá ampliou sua especialização na produção de trigo. (MAGNAN, 2016)

O mercado tornou-se disfuncional após o fim da I Guerra. A falta de negociações no final de 1919 e a recusa de financiamento por parte de bancos e ferrovias dificultaram a

movimentação da colheita. Quando o mercado reabriu, houve especulação que levou o governo canadense a fechar a bolsa de Winnipeg. A fim de dar destino à safra, o governo criou o *Canadian Wheat Board*, que oferecia um pagamento inicial aos fazendeiros, negociava coletivamente e complementava o pagamento após a efetivação da negociação. Apesar de ser tratado como solução provisória, o Conselho definiu os princípios da negociação coletiva e foi restabelecido após a Crise de 1929. (MAGNAN, 2016)

A partir de 1930, iniciaram-se as tratativas do primeiro *International Wheat Agreement* (IWA) que visava um acordo multilateral entre os maiores exportadores e importadores. Apesar do fracasso na definição de quotas de exportação na versão final em 1933, as reuniões levaram à criação de uma instituição permanente que abrigaria discussões futuras. (MAGNAN, 2016)

O *Canadian Wheat Board* assumiu a forma moderna no papel de garantir o suprimento britânico na II Guerra. Com o risco de desabastecimento e aumento dos preços, o governo canadense suspendeu as negociações na Bolsa de Grãos de Winnipeg em setembro de 1943 e criou a estrutura de venda *single-desk*. Desde então, todo o trigo canadense seria comercializado pelo *Canadian Wheat Board*, resultando em monopólio estatal que marcou o Segundo Regime Alimentar no pós-guerra, com regulação estatal da agricultura. (MAGNAN, 2016)

Assim, conjunturas locais afetaram as configurações de estruturas de mercado em cada país. Nos EUA, mercadores, ferroviários e industriais exerceram poder político e moldaram regras que levaram ao domínio de grandes corporações na cadeia produtiva. Já no Canadá, pela influência de fazendeiros das pradarias, formou-se um monopólio de comercialização que protegeu seus interesses frente aos poderosos atores do mercado internacional.

4ª Revolução Industrial: petróleo, automóveis, motorização e produção de massa

A 4ª Revolução Industrial, que ocorreu entre as décadas de 1930 e 1990, é caracterizada pela produção e consumo de massa associados a uma nova fonte energética, a novos materiais sintéticos derivados do petróleo, ao motor de combustão interna e à indústria automobilística. A adoção de novos processos produtivos no início do séc. XX, como linha de montagem e fluxo contínuo, permitiu rendimentos crescentes e geraram otimismo, com investimentos, especulações e consumos à base de endividamento. Mas a desigualdade distributiva e as restrições ao comércio internacional devido a medidas protecionistas resultaram em crises de superprodução e guerras mundiais. (FREEMAN e LOUÇÃ, 2001; FREEMAN e SOETE, 2014)

O setor de transporte de carga foi transformado por caminhões e estradas, ampliando a abrangência e a capilaridade do mercado. Regiões distantes de estações ferroviárias passaram a ter acesso a transporte rápido e flexível, tanto para integração à rede ferroviária como para estabelecer ligações diretas. O modal rodoviário também introduziu competição e reduziu o

poder de mercado de companhias ferroviárias. Caminhões de diferentes modelos e tamanhos se adaptavam a diversas condições e afetavam escalas ideais de produção e de comercialização.

Nos EUA, o deslocamento com automóveis permitiu a construção de novos bairros em subúrbios destinados a famílias com semelhantes perfis étnicos e de renda, repercutindo em mudanças de hábitos e em consumos de conformidade e conspícuo. Com famílias de maior renda em subúrbios, as características de centros urbanos mudaram, concentrando moradores de menor renda e que faziam uso de transporte público. A segregação associada ao transporte individual teve importantes consequências sócio-econômicas nas décadas seguintes, em termos de acesso à educação e à saúde devido ao localismo de aplicação de tributos. O comércio varejista também foi afetado, com supermercados e *shopping centers*. (GORDON, 2016)

A adoção de combustíveis líquidos de alto poder energético ampliou a capacidade de carga e a velocidade de navios, contribuindo decisivamente para a ampliação do comércio internacional de cargas pesadas e de baixo valor, como grãos. Após a II Guerra Mundial, com o aumento do comércio entre países industrializados, navios oceânicos tornaram-se maiores e mais especializados. Navios que cruzavam os Grandes Lagos transportando grãos e minerais cresceram para aproveitar economias de escala e equipamentos de autodescarga passaram a ser mais comuns para reduzir o tempo de transbordo (BULK carrier, 2023).

4.4.6 Globalização com hegemonia dos EUA e Guerra Fria: 1945 a 1973

Ao final da II Guerra, o Tratado de Bretton Woods definiu as regras das relações comerciais e financeiras da nova ordem capitalista mundial e consolidou a hegemonia dos EUA, que detinham quase 70% das reservas de ouro na época. O dólar lastreado em ouro foi estabelecido como moeda mundial, devendo cada país adotar uma taxa de câmbio fixa em relação ao dólar. Foram criados o Banco Internacional para a Reconstrução e Desenvolvimento (BIRD) e o Fundo Monetário Internacional (FMI) para financiamento em caso de dificuldades temporárias de pagamento. (ALBUQUERQUE, 2012)

Também surgiram outros programas e instituições para a exportação do modelo estadunidense de capitalismo, como: o Plano Marshall; a Organização das Nações Unidas (ONU); o Acordo Geral de Tarifas e Comércio (GATT), que mais tarde se converteria na Organização Mundial do Comércio (OMC); e o Tratado do Atlântico Norte, que deu origem à Organização do Tratado do Atlântico Norte (OTAN). (ALBUQUERQUE, 2012)

A estreita relação entre os setores público e privado se manteve no pós-guerra, com incentivo ao consumo familiar que favoreceu firmas de bens de consumo duráveis reconvertidas. O estado de bem-estar social provia benefícios sociais e serviços públicos. Ao

aplicar políticas keynesianas para suavizar ciclos econômicos e manter o emprego, Estados coordenavam o mercado e influenciavam as relações entre os diversos agentes econômicos.

O Plano Marshall e outras medidas de cooperação entre EUA e Europa beneficiavam grandes empresas estadunidenses na exploração e dominância de mercados externos. Mas também contribuiu para a difusão de tecnologias e de técnicas administrativas estadunidenses para empresas europeias. (FREEMAN e SOETE, 2014)

Segundo Regime Alimentar

Nesse período, houve regulação governamental da produção e do consumo de grãos, comércio internacional a partir de acordos entre Estados e o surgimento de um setor agroindustrial que viria a ser dominado por grandes corporações. (MAGNAN, 2016)

Nos EUA, os programas de gestão de oferta de *commodities* do *New Deal* com preços suporte foram mantidos, mas os programas de limite de produção não surtiram efeito. Os incentivos produziram superprodução e tendência de queda de preços de longo prazo. Durante a II Guerra e os primeiros anos da reconstrução europeia, que criou grande demanda por trigo, esse problema foi mascarado. Mas quando a produção mundial se restabeleceu no fim dos anos 1940, a superprodução estadunidense tornou-se uma ameaça. Com a oferta crescendo continuamente, encontrar demanda – pessoas e animais para consumir, novos produtos para absorver grãos e nações para importar – tornou-se a principal tarefa do sistema industrial de alimentos. (MAGNAN, 2016; POLLAN, 2007)

Ao conceber as instituições do pós-guerra, os EUA tinham como preocupação encontrar destino para os excedentes e criar estabilidade. Por esse motivo, alimentos e outros produtos agrícolas foram excluídos de acordos multilaterais como o *General Agreement on Tariffs and Trade* (GATT) assinado em 1947. Assim, os EUA puderam manter subsídios à exportação e programas domésticos que dependiam de controle de importação. Em resposta, outros países também adotaram programas agrícolas intervencionistas, em uma reversão do ambiente de comércio sem regulação do Primeiro Regime Alimentar. Países europeus replicaram o modelo de regulação agrícola de forma a proteger seus próprios setores alimentares. (MAGNAN, 2016)

O Segundo Regime Alimentar, que vigorou entre 1945 e 1973, foi marcado por regulação governamental da agricultura, que incluía proteção comercial, preços suporte, conselhos de comercialização, esquemas de estabilização de renda de fazendeiros e expansão de programas de pesquisa e de extensão agrícolas. Transferências de produtos agrícolas entre Estados ocorriam através de acordos fora do mercado, com destaque para ajuda alimentar a países mais pobres como exercício de *soft power* estadunidense. (MAGNAN, 2016)

Com a promulgação da *Public Law* 480 de 1954, os EUA estenderam os programas de

ajuda alimentar aos países do Terceiro Mundo, permitindo-os pagar pela importação de alimentos com moedas locais e concedendo descontos. Além de ampliar a fatia de mercado do trigo estadunidense, essa política alimentar estabeleceu vínculos geopolíticos com países pobres em um contexto de Guerra Fria, com a configuração de blocos comerciais em que os EUA mantinham uma agenda anticomunista. A ampla disponibilidade de alimento barato contribuiu para a industrialização de alguns países periféricos, mas a dependência à importação e a formação de hábitos alimentares baseados no trigo, grão de clima temperado, resultaram em crises quando as condições se alteraram na década de 1970. (MAGNAN, 2016)

Já no Canadá, a interação entre fazendeiros, governo e mercado privado resultou em um conjunto institucional único com *grain pooling*, controle público de qualidade e *marketing* coletivo, o que permitiu o crescimento da economia baseada no trigo. A assinatura de um acordo entre Canadá e Reino Unido em 1946 sobre o fornecimento de trigo por cinco anos contribuiu para a estabilização do mercado no pós-guerra. O acordo também consolidou o papel comercializador do *Canadian Wheat Board*, criando um paradigma para acordos sobre o trigo que dominaria as negociações comerciais nas décadas seguintes. Apesar de o Canadá ter mantido o domínio no mercado de trigo de alta qualidade através da atuação do Conselho, sua relevância reduziria após 1960 devido a mudanças tecnológicas e à atuação dos EUA no mercado mundial. O Reino Unido perdeu o *status* de principal importador devido à política de substituição de importações de trigo visando a autossuficiência, em consonância com a Comunidade Europeia que se formava, e às pesquisas governamentais de novos processos de panificação que reduziriam a dependência do trigo norte americano. (MAGNAN, 2016)

Em reação à política estadunidense, o Canadá buscou se inserir no mercado explorando a reputação de fornecedor de trigo de melhor qualidade. O Conselho também buscou acordos bilaterais de longa duração com países como Japão, China e União Soviética. A partir de 1958, o Canadá passou a vender trigo regularmente para a China e, em 1963, após uma queda da safra de trigo no Cazaquistão, a União Soviética demandou do Canadá um contrato de três anos de grande volume, o maior até então. Um contrato ainda superior foi assinado nos mesmos moldes em 1965. Mesmo com o fornecimento mais errático aos soviéticos, esses contratos criaram um modelo para negociações entre países, inclusive do leste europeu. Apesar dos protestos estadunidenses, o conflito foi superado por meios diplomáticos, considerando a insatisfação canadense com as práticas de *dumping* estadunidense (MAGNAN, 2016). Dessa forma, o Canadá exerceu um papel de conexão entre dois subsistemas com dinâmicas próprias.

Além desses acordos bilaterais, o *Canadian Wheat Board* teve papel de destaque na negociação de acordos multilaterais que estabeleceriam as bases comerciais entre governos até

o início da década de 1970. O *International Wheat Agreement* foi concluído em 1949 e teve como base o acordo entre o Canadá e o Reino Unido, que definia piso e teto de preços e garantia volumes de exportação e de importação entre os signatários. (MAGNAN, 2016)

Por ser considerado insubstituível pelos moinhos europeus, a demanda pelo trigo canadense de alta qualidade era relativamente inelástica. Assim, através da retenção de estoques e negociações de grandes volumes, o *Canadian Wheat Board* era capaz de controlar as flutuações de preços na faixa imposta pelo *International Wheat Agreement*. Este papel era institucionalizado pela prática de anúncio público diário de preço do trigo, servindo de referência mundial, mesmo para outros tipos do grão. Como os EUA subsidiavam a exportação, outro preço de referência era estabelecido a partir de desconto entre seu tipo padrão e o trigo canadense. Portanto, o sistema de preços era dominado por decisões administrativas e mantido por acordo entre os dois maiores exportadores. (MAGNAN, 2016)

Assim, Canadá e EUA desempenharam papéis complementares em uma relação de cooperação, dividindo o mercado mundial de trigo: 1) o mercado do Terceiro Mundo era dominado pelos EUA através de vendas subsidiadas; 2) o Canadá exportava para países socialistas; 3) vendas comerciais eram regidas pelo *International Wheat Agreement*, através de retenção de estoques e controle de preços. Essa relação colaborativa entre os países envolvia outras considerações políticas, militares e econômicas, mas gerava tensões latentes pelo conflito de interesses. À medida que as condições comerciais, tecnológicas e de política agrícola mudavam, os padrões de cooperação e de estabilidade erodiam. (MAGNAN, 2016)

Os programas governamentais e incentivos à modernização da produção agrícola visando aumento da produtividade caracterizam o Segundo Regime Alimentar do pós-guerra. Com preços suporte, fazendeiros eram incentivados a ampliar a produção adotando práticas industriais em monoculturas em larga escala. Como consequência, a agricultura familiar foi dando lugar a uma classe de grandes fazendeiros e a corporações agroindustriais integradas verticalmente que compartilhavam o objetivo de maximização da produção através de práticas intensivas, adoção de novas tecnologias e expansão do tamanho de fazendas para aproveitamento de ganhos de escala. Paralelamente, houve o desenvolvimento de novos setores industriais para o fornecimento de insumos agrícolas (sementes, fertilizantes e pesticidas), tratores e seus implementos. (MAGNAN, 2016)

Pesquisa e industrialização da agricultura

Desde o estabelecimento do Departamento de Agricultura e dos *Land Grant Colleges* em 1862, pesquisas agrícolas têm sido tratadas como responsabilidade do setor público nos EUA. Em 1878, o *Hatch Act* previu financiamento ao sistema de estações experimentais

agrícolas. Além do setor público, universidades e a iniciativa privada participavam de pesquisas e de programas de extensão. A atuação do Estado nos programas de expansão tinha como objetivos gerais: 1) prover serviços de educação técnica a fazendeiros; e 2) intermediar o contato, de forma interativa, entre fornecedores de novas tecnologia e fazendeiros: para prover informações técnicas a fazendeiros, permitindo que avaliassem e adotassem novas tecnologias da melhor forma; e para transmitir *feedbacks* aos fabricantes. No início do séc. XX, a maioria dos países hoje desenvolvidos tinha sistemas públicos de pesquisas agrícolas, essenciais para os programas de desenvolvimento após a II Guerra. (EVENSON, 2001)

Em 1947, o Departamento de Agricultura dos EUA coordenou a adaptação da fábrica de munições *Muscle Shoals*, no Alabama, para produção de fertilizante químico a partir do nitrato de amônio. Inaugurou-se, assim, a produção em larga escala de fertilizantes sintéticos a partir do processo Haber-Bosch. A bem-sucedida conversão de uma tecnologia militar para fins pacíficos¹¹³ transformou toda a cadeia produtiva. (POLLAN, 2007)

Programas de extensão de institutos do governo selecionaram variedades de sementes responsivas à adubação química e desenvolveram tecnologias voltadas às práticas agrícolas, o que resultou em grande aumento de produtividade em plantações de trigo e milho (EVENSON e KISLEV, 1973). Já programas industriais de P&D foram direcionados especialmente a máquinas e químicos agrícolas, gerando muitas patentes. (EVENSON, 2001)

Assim, a agricultura estadunidense se adaptou aos métodos da 4ª Revolução Industrial, buscando replicar os processos industriais de fluxo contínuo através do uso de fertilizantes e de químicos derivados do petróleo, de mecanização intensiva com tratores e de variedades híbridas de sementes em monoculturas por grandes propriedades aproveitando ganhos de escala¹¹⁴. Em vez de uma atividade dependente de condições do solo e do clima e com diversidade e rotação de culturas, a agricultura passou a buscar a eficiência mecânica de fábricas para transformar matéria prima (sementes, fertilizantes e pesticidas) em produtos.

Com a abundância de grãos, houve redução de preços e esforços para escoar a produção, seja internamente ou por exportação, de forma a evitar uma crise de superprodução. A ampla disponibilidade de grãos, a evolução de métodos industriais, o transporte rodoviário e o crescimento populacional deram novo impulso à indústria alimentícia. O maior volume

¹¹³ Essa não foi a única relação entre as indústrias alimentícia, química e bélica. Além de pesticidas e herbicidas, a Dow e a Monsanto produziram Napalm (bombas incendiárias sobre cidades japonesas na II Guerra) e Agente Laranja (desfolhante em florestas na guerra do Vietnã), respectivamente.

¹¹⁴ Griliches (1964) atestou a existência de ganhos de escala na agricultura estadunidense, assim como o retorno de investimentos em pesquisas agrícolas.

comercializado resultou em domínio de mercado por grandes corporações em vários setores, com firmas aproveitando economias de escala e de escopo. No setor de alimentos processados, moinhos e panificadoras verticalmente integrados consolidaram o consumo de massa através da padronização de mercadorias e redução de preços. (MAGNAN, 2016)

Políticas alimentares britânicas

No pós-guerra, o Reino Unido implementou uma política de industrialização agrícola e de preços suporte para promover a substituição de importação de trigo. Mas a dependência ao trigo duro da América do Norte era um obstáculo. Para sua superação, criou-se um programa conjunto entre indústria e governo em 1946, a *British Baking Industries Research Association*, com o objetivo de desenvolver novas tecnologias para a indústria verticalizada de moagem e de panificação que permitissem a maior utilização de trigo doméstico. A iniciativa resultou em um novo processo de panificação introduzido comercialmente em 1961, o *Chorleywood Bread Process*, que exigia menor proporção de trigo duro na moagem e eliminava a necessidade de massa fermentada naturalmente, permitindo que panificadoras economizassem tempo e espaço. Para melhorar a eficiência industrial e a durabilidade do produto, para viabilizar a distribuição nacional, foram usados aditivos químicos. Além de farinha, água, sal e fermento, o *Chorleywood Bread Process* incluía agentes de tratamento de farinha, alvejante, agentes redutores, emulsificantes, conservantes e outros auxiliares de processamento. Esse pão industrial, com durabilidade de alguns dias, estabelecia conexões entre a indústria de alimentos e outros setores, como: indústrias química, de máquinas e de embalagens; serviços de propaganda e *marketing*; e distribuição regional. Com esse novo processo, o pão foi transformado em um produto industrializado, dando origem ao complexo de alimentos duráveis dominado por grandes corporações verticalmente integradas. (MAGNAN, 2016)

O setor de alimentos duráveis que fazia uso de insumos genéricos derivados de grãos – como gordura e adoçantes – para a produção de comidas processadas se consolidou com marcas próprias e distribuição nacional voltada ao consumo de massa. Nos anos 1950, houve rápida mudança tecnológica, aquisições, integração vertical entre moagem e panificação e concentração industrial, com algumas empresas se tornando grandes corporações nacionais e mesmo multinacionais, como Unilever, Grand Metropolitan e Allied Lyons. No início da década de 1960, três firmas de moagem e panificação verticalmente integradas (Allied, British Bakeries e Spillers) dominavam o mercado britânico. Em 1975, essas empresas abarcavam 79% do mercado de farinha e 62% do mercado de pães. (MAGNAN, 2016)

Devido ao crescimento da indústria de alimentos e às demandas do movimento organizado de consumidores, o governo britânico deu continuidade à política regulatória

alimentar iniciada durante a I Guerra. Em 1947, foi criado o *Food Standards Committee* para controlar contaminantes e aditivos alimentares usados pela indústria, além de observar aspectos nutricionais. Entretanto, os estreitos vínculos fortalecidos durante as guerras entre o governo e a indústria de alimentos permitiu influências nesse órgão. A controvérsia sobre o valor nutritivo do pão foi solucionada pela imposição de adição de fortificantes na farinha de trigo com menos de 80% de extração, incluindo ferro, cálcio, zinco e vitaminas B, em vez de estipulação de taxa mínima de extração, abandonada em 1956. Essa medida favoreceu interesses comerciais de moinhos e panificadoras que queriam ofertar o pão branco, favorito dos consumidores. A padronização do pão branco feito de farinha fortificada se manteve por três décadas. Em 1960, o pão branco respondia por 92% do consumo. (MAGNAN, 2016)

Grãos em alimentos processados

A indústria alimentícia se localiza na cadeia entre dois extremos problemáticos: a fazenda sujeita à natureza (sub ou superprodução); e o consumidor com demanda por alimento relativamente inelástica. Para tornar a indústria vantajosa, as pessoas devem consumir mais ou gastar mais com o que consomem. Os alimentos processados – formas, cores e sabores atraentes – cumprem esses dois objetivos. (POLLAN, 2007)

Apesar da relativa inelasticidade da demanda por alimentos – por se tratar de uma necessidade básica passível de satisfação momentânea – o uso de grãos para a produção de ração animal e de alimentos processados permitiu a ampliação da demanda de forma a evitar crises de superprodução. Além do crescimento populacional e da exploração de novos mercados, uma dieta rica em carnes e laticínios e de alimentos industrializados implica em maior consumo de grãos *per capita* de forma indireta, pela utilização no processo produtivo.

A ampla disponibilidade e os baixos preços de *commodities* agrícolas (especialmente milho, soja e trigo) possibilitaram a consolidação de grandes corporações do agronegócio no complexo da pecuária e avicultura, com criação intensiva de animais alimentados por grãos. Quando a Comunidade Econômica Europeia isentou a indústria estadunidense de carnes de impostos de importação em troca de proteção ao setor do trigo, grandes mercadoras de grãos e processadoras de rações animais integraram o setor que se tornou transnacional. Essas corporações passaram a obter seus insumos agrícolas globalmente e a vender seus produtos em mercados com diferenciação, ofertando produtos de alta qualidade a mercados de países desenvolvidos e de baixa qualidade a países pobres. (MAGNAN, 2016)

Varejo: supermercados

Introduzidos na década de 1920 nos EUA, os supermercados tiveram forte expansão na década de 1930 com a Grande Depressão, que tornava os clientes mais receptivos a preços mais

baixos. O supermercado envolve duas inovações centrais: disponibilidade de todos os itens de alimentação, desde carnes e vegetais frescos a alimentos processados, em um único lugar, economizando o tempo dos clientes; e a separação entre os processos de seleção de itens, realizada pelos próprios clientes, e o de pagamento, que ocorre apenas uma vez ao final da compra. Por poupar trabalho do lojista, os supermercados eram capazes de vender a preços mais baixos. Após a II Guerra, com a expansão imobiliária em subúrbios e a disseminação de automóveis, os supermercados passaram a dominar o varejo, passando de 28% das vendas em 1946 para 69% em 1963. (GORDON, 2016; MAGNAN, 2016)

O autosserviço em um grande espaço com variedade de produtos e preços baixos deu origem a uma nova forma de compra em que consumidores podiam comparar e escolher entre uma ampla e crescente variedade de produtos industrializados com marcas. A concorrência no varejo exigiu adaptação das empresas, que tinham seus produtos vendidos nas gôndolas de supermercados, através de investimento em *marketing* para ganhar a preferência de consumidores. Outra consequência foi o aumento de poder de negociação de varejistas perante os fornecedores devido à maior escala de compras, já que supermercados não apenas selecionavam o que seria ofertado como induziam compras de acordo com a exposição do produto aos clientes. (GORDON, 2016; MAGNAN, 2016)

Após a II Guerra Mundial, o governo britânico se uniu a setores do comércio varejista de alimentos para reestruturar a atividade nos moldes dos supermercados estadunidenses. A intenção do governo era beneficiar consumidores com preços menores e liberar trabalhadores de forma a aliviar a carência de mão de obra. Cadeias de lojas passaram a dominar o setor de supermercados já na década de 1960, em um processo que concentrou cerca de 60% das vendas nas cinco maiores firmas em 1966. Com isso, as vendas de pães migraram de padarias locais ou cadeias de lojas especializadas para supermercados. (MAGNAN, 2016)

A mudança no varejo de estabelecimentos especialistas (padarias) para generalistas (supermercados) representa um entrelaçamento adicional entre mercados de diferentes produtos de consumo familiar, com interrelações nas atividades de distribuição, varejo e consumo.

Da cooperação à competição entre exportadores

Quando as vendas canadenses a países não-capitalistas aumentaram, a cooperação entre Canadá e EUA para manter a estabilidade do mercado deixou de ser vantajosa para os últimos. Como os preços de seus contratos com países do Terceiro Mundo eram bem mais baixos, os EUA tentaram expandir sua participação no mercado. A negociação entre Canadá e URSS para a venda de um grande volume de trigo em 1963 a preços próximos aos do mercado mundial foi um ponto de virada, ao transparecer a desvantagem do embargo. Os EUA consideraram pela

primeira vez abrir uma exceção e fizeram uma proposta aos soviéticos. Mas a regulamentação naval estadunidense, que exigia ao menos metade do carregamento em navios nacionais, fez com que os soviéticos optassem pelo Canadá. Desde então, EUA e Canadá passaram a competir. Em resposta à venda canadense de trigo de pior qualidade à China em 1965, os EUA ampliaram o subsídio à exportação, disparando uma série de cortes de preços que minaram o *International Wheat Agreement*, culminando em seu colapso em 1969. (MAGNAN, 2016)

A progressiva autossuficiência da Europa resultante de políticas de proteção à agricultura foi outra mudança estrutural no mercado mundial de trigo. As exportações canadenses para o Reino Unido caíram rapidamente a partir de meados da década de 1960, quando moinhos e panificadoras passaram a substituir o trigo duro pelo trigo local com a introdução do *Chorleywood Bread Process*. (MAGNAN, 2016)

A resultante queda de preços do trigo na década de 1960 trouxe dificuldades para o Canadá. O instrumento que compensava os fazendeiros por armazenarem grãos em épocas de preços baixos tornou-se um fardo para o governo. Ainda, como o trigo duro de alta qualidade tornava-se substituível pelo novo processo de panificação, o ágio foi reduzido. Para enfrentar essas dificuldades, o governo implementou a política de dois preços em 1967, estabelecendo preços mínimo e máximo a serem pagos por moinhos e processadores canadenses. Apesar de contribuir para suportar os preços do *Canadian Wheat Board* no mercado doméstico, essa medida acabou por vincular o Conselho a interesses industriais. (MAGNAN, 2016)

A perda da importância do trigo de alta qualidade tornou pouco efetiva a prática canadense de segurar estoques para dar suporte a preços. A formação de preços passou ter como base um padrão médio a partir de meados da década de 1960, tornando o Canadá um seguidor de preços em vez de definidor. Com menor poder de mercado, a meta de manutenção de renda de fazendeiros tornou-se inalcançável. Apesar de o trigo continuar como a principal atividade dos fazendeiros das pradarias canadenses, sua menor atratividade fez com que muitos cultivassem insumos para o complexo industrial alimentar, como canola e cevada. A diversificação de cultivo resultou em conflitos de interesses que afetou a política agrícola, com o surgimento de pressões para o fim do monopólio de comercialização pelo *Canadian Wheat Board*. Em 1974, a venda interna de grãos para ração animal foi desregulamentada, sendo o monopólio do Conselho restrito à exportação para consumo humano. Além disso, a industrialização da agricultura – com mecanização, químicos e sementes modificadas – provocou aumento do tamanho e redução do número de fazendas, com concentração de terras e de recursos. No início dos anos 1980, 25% das fazendas respondiam por 74% das vendas. A diferenciação de fazendeiros fragilizou a classe e sua influência política. (MAGNAN, 2016)

4.4.7 Crises do trigo e do petróleo: 1973 a 1995

Sucessivos déficits fiscais associados a políticas do *New Deal* e a altos gastos militares repercutiram negativamente na economia dos EUA no final dos anos 1960 e na década de 1970, com inflação, altas taxas de juros, efeitos cambiais e déficits no balanço comercial. Para proteger o dólar de ataques especulativos e favorecer a posição dos EUA no comércio internacional, o presidente Nixon suspendeu unilateralmente a conversibilidade em ouro em agosto de 1971. Após tentativas frustradas de acordos internacionais para o restabelecimento do Tratado de Bretton Woods baseado no dólar desvalorizado e novas desvalorizações por ataques especulativos, estabeleceu-se um sistema cambial flutuante em março de 1973. (UNITED STATES DEPARTMENT OF STATE, 2018)

Com a mudança cambial para regime flexível e maiores taxas de inflação, houve elevação de riscos que foram mitigados pela ampliação do mercado futuro como forma de proteção (*hedge*). Nas décadas de 1970 e 1980, a negociação de futuros se estendeu além das *commodities* físicas, passando a incluir futuros de moedas em 1972, de taxa de juros em 1975 e de índices de ações em 1982. Os contratos de *commodities* agrícolas continuaram muito negociados pelo lastro em estoques físicos. Mas os futuros financeiros e opções cresceram no século XXI, quando a negociação eletrônica passou a ser o padrão. (SANTOS, 2008)

Crise do Segundo Regime Alimentar

Os ganhos de produtividade da agricultura industrial levaram à concentração e à maior especialização, com a coexistência entre grandes fazendas de monoculturas aproveitando ganhos de escala e fazendas familiares com dificuldades para acompanhar a evolução tecnológica. A diversidade de características e de interesses enfraqueceu o *lobby* agrícola, com grandes fazendeiros de soja e milho¹¹⁵ questionando a política de gestão de oferta que mantinha preços de referência e defendendo a liberalização comercial. (MAGNAN, 2016)

As corporações multinacionais de alimentos ameaçavam os paradigmas de regulação nacionais e de regras comerciais lideradas por Estados, pressionando por liberalização. Os países europeus tiveram problemas de destinação de excedentes por terem replicado o modelo estadunidense para proteção de seus setores agrícolas domésticos. (MAGNAN, 2016)

Essas contradições estavam latentes em 1972 quando a União Soviética entrou no mercado mundial. Após a II Guerra, a URSS havia se tornado autossuficiente em grãos graças

¹¹⁵ Milho e soja eram considerados os modos mais eficientes de produção de energia e proteínas, respectivamente, tendo grande aceitação para ração animal e na indústria de alimentos processados. (POLLAN, 2007)

à grande área dedicada à produção, apesar da baixa produtividade. Mas secas severas comprometeram safras e foi necessário importar para evitar uma crise alimentar. Dispostos a abrir exceção ao bloqueio comercial a países não-capitalistas¹¹⁶, os EUA negociaram um contrato de três anos de mais de US\$ 750 milhões (10 milhões de toneladas) de trigo e milho a preços subsidiados e com crédito. Mas os negociadores estadunidenses não perceberam que a safra mundial também havia reduzido no ano. Em julho de 1973, após a assinatura do acordo, os preços do trigo dispararam pela eliminação súbita do excedente de grãos que marcou o Segundo Regime Alimentar. O acordo entre estadunidenses e soviéticos acabou conhecido como o “*Great Grain Robbery*” devido às vantagens obtidas pelos soviéticos durante as negociações. Foi omitida a estratégia do regime soviético de expandir o setor de pecuária para melhorar a qualidade de vida da população pelo consumo de carne e de laticínios. De 1970 a 1990, a União Soviética tornou-se grande importadora não apenas de trigo e milho, mas também de soja para ração animal. (DONLEY, 2021; MAGNAN, 2016)

O Segundo Regime Alimentar foi desestruturado em 1973 com o grande acordo do trigo entre EUA e União Soviética e com a crise do petróleo poucos meses depois, resultantes de contradições internas que se tornaram insustentáveis. A crise alimentar repercutiu em volatilidade de preços e recessão mundial.

Os EUA abandonaram a política de ajuda alimentar e passaram a adotar práticas de vendas comerciais à medida que a competição entre exportadores se acirrava. Os países do Terceiro Mundo, dependentes do trigo barato e com redução da demanda por seus produtos tradicionais, sofreram fome, endividamento e instabilidade social. (MAGNAN, 2016)

A lei sobre agricultura de 1973 aboliu a política do “Celeiro da Normalidade Permanente”¹¹⁷ e substituiu o sistema do *New Deal* por um novo sistema de pagamentos feitos diretamente aos fazendeiros, através de subsídios. Com isso, houve estímulo à ampliação da escala e grandes fazendas se estabeleceram. Ao pagar diretamente aos fazendeiros, mesmo cobrindo a diferença de preços, o governo acabou com o piso de preços. Em vez de retirar grãos do mercado, havia estímulo para vender a qualquer preço. (POLLAN, 2007)

Com incentivos de governos para aumentar a produção, fazendeiros estadunidenses e canadenses responderam com investimentos alavancados. Mas os custos também se elevaram pela concentração corporativa do agronegócio, tanto de fornecedores (sementes, fertilizantes,

¹¹⁶ No movimento de aproximação entre EUA e China em 1972, a primeira encomenda dos chineses a Nixon foi a implantação de 13 fábricas de fertilizantes.

¹¹⁷ Programa para sustentar preços através de empréstimos para fazendeiros, compra de grãos pelo governo, retenção de estoque e descanso de lavouras em época de preços baixos.

pesticidas e maquinário agrícola) como de compradores (armazéns, moinhos, panificadores e processadores de alimentos). Quando os excedentes retornaram e os preços voltaram a cair no final dos anos 1970, fazendeiros endividados se viram em situação financeira crítica, algo que comprometeu suas rendas nas três décadas seguintes. (MAGNAN, 2016)

No Canadá, a aliança entre governos e fazendeiros foi abalada quando déficits fiscais levaram muitos governos neoliberais a reduzirem os gastos públicos com agricultura, em um contexto de menor poder político de fazendeiros. (MAGNAN, 2016)

A crise no setor alimentar e a prevalência do pensamento neoliberal reduziram a confiança na regulação governamental da agricultura. Políticas agrícolas passaram a ser questionadas, reformadas ou mesmo abandonadas. A progressiva industrialização da produção agrícola e do processamento de alimentos resultou em setores agroalimentares de abrangência nacional, e mesmo transnacional, dominados por firmas verticalmente integradas que exerciam poder de mercado e influência política. (MAGNAN, 2016)

Mesmo sem aparecer para o consumidor, o mercado era dominado por grandes armazéns que conduziam as cadeias produtivas de trigo, milho e soja: abasteciam agricultores com pesticidas e fertilizantes; operavam silos; intermediavam envios para exportação; realizavam a moagem; alimentavam animais e faziam abates¹¹⁸; fermentavam etanol; produziam adoçantes com xarope de milho, óleos, espessantes e demais subprodutos. (POLLAN, 2007)

Os grandes armazéns influenciavam a política agrícola e pressionavam pela redução dos preços mínimos. Com preços baixos, fazendeiros ampliavam a produção para manter a renda e pagar dívidas, provocando novas quedas de preços. A falta de alternativas deixava os fazendeiros presos na armadilha. Se algum falisse, a terra era apropriada por outro que se considerasse mais produtivo, sem que houvesse redução da área plantada. (POLLAN, 2007)

Revolução Verde

A Revolução Verde representa um processo de longo prazo de desenvolvimento de variedades modernas de sementes e de disseminação de novas práticas agrícolas em países em desenvolvimento iniciado na década de 1960 e liderado por organismos internacionais. A transformação ocorreu a partir de esforços acadêmicos e estatais de transferência de tecnologias liderados pelos EUA e com suporte do Banco Mundial. O pioneirismo na colaboração internacional em P&D envolveu a criação de dois centros internacionais de pesquisa agrônômica: o *International Rice Research Institute* (IRRI) nas Filipinas em 1960 e o

¹¹⁸ Quatro empresas gigantes do ramo de carne (Tyson, Cargill, Swift e National) abatem e processam 80% dos animais de corte nos EUA. (POLLAN, 2007)

International Maize and Wheat Improvement Center (CIMMYT) no México em 1966. Esses institutos desenvolveram variedades de trigo, de milho e de arroz mais responsivas a fertilizantes e de alto rendimento, com maior conversão de energia em grãos que em folhas. Essas variedades foram disseminadas na Ásia, África e América Latina em áreas irrigadas ou com regime de chuvas confiável. (ARNDT *et al*, 1977; EVENSON, 2003)

Os impactos na produtividade de safras em países em desenvolvimento foram consideráveis, apesar de desiguais. Em grande medida, o aproveitamento de cada país dependeu de sua capacidade de absorção, relacionada à existência de sistemas nacionais de pesquisa e de extensão. Aqueles países desprovidos de políticas estatais voltadas à agricultura e de universidades para treinar cientistas desperdiçaram a oportunidade de ampliar a produção de alimentos. Apesar de consumidores terem se beneficiado pela redução de preços, fazendeiros só obtinham vantagem se a redução de custos superasse a de preços, que apresentava tendência de queda. (EVENSON *et al.*, 2005; EVENSON e GOLLIN, 2003)

A Revolução Verde permitiu reduzir a dependência alimentar de países pobres com relação aos programas de ajuda estadunidense e, assim, evitar agitações sociais. A transformação também viabilizou a produção voltada à exportação.

A disseminação das práticas agroindustriais – com o uso de mecanização intensiva, insumos químicos (fertilizantes e agrotóxicos) e sementes híbridas – também teve como consequência a ampliação de mercado para grandes corporações sediadas em países desenvolvidos que dominavam os mercados de máquinas e de insumos agrícolas. A ampliação da produtividade de atividades voltadas à exportação em países periféricos ainda permitiu o barateamento de *commodities* agrícolas importadas por indústrias do centro.

Além disso, como esses pacotes tecnológicos foram criados em contextos diferentes das realidades de países pobres¹¹⁹, a rápida transformação das atividades agrícolas, sem o tempo necessário para adaptações às particularidades locais, resultou em outros problemas, como concentração fundiária, degradação do solo, poluição química, redução de aquíferos e salinidade de solo associadas à irrigação, redução de áreas preservadas, desemprego rural, desestruturação social e migração para grandes centros urbanos.

¹¹⁹ Nos EUA, o trabalho era escasso e caro, enquanto terras eram abundantes e baratas. No Japão, era o contrário. A habilidade de cada país desenvolver tecnologias adequadas a suas realidades, para conservação dos fatores de produção mais caros, é um fator chave. Ainda há outros aspectos a considerar, como distribuição de recursos entre a população, estrutura social, organização política, influência de grupos, política econômica, acesso a crédito, nível educacional, existência de órgãos de pesquisa locais, características do setor industrial, relações de mercado, fluxos de informação entre setores, infraestrutura de transportes e de comunicação, dentre outras. (ARNDT *et al*, 1977)

Com a aplicação de insumos agrícolas sintéticos, como fertilizantes, passou a ser possível expandir a fronteira agrícola, prioritariamente em áreas mecanizáveis. Essa expansão ocorreu inclusive com ocupação de terras públicas e invasões (grilagem). A estrutura fundiária e o poder político tornaram-se associados a interesses corporativos internacionais, como de armazéns que firmavam contratos com fazendeiros para fornecimento de crédito, de insumos e para garantir a entrega quando ocorresse a colheita.

Disputas no comércio internacional de grãos

A ajuda alimentar passou a ser enquadrada como *dumping*, sendo restrita a objetivos humanitários. A política de subsídios dos EUA e Europa para aumentar a participação no mercado foi criticada por outros países exportadores, como Canadá, Nova Zelândia, Austrália e Argentina. Esses países se alinharam no *Cairns Group*, que objetivava incorporar a agricultura nas negociações comerciais multilaterais do GATT. (MAGNAN, 2016)

Os conflitos de interesses se manifestaram na rodada do Uruguai das negociações do GATT, iniciada em 1986 e finalizada em 1994, quando a agricultura foi integrada à agenda de livre comércio com a criação de um novo mecanismo de imposição: a Organização Mundial do Comércio (OMC). O acordo que entrou em vigor em 1995 incluía disposições para redução de impostos de importação agrícola (regras mínimas de acesso a mercado) e de subsídios internos e à exportação. Entre as décadas de 1980 e 1990, políticas nacionais neoliberais e a liberalização do comércio sob a coordenação da OMC buscaram restabelecer condições de estabilidade sob princípios de “livre comércio”, base do Terceiro Regime Alimentar. (MAGNAN, 2016)

5ª Revolução Industrial: tecnologia de informação e comunicação

A quinta revolução tecnológica industrial ocorreu a partir dos anos 1980 com a difusão das tecnologias de telecomunicações e de informática que permitiram ampliar a geração, a transmissão e o processamento de informações. A indústria de informática ganhou nova dimensão devido à interação com o setor de telecomunicações. A possibilidade de ligar computadores em redes viabilizou a transmissão de dados em dois sentidos a múltiplos destinatários com grandes impactos em corporações e nas relações sociais. O acesso a informações, a maior capacidade de processamento e a possibilidade de transmissão de arquivos digitais afetou a coordenação entre firmas, impactando estruturas de mercado.

A estrutura descentralizada da *internet* e a extrapolção dos limites nacionais dificultaram controles e contribuíram para o enfraquecimento de governos, implicando em desregulação econômica. Algumas grandes organizações se valeram da abrangência mundial para exercer poder, especialmente as que dominavam redes de informação.

4.4.8 Globalização com grandes corporações: a partir de 1995

O colapso da URSS em 1991 marcou o fim da Guerra Fria e abriu uma nova frente de hegemonia estadunidense a nível global. Instituições internacionais como o FMI, Banco Mundial e OMC atuaram no sentido de disseminar o modelo capitalista baseado no neoliberalismo, com liberalização comercial, baixa regulação e reconfiguração do papel do Estado na economia. A redução de barreiras ao comércio internacional resultou em intensificação da globalização e da divisão internacional do trabalho segundo a inserção em cadeias globais de produção. Enquanto países centrais dedicavam-se a atividades mais sofisticadas e buscavam meios de apropriação associados a propriedade intelectual, países periféricos se concentravam na exploração de recursos naturais, como mineração, extração de petróleo e agricultura. Apesar das diferenças de renda, a exposição ao modo de vida estadunidense produzia efeito demonstração no consumo.

A estrutura do mercado mundial de trigo mudou radicalmente com o colapso da União Soviética. Desde a década de 1970, havia sinais de fragilidade do bloco soviético, que passou a ficar sujeito a fluxos de dinheiro, energia e grãos do ocidente. A monopolista agência de importação russa foi privatizada, assim como em países do leste europeu. Com a retirada dos subsídios à pecuária com grãos importados, a produção e o consumo de carne despencaram, assim como a importação de trigo. A produção de grãos caiu abruptamente na década de 1990 e o setor pecuário foi reduzido pela metade. (DONLEY, 2021; MAGNAN 2016)

Muitos países periféricos aproveitaram a Revolução Verde e se transformaram em potências agrícolas exportadoras de grãos, açúcar, frutos do mar, carne e outras *commodities*, como Brasil, Chile e Tailândia. Programas neoliberais de ajustes estruturais – por pressões do FMI e do Banco Mundial – e acordos de livre comércio como NAFTA e Mercosul recomendavam aumento das exportações e remoção de barreiras às importações. Nações latino-americanas acabaram com controles monopolistas de importação na virada da década de 1990. Como consequência, a proporção de trigo importado por agências estatais caiu de 91% em meados dos anos 1970 para 46% em 1996, totalizando apenas 29% em 2005. A reestruturação neoliberal moldou oportunidades e restrições, sendo desenvolvidas novas relações nas cadeias produtivas, definições de qualidade e demandas de consumidores. (MAGNAN, 2016)

Terceiro Regime Alimentar

Após mais de duas décadas de crise, houve reestruturação do setor de alimentos em um Terceiro Regime Alimentar a partir de 1995, ano em que o acordo sobre agricultura da OMC entrou em vigor. Os países signatários concordaram em reduzir os subsídios à exportação, cortar apoios à agricultura doméstica e facilitar o acesso à importação. Assim, o sistema da OMC

representa um retorno à regulação internacional da agricultura, mas sob os paradigmas neoliberais de eficiência de mercado e livre comércio. (MAGNAN, 2016)

O comércio de produtos agrícolas cresceu consideravelmente sob a OMC, passando de US\$ 325 bilhões em 1990 para US\$ 1 trilhão em 2010. Mas a liberalização do comércio foi desigual e suscitou conflitos, com acusações de que os EUA e a União Europeia não cumpriram suas promessas de retirada de subsídios agrícolas. Apesar da retórica de livre comércio, as relações de mercado foram construídas em função do poder de Estados e de grandes corporações interessadas em acessar grãos baratos. (MAGNAN, 2016)

Essas corporações alimentares expandiram suas redes de produção e de distribuição nas décadas 1990 e 2000, ampliando a integração global do setor e consolidando seu poder de mercado. As quatro maiores firmas – Cargill, ADM, Louis Dreyfus e Bunge – somam 75 a 90% do comércio internacional de grãos. Também houve concentração corporativa nos mercados de insumos agropecuários, como fertilizantes, agrotóxicos, sementes e remédios veterinários, além dos setores de processamento, produção e varejo de alimentos. (MAGNAN, 2016)

As modernas instalações de moagem e de panificação exigiam uniformidade de grãos. Além disso, compradores de grãos desenvolveram novas especificações de qualidade para atendimento ao mercado de pães *premium*. Com isso, relações nas cadeias produtivas se desenvolveram para compatibilizar variedades de trigo às estratégias de diferenciação de mercado da indústria alimentícia. (MAGNAN, 2016)

Uma tendência do Terceiro Regime Alimentar é a crescente influência de padrões privados e esquemas de certificação por corporações e organizações não-governamentais de forma a diferenciar produtos em termos de nutrição, proveniência, padrões de produção ou preocupações éticas. A qualidade definida por atores privados passou a ser o princípio organizador e a base competitiva no mercado globalizado. Esse movimento tem relação com o domínio de supermercados nas cadeias produtivas de alimentos. (MAGNAN, 2016)

Domínio de varejistas: supermercados

Com crise fiscal, inflação e recessão das décadas de 1970 e 1980, houve mudanças de políticas governamentais e de comportamento de consumidores visando redução do custo de vida. Interpretações permissivas da lei antitruste e desregulamentações possibilitaram a concentração do setor varejista, na expectativa de que grandes empresas pudessem exercer poder de compra sobre fornecedores e ofertar alimentos a preços mais baixos em tempos difíceis. Supermercados tinham como estratégia comercial vender pão barato para atrair consumidores e, por deterem a maior participação na venda de pães industrializados, usavam o poder de oligopsônio para desenvolverem novas formas de controle sobre fornecedores, desde

fazendas até indústrias de alimentos processados. (MAGNAN, 2016)

As cadeias de supermercados estadunidenses e europeias se expandiram internacionalmente a partir da década de 1990, impondo padrões privados a seus fornecedores e disseminando hábitos de compras e de consumo, contribuindo para a segmentação de mercados e para a ampliação de lucros. Houve uma bifurcação de padrões alimentares, com um ramo voltado à segurança alimentar, conforme padrões públicos para alimentos básicos, e outro voltado a consumidores de alta renda, com padrões privados mais rígidos. (MAGNAN, 2016)

Com novas tecnologias de informação para controle de estoques, supermercados impuseram aos fornecedores condições que transferiam riscos e custos de manutenção de depósitos. Além disso, supermercados criaram linhas de produtos e definiram padrões de qualidade ao vender mercadorias com marcas próprias encomendadas de fornecedores genéricos, tomando o lugar das grandes corporações de processamento alimentar como principais atores da cadeia produtiva. As grandes panificadoras enfrentavam um dilema: por um lado, elas se beneficiavam por fornecerem grandes volumes a supermercados; por outro lado, a venda de produtos genéricos contribuía para a redução de preços e de margens.

No mercado de pães embalados, as vendas de pães de supermercados superavam as de marcas próprias, por serem mais baratos. A redução dos lucros dos fornecedores resultou em reestruturação do mercado e as empresas que não se adaptaram ao novo contexto tiveram dificuldades, como foi o caso da panificadora Spiller, uma das três maiores do setor de panificação britânico, que faliu em 1978. No início dos anos 1990, o setor era dominado por duas empresas verticalmente integradas – a Allied Bakeries e a Ralk Hovis McDougall (RHM) – que sofriam com a guerra de preços dos grandes varejistas. (MAGNAN, 2016)

A indústria de panificação entrou em nova crise quando supermercados introduziram padarias em seus estabelecimentos, assim como ocorreu com açougues e *delicatessens*. Com as padarias de supermercado, houve segmentação de mercado: enquanto os pães embalados eram consumidos diariamente no café da manhã e em sanduíches, os pães de padaria eram comprados para ocasiões especiais e fins de semana. No início de 1990, a maioria dos supermercados tinha padarias próprias, que somavam 20% das vendas de pães no Reino Unido. A crescente popularidade das padarias de supermercados provocou queda de venda de pães embalados, principal produto das grandes empresas panificadoras. (MAGNAN, 2016)

O domínio de pães industrializados baratos foi afetado por um relatório do governo britânico de 1984 sobre os benefícios à saúde de uma dieta rica em fibras, levando ao aumento do consumo de pão marrom. Apesar de passageiro, esse movimento fez com que a indústria percebesse a oportunidade de oferecer alternativas ao pão branco fortificado e diversificar a

oferta. Em 1986, a Allied Bakeries introduziu o pão branco de grão macio que continha mais fibra. Com isso, passou a haver uma tendência de migração do paradigma de fortificação, baseado em níveis definidos pelo governo, para o de nutrição, pela adição de nutrientes específicos, como fibras e ômega 3. (MAGNAN, 2016)

Os supermercados criaram suas próprias cadeias produtivas cuidadosamente reguladas conforme altos padrões que seriam insustentáveis em negociações entre governos. Produtos de alta qualidade, que atendiam a preocupações nutricionais e ambientais de consumidores ricos, tornaram-se o segmento mais dinâmico do setor alimentar. Também se estabeleciam outras redes produtivas de alimentos baratos e padronizados destinados a consumidores pobres. Assim, o Terceiro Regime Alimentar caracteriza-se por convenções de qualidade divergentes que agravaram a desigualdade de padrões de consumo. (MAGNAN, 2016)

O mesmo ocorreu nos EUA, onde grandes varejistas como Walmart, Metro e Carrefour passaram a dominar a cadeia produtiva após a década de 1970, ligando contratados, subcontratados, fazendeiros, fábricas e lojas. Se antes eram os produtores industriais que ofereciam produtos para consumidores, a partir de então os produtos passaram a ser requisitados por varejistas, o que os permitia escolher fornecedores, prestadores de serviço e trabalhadores de forma a garantir alto giro e baixos custos. A reemergência do domínio de mercadores se estabeleceu principalmente após a década de 1990, quando varejistas e donos de marcas se tornaram os atores mais importantes nas cadeias. (BECKERT, 2014)

Essa situação dependia de alianças com Estados, mas a dependência a Estados específicos diminuiu. Assim, esses novos tipos de mercadores induziram competição não apenas entre produtores, mas também entre Estados. Com a redução da proteção de Estados, trabalhadores ficaram à mercê de grandes corporações. (BECKERT, 2014)

Segmentação do consumo

Discursos neoliberais defendendo o livre mercado e a perda de confiança na regulação pública contribuíram para um novo regime regulatório. O *Food Safety Act* de 1990 no Reino Unido estabeleceu novos princípios regulatórios de forma a não sobrecarregar agentes privados e a favorecer a busca pela eficiência no mercado. A maior parte da responsabilidade pela segurança alimentar passou a ser exercida pelos varejistas de alimentos. Com essa regulação privada, as empresas davam mais atenção à diferenciação de produtos com base em seus próprios critérios de qualidade, saúde e segurança alimentar. (MAGNAN, 2016)

No setor de panificação, a mudança levou ao crescimento das vendas de linhas de pães *premium*, orgânicos e supostamente saudáveis. Comercializados com propagandas que valorizavam as qualidades alegadamente superiores de sabor, textura, expansibilidade e

“tostabilidade”, os pães brancos *premium* aumentaram as vendas em 45% entre 1994 e 1996. As grandes marcas nacionais dominavam esse segmento, com as de supermercado detendo apenas 10% das vendas. Com relação ao total das vendas de pães embalados, a tendência de valorização da qualidade por parte de consumidores fez com que a participação de marcas de supermercados caísse de 60% em 1996 para 36% em 2004. (MAGNAN, 2016)

Uma empresa panificadora britânica, a Warburtons, destacou-se nesse mercado de pão *premium* através do investimento em *marketing*, em novas tecnologias e fábricas. Ciente da incapacidade de competir com as maiores panificadoras em termos de custos, a Warburtons se diferenciava por se negar a produzir pães para supermercados colocarem suas próprias marcas e pelos arranjos especiais com fornecedores com ênfase na qualidade. Com essas estratégias, a empresa experimentou altas taxas de crescimento, obtendo reconhecimento de marca¹²⁰ e ampliação de fatia do mercado, chegando à liderança do setor em 2004. (MAGNAN, 2016)

As novas tecnologias de panificação exigiam estrito controle da qualidade e consistência da farinha, o que implicou em programas de pesquisa para especificar misturas de variedades de trigo canadense e britânico mais apropriadas ao processo produtivo e às qualidades desejadas do pão. Ao adotar um programa de preservação da identidade do trigo, a Warburtons estabeleceu uma estreita relação com o *Canadian Wheat Board*. Afinal, o sistema canadense de controle e segregação de variedades de trigo por classe de acordo com a aplicação (pão, macarrão, ração) encaixava-se nas exigências da empresa. (MAGNAN, 2016)

Nos EUA, houve uma mudança súbita no consumo devido à ausência de uma base cultural alimentar sólida. Em 2002, um artigo do Dr. Robert C. Atkins intitulado “E se a gordura não nos deixasse mais gordos?” foi publicado no New York Times e teve grande popularidade. Como o artigo defendia que o vilão alimentar para a saúde era o carboidrato, desde então pães e massas sumiram do cardápio daqueles que adotavam a dieta Atkins. (POLLAN, 2007)

Adaptação canadense

O Canadá se adaptou ao regime alimentar corporativo através da assinatura de tratados de livre comércio: acordo bilateral com os EUA em 1988; o NAFTA (*North American Free Trade Agreement*); e a OMC em 1995. O sistema de centralização da comercialização do trigo do *Canadian Wheat Board* foi forçado a lidar com muitos compradores privados, mais preocupados com a qualidade que os agentes estatais. (MAGNAN, 2016)

A Warburtons tornou-se um dos principais clientes do *Canadian Wheat Board*,

¹²⁰ Em 2007, foi a segunda marca de alimento mais reconhecida na Inglaterra, atrás apenas da Coca-Cola.

chegando a representar metade das importações britânicas do trigo canadense. Após 1995, o *Canadian Wheat Board* lançou novas iniciativas de programas de preservação de identidade com o objetivo de testar novas classes e variedades de trigo. Mas a Warburtons não destacava a origem canadense do trigo a seus consumidores, já que sua estratégia comercial enfatizava as raízes familiares e regionais (britânica) de seus ingredientes. A empresa desenvolveu um programa similar de preservação de identidade com fazendeiros britânicos em 1998, através de uma cooperativa. Essas iniciativas estão na origem de práticas de certificação de origem e de rastreamento de produtos agrícolas que deixavam de ser *commodities*, restabelecendo vínculos entre fazendeiros e consumidores finais, mesmo que de forma indireta. (MAGNAN, 2016)

Os contratos da Warburtons estipulavam práticas agrícolas a fazendeiros que conferiam à empresa panificadora maior controle. Para garantir a qualidade e consistência da safra, a empresa exigia a adoção de sementes certificadas e uso de insumos licenciados, impondo dependência e maior custo aos fazendeiros. (MAGNAN, 2016)

Em um processo de diferenciação de qualidade, diferentes características passaram a ser valorizadas por campanhas publicitárias de panificadoras e supermercados, em um contexto de declínio do volume de vendas e maior volatilidade de preços do trigo. (MAGNAN, 2016)

A partir da década de 1990, a classe de fazendeiros canadense havia se diferenciado por tamanho, grau tecnológico e tipo de cultura agrícola, divergindo sobre o papel regulatório do governo. O ponto central do debate era a forma como os fazendeiros participariam no mercado mundial, como agentes individuais ou coletivamente, através do monopólio de comercialização do *single-desk* do *Canadian Wheat Board*. (MAGNAN, 2016)

Quando os liberais assumiram o governo canadense no fim dos anos 1990, foram promovidas reformas no Conselho para permitir maior controle de fazendeiros e flexibilização na comercialização. Também havia pressões internacionais, principalmente por parte dos EUA na OMC e NAFTA, pois corporações de grãos transnacionais e grupos de fazendeiros locais exigiam regras que proibissem a atuação do Conselho canadense. Depois de tentativas frustradas de governos liberais após 2006, o sistema *single-desk* acabou em agosto de 2012. O Conselho deixou o posto de maior negociador mundial de trigo para tornar-se uma companhia de comercialização de adesão voluntária. Em 2015, o Conselho passou a integrar a G3 Global Grain Group – uma *joint venture* com a Bunge Canadá e a Saudi Agricultural and Livestock Investment Company – e perdeu relevância entre os principais armazéns. (MAGNAN, 2016)

Herbicidas e transgênicos

Uma das principais características do Terceiro Regime Alimentar é a introdução de novas tecnologias agrícolas como químicos e sementes geneticamente modificadas por grandes

corporações que suscitaram diferentes respostas regulatórias de países exportadores e importadores. Enquanto os EUA foram mais permissíveis, a União Europeia e o Japão restringiram a modificação genética. Apesar dos esforços da OMC para harmonizar a regulação e os direitos de propriedade intelectual, houve conflitos sobre o comércio de produtos agrícolas e de alimentos derivados de safras geneticamente modificadas. (MAGNAN, 2016)

Grandes corporações, como a Monsanto, dominaram o mercado de sementes e químicos agrícolas, mas enfrentaram resistência de fazendeiros e consumidores. O herbicida sistêmico de amplo espectro Roundup Ready, introduzido em 1974, facilitava a agricultura em larga escala por dispensar o controle adicional de plantas competidoras. Seu uso disseminou-se em várias culturas a partir de meados dos anos 1990, quando a Monsanto passou a introduzir sementes geneticamente modificadas de plantas resistentes ao glifosato, como soja, milho e canola, apesar de essas sementes serem mais caras. (MAGNAN, 2016)

Também houve modificações genéticas orientadas a maior resistência a doenças e a ataque de insetos. A utilização de sementes geneticamente modificadas permitiu redução de custos que se refletiu nos preços de *commodities* agrícolas, mas exigiu adequação dos ambientes regulatórios de biotecnologia, dado o princípio de precaução, especialmente no que se refere a segurança alimentar e impactos ambientais. (EVENSON *et al.*, 2005)

Quando o trigo geneticamente modificado foi introduzido, o *Canadian Wheat Board* tomou a frente na oposição por sua preocupação em manter a reputação de qualidade do trigo canadense, especialmente diante dos cautelosos mercados britânico e japonês. Pela dificuldade de separar o trigo convencional do geneticamente modificado, era inviável garantir que carregamentos fossem livres de modificação genética a não ser que seu uso fosse vedado no país. Indústrias alimentares que atuavam em mercados *premium* – como Warburtons, Danone e Unilever – rejeitaram o trigo geneticamente modificado pela preocupação de consumidores por questões de saúde e ambientais. (MAGNAN, 2016)

Impactos e reações em outros países

Desde o princípio, esse regime alimentar suscitou contradições e desigualdades que se manifestaram em disputas locais entre agentes e mesmo em negociações na OMC. Países periféricos resistiram à liberalização do comércio agrícola tendo em vista a dificuldade dos EUA e da União Europeia em cumprirem os compromissos de redução de subsídios. Problemas como volatilidade de preços de alimentos, fome persistente, crises de fazendas, ameaças à segurança alimentar e danos ambientais causados pela agricultura industrial evidenciam a natureza conflituosa desse regime alimentar corporativo. Disputas também envolveram definições dos padrões de qualidade entre fazendeiros, processadores, industriais e varejistas.

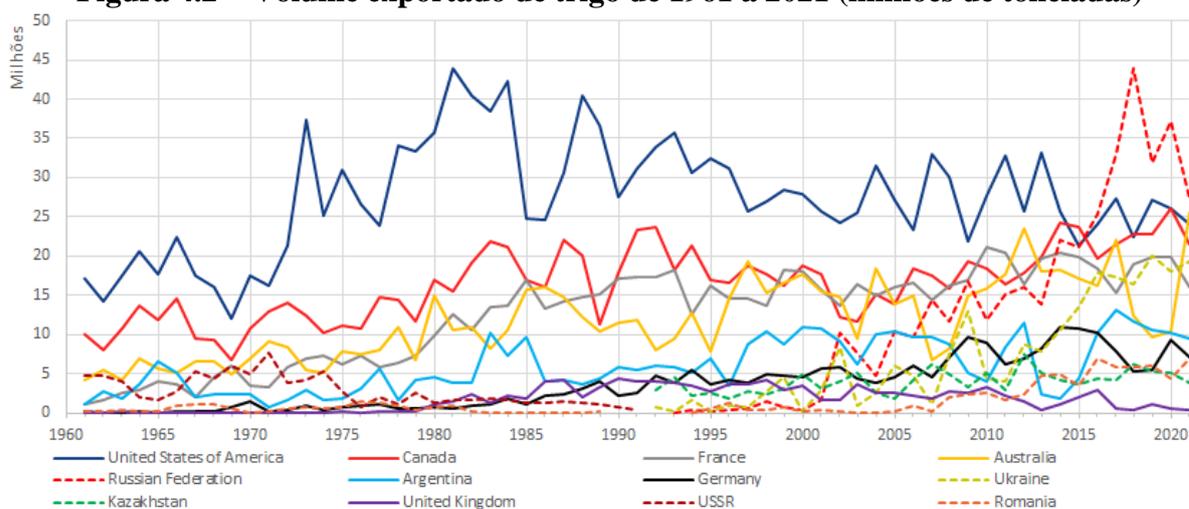
Além disso, a adoção de sementes transgênicas associadas a agrotóxicos e alta mecanização em grandes propriedades com monoculturas sofreram resistência por ameaçar a biodiversidade e ampliar a dependência de fazendeiros. (MAGNAN, 2016)

Governos nacionais foram facilitadores do processo de globalização neoliberal ao implementar mudanças políticas e regulatórias que resultaram na maior relevância de atores privados. Com a liberalização do comércio coordenada pela OMC, o agronegócio ampliou o acesso a terra, trabalho e mercados no Sul Global. Fundos soberanos, investidores privados e corporações de alimentos adquiriram vastas áreas de terras desapropriadas, muitas através de grilagem, para a produção de alimentos, fibras ou biocombustíveis para mercados mundiais às custas de ecologias e sociedades locais. Governos de países como EUA, Canadá, Argentina e Brasil aprovaram novas variedades transgênicas de soja, milho e canola, reconheceram patentes e promoveram a liberalização do comércio agrícola. Nas negociações de tratados internacionais, atores mais poderosos, como EUA e União Europeia, impunham liberalização, mesmo mantendo práticas comerciais distorcivas, como subsídios e protecionismo. (MAGNAN, 2016)

Após uma difícil década de transição para uma economia orientada ao mercado, a Rússia voltou a se destacar na produção e exportação de grãos. O processo envolveu privatizações de terras, operações agrícolas em larga escala, investimentos em infraestrutura portuária (com destaque para o porto de Novorossyisk no Mar Negro) e corporações agropecuárias. O principal objetivo da política agrícola russa era reviver o setor de pecuária e tornar o país autossuficiente na agricultura. A produção anual de trigo dobrou entre 2000 e 2010, de 30 para 60 milhões de toneladas, alcançando 85 milhões em 2020. A Rússia tornou-se um dos principais produtores mundiais e o maior exportador de trigo até a eclosão da guerra com a Ucrânia¹²¹, tendo a Ásia, o Oriente Médio e a África como principais destinos. (DONLEY, 2021)

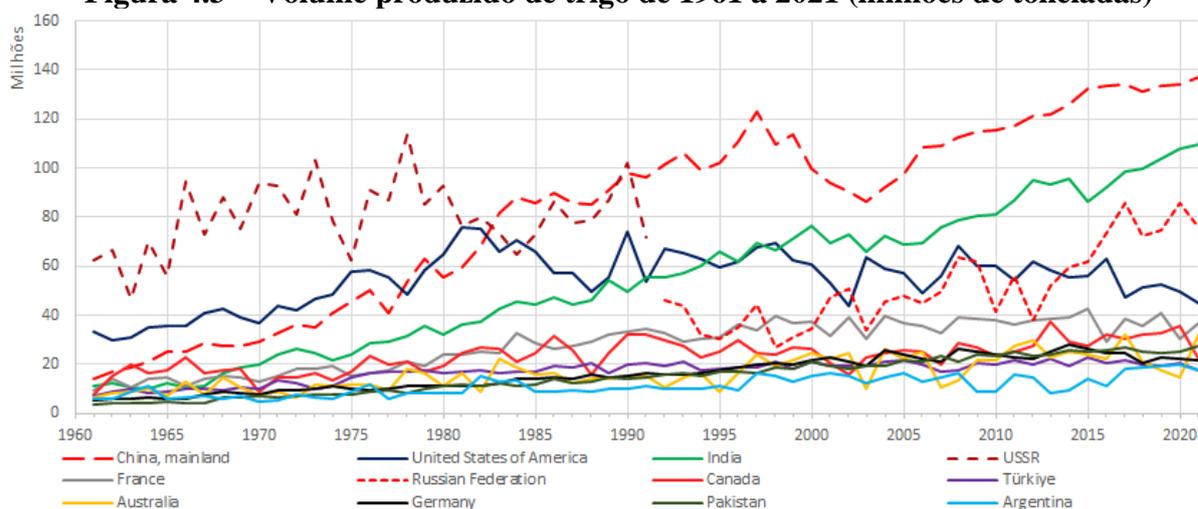
A Figura 4.2 apresenta a evolução dos volumes exportados de trigo por países desde 1961. Além de evidenciar a relevância dos EUA e do Canadá ao longo de todo o período, destacam-se os países europeus com políticas de proteção à agricultura, a Austrália, a Argentina e, a partir da década de 1990, os países do antigo bloco socialista: Rússia, Ucrânia, Cazaquistão e Romênia (linhas pontilhadas no gráfico).

¹²¹ Em 2018, a Rússia alcançou o volume recorde de exportação de trigo: 44 milhões de toneladas. Esse volume representa quase o dobro exportado pelo Canadá e pelos EUA, segundo e terceiro colocados, com pouco menos de 23 milhões de toneladas cada um. Nos anos seguintes, o volume exportado russo ficou próximo a 35 milhões de toneladas, tendo reduzido para 27 milhões em 2021. (dados da FAOSTATS: Crops and livestock products. Disponível em: < <https://www.fao.org/faostat/en/#data/TCL/visualize>>).

Figura 4.2 – Volume exportado de trigo de 1961 a 2021 (milhões de toneladas)

Fonte: elaboração própria com dados da FAOSTATS – Exports – Crops and livestock products.

Já a Figura 4.3 apresenta a produção de trigo desde 1961.

Figura 4.3 – Volume produzido de trigo de 1961 a 2021 (milhões de toneladas)

Fonte: elaboração própria com dados da FAOSTATS – Production – Crops and livestock products.

Ao comparar os gráficos de volumes exportado e produzido, é possível observar:

- Alguns países destinam a maior parte de sua produção à exportação: EUA (média de 50%), Canadá (70%), Austrália (72%) e Argentina (54%);
- Outros têm considerável consumo interno, mesmo mantendo altos percentuais de exportação: Rússia (25%), França (45%), Alemanha (23%) e Ucrânia (36%);
- China e Índia, os países mais populosos, são os maiores produtores de trigo atualmente, com grande crescimento desde 1960. Mas eles têm pequena participação no mercado internacional como exportador, consumindo internamente quase toda a produção: a China exporta apenas uma média de 0,2% do trigo produzido e a Índia, 1,3%.

A atuação chinesa no comércio global, especialmente após sua entrada na OMC em

2001, repercutiu nos preços, gerando quebra estrutural dos termos de troca e nas relações comerciais com países. A busca da China por fornecedores de *commodities* produziu um efeito persistente de elevação de preços que favoreceu os países exportadores. Já a inundação de produtos chineses resultou em redução de preços de bens manufaturados e trouxe desafios para o setor industrial de muitas nações. (MEDEIROS e CINTRA, 2015)

Em 2008 e em 2011, houve picos de preços das principais *commodities* alimentares – milho, arroz e trigo – que causou revoltas por alimentos em países pobres. As razões da nova crise alimentar são diversas, incluindo aumento da demanda por alimentos, maiores preços do petróleo que induzem maior produção de biocombustíveis, baixos estoques de alimentos, especulação no mercado de *commodities* e alta volatilidade de preços. (MAGNAN, 2016)

Globalização questionada

Assim como ocorreu em outros momentos da história, as ligações comerciais foram canais de propagação de doença. Os *hubs* do transporte, como portos e aeroportos, não apenas favorecem relações comerciais, mas permitem contágios entre pessoas de diferentes regiões, levando à rápida disseminação por todo o planeta.

A pandemia de Covid-19 desestruturou a rede de transportes marítima, especialmente de contêineres, que se acumularam em portos de regiões que paralisaram suas atividades. Houve rupturas em cadeias globais por problemas de logística que têm colocado em dúvida a lógica de segmentação produtiva exagerada. Afinal, a manutenção dos fluxos exige o funcionamento regular das ligações entre fornecedores e produtores nas diversas atividades e com consumidores finais. Em caso de estrangulamento das conexões ou de paralisação de alguma atividade intermediária, o fluxo é interrompido a não ser que haja grande estoque de componentes em armazéns, o que é caro e pouco eficiente.

A distribuição assimétrica dos ganhos da divisão interacional do trabalho e o desarranjo das rotas comerciais têm produzido desconfiança da globalização, acirramento de sentimentos nacionalistas e reestruturação de cadeias produtivas que possibilitem maior segurança (como fornecimento local e redundância de fontes) e não apenas máxima eficiência pela exploração das melhores oportunidades. Talvez esteja em curso nova transição de ordem mundial devido aos efeitos combinados da expansão chinesa, pandemia e Guerra entre Rússia e Ucrânia, que impediu exportações desses países e resultou em embargos afetando principalmente o comércio de trigo, de fertilizantes e de petróleo.

4.5 Conclusões

Este levantamento histórico buscou avaliar os processos e as estruturas de mercado do trigo ao longo do tempo para tentar explicar os resultados do capítulo empírico.

Após meados do século XVIII, os preços do trigo sinalizaram transição da economia para sistema complexo, sendo observadas correlação temporal entre as variações de preços e distribuição que comportava tanto muitas pequenas como algumas atípicas, muitas vezes agrupadas, caracterizando intermitência.

O longo processo de transição da economia para sistema complexo, tendo em vista o mercado de trigo, contou com uma sequência de eventos (ver Apêndice III):

- Comércio de longa distância e acumulação;
- Configuração de mercados nacionais por esforços de Estados (fim de barreiras internas; mercadorias fictícias);
- Revolução Industrial e maior demanda por alimentos (urbanização, assalariados, aumento da renda, crescimento populacional, insumos para indústrias alimentares);
- Produção agrícola para exportação na Rússia e nos EUA;
- Peste da batata, fome e revogação das restrições comerciais, como as *Corn Laws*;
- Divergência evolutiva nos EUA: algodão no sul (*plantations* com escravidão) e grãos (milho e trigo) no norte (fazendas familiares);
- Desenvolvimento de ferrovias e do telégrafo;
- Poder econômico e político de mercadores e industriais nos EUA;
- Guerra de Secessão e soluções para suprir exércitos;
- Bolsa de mercado futuro:
 - Padronização, com inspeção de qualidade atestada por terceiros;
 - Árbitro terceirizado;
 - Referência global de preços, permitindo reações sincronizadas;
- Integração da rede ferroviária estadunidense;
- Navios e portos oceânicos;
- Disseminação do mercado futuro de *commodities*: entrelaçamento de mercados através de títulos financeiros; elevação das transações sem trocas físicas; proteção x especulação; grandes agentes (ricos e gestores de fundos); movimentos de manada; crises sistêmicas;
- Tecnologias que permitiam rendimentos crescentes, concentração e reestruturação da rede (crescimento e conexão preferencial).

A partir de então, a rede de mercado integrou-se globalmente e passou a apresentar estrutura fractal, com dinâmicas nas variadas escalas e efeito de memória. Novidades e reações conduziam a evolução da estrutura de mercado. Se havia domínio de cadeias produtivas e coordenação descentralizada por *hubs*, contextos locais moldavam agrupamentos, como observado nos contrastes entre as trajetórias de EUA, Rússia e Canadá.

Além da transição da economia para sistema complexo, o estudo empírico sugeriu alternância entre ordens econômicas no capitalismo moderno. Buscou-se descrever processos associados às frequentes mudanças, com destaque para os aspectos tecnológicos, institucionais e geopolíticos e as respostas que produzem dinâmica endógena.

Diversos eventos resultaram em impactos de variadas magnitudes e persistências. Além das mudanças associadas a transportes e comunicações, outras inovações de processos e de produtos – como fertilizantes, pesticidas, *elevator*, *roller mill*, aditivos químicos em farinhas, máquinas de amassar, alimentos industrializados, embalagens, comercialização no varejo, novas formas de consumir – geraram perturbações no mercado de trigo que se propagam por cadeias de *feedbacks*. Houve transformações qualitativas e alternância de atores dominantes: ferrovias, armazéns, indústrias (moinhos e padarias) e supermercados, além de Estados.

Alguns períodos, caracterizados como ordens econômicas, apresentam momentos de relativa previsibilidade, com muitas pequenas variações de preços com leve tendência de reforço no curto prazo, mas com súbitas reversões de tempos em tempos, quando crises sistêmicas concentram variações atípicas de preços e induzem ajustes na organização do sistema, mas sem a necessidade de ruptura institucional. Durante ordens econômicas, regras compartilhadas e alinhamentos de expectativas favorecem difusão de práticas e de tecnologias. Mas a diversidade de condições locais produz soluções alternativas e conflitos latentes disparam momentos de criticalidade, quando processos cumulativos culminam em eventos acomodativos, como avalanches. No longo prazo, ordens econômicas incluem eventos críticos, quando ajustes bruscos de expectativas revertem tendências de variações de preços.

Mas, alguns eventos extremos – como guerras que alteram o balanço de poder ou quebra de padrões – produzem ruptura institucional e de conexões da rede mercado, exigindo mais tempo para a consolidação de novas regras relacionais adaptadas ao novo contexto sócio-político-econômico. Nesses períodos de transições entre ordens econômicas, perdem-se referências de longo prazo associadas a reversões de tendências na variação de preços.

A teoria de Regimes Alimentares é compatível com a abordagem de sistemas complexos, como se percebe no destaque para o caráter sistêmico concomitante com condições locais específicas. Segundo Magnan (2016, p. 160), “enquanto a dinâmica do regime alimentar

moldas as possibilidades e restrições enfrentadas por diferentes atores sociais, é importante considerar a influência de contextos nacionais, história institucional, e particularidades do setor agroalimentar em questão”. Além disso, os regimes alimentares alternados por crises têm estreita relação com a sucessão das eras tecnológicas industriais.

O trigo como base alimentar mesmo com as sucessivas transformações representa o paradoxo de persistência e novidades concomitantes, típico de sistemas complexos. Afinal, a principal característica do capitalismo é o crescimento com adaptação. Crises em uma parte geram respostas em todos os lugares. O “capitalismo tanto demanda como cria um estado de permanente revolução” (BECKERT, 2014, p. 544).

5 ESTRUTURAS DO MERCADO DO TRIGO AO LONGO DA HISTÓRIA

O estudo empírico evidenciou transição no mercado do trigo, com preços passando a apresentar assinaturas de sistemas complexos a partir da segunda metade do séc. XIX¹²². Já o estudo histórico permitiu associar essa transição à ampliação da escala de comercialização do trigo em âmbito mundial, à produção em monoculturas voltadas à exportação, à remoção de barreiras ao comércio internacional, ao desenvolvimento de meios de transportes (ferrovias, navios e portos oceânicos) e de comunicação (telégrafo), à negociação de grandes volumes padronizados em bolsas de *commodities*, que forneciam referência de preços, à produção e à comercialização de alimentos industrializados e às mudanças de hábitos alimentares.

Quando barreiras à comercialização internacional do trigo foram removidas (como as *Corn Laws*), houve salto na oferta e redução de preços que permitiram ampliação da demanda. O trigo se tornou a base alimentar da classe trabalhadora no contexto da Revolução Industrial.

A relação circular entre comercialização de grãos e tamanho populacional produziu mudanças estruturais na economia. Com a progressiva ampliação da escala, houve o estabelecimento de novas conexões na cadeia produtiva, que adquiriu aspecto de rede integrada de abrangência global. Mudanças em um ponto da rede passaram a ter o potencial de se propagar por todo o sistema através de encadeamento de reações.

A possibilidade de explorar rendimentos crescentes e de exercer poder de mercado permitiu que, ao longo da história, agentes em determinados setores do mercado de trigo¹²³ dominassem pontos estratégicos da cadeia produtiva para absorver a maior parte dos ganhos advindos da divisão de trabalho. Com acumulação de lucros extraordinários e amplo acesso a crédito, tais agentes investiam em crescimento e em inovações e criavam barreiras à concorrência. Esses agentes, apoiados em Estados e no sistema financeiro, tornaram-se *hubs* na rede econômica, induzindo comportamentos de outros agentes que levaram ao estabelecimento de ordens econômicas e de trajetórias de desenvolvimento com tendências de difusão de tecnologias, de padrões e de regras relacionais que se consolidavam em instituições.

¹²² Desde então, as variações de preços passaram a ter distribuição leptocúrtica, com maior frequência de pequenas variações, mas também maior probabilidade de eventos extremos. Passou a haver intermitência, com períodos com preços bem-comportados alternados com concentração de grandes variações de preços em épocas de crises sistêmicas. A distribuição do espectro de Fourier em lei de potência, com maior peso de oscilações de baixas frequências, indica tanto a maior relevância de ciclos de longo prazo – que implicam em memória e correlação temporal – quanto a contribuição de todas as frequências, resultando em série temporal com dimensão fractal (dinâmicas em muitas escalas temporais). Os expoentes de Hurst revelaram multifractalidade, com correlação temporal positiva no curto prazo e negativa no longo prazo. Ou seja, em vez de variações de preços aleatórias, havia persistência de memória.

¹²³ Sucessivamente: empresas ferroviárias, armazéns, moinhos, indústrias de alimentos processados, supermercados.

Durante ordens econômicas, expectativas alinhadas viabilizavam correlação de comportamentos de agentes (sincronização) em processos de auto-organização. Mas limites da organização econômica e conflitos latentes acabavam por se manifestar, produzindo crises sistêmicas caracterizadas por grande volatilidade de preços. Nesses momentos de criticalidade, ocorriam reestruturações do sistema devido a processos de auto-organização. Apesar de representarem oportunidades para novas atividades e atores, os *hubs* estabelecidos geralmente eram capazes de se adaptar, consolidando suas posições através de fusões e aquisições de empresas em dificuldades financeiras. Mas, eventualmente, ordens eram abaladas por eventos de grande magnitude, que desorganizavam o sistema e exigiam reconfiguração de instituições.

Para avaliar a transição da economia para sistema complexo e para ajudar a compreender os comportamentos de preços observados no estudo empírico, este capítulo busca esquematizar a evolução da estrutura do mercado do trigo, associando as dimensões espacial e temporal e destacando diferentes escalas, ou níveis de agregação: local, regional, nacional e mundial.

Como a evolução econômica ocorre através de processos recursivos sujeitos a perturbações, observam-se os efeitos cumulativos da riqueza e da estrutura de rede que favorecem elementos (empresas, cidades, países) bem conectados, que se tornam *hubs* do sistema econômico e que passam a exercer coordenação descentralizada no sistema.

Também foram feitas tentativas de esquematizar a evolução de cadeias produtivas, que se tornaram redes produtivas à medida que surgiam novas atividades e quando as conexões passaram a superar limites nacionais. Como resultado do crescimento com conexão preferencial, emergiu uma estrutura de mercado fractal com rede sem escala de abrangência global. O mercado do trigo passou a compor o emaranhado de redes com diversos setores inter-relacionados, sujeito a perturbações de toda sorte e que por vezes enfrenta crises sistêmicas.

Os esquemas na dimensão espacial e de cadeias produtivas apresentados a seguir buscam representar a evolução e a emergência da estrutura fractal e sem escala do mercado do trigo, com a predominância de alguns elementos e grupos (*hubs*) na dinâmica do sistema com base nas informações históricas, como fatos estilizados, sem a pretensão de serem exatos. Diferentes tamanhos de formas geométricas ilustram a distribuição de poder e de fluxos na rede.

A depender da estrutura organizacional do mercado e das alternativas comportamentais dos agentes em cada época, as perturbações são absorvidas ou se propagam em cadeias de eventos. Os preços, por acoplarem a oferta e a demanda, refletem os efeitos dos distúrbios de toda sorte e sinalizam necessidades de reações de agentes, influenciando comportamentos e afetando desenvolvimentos futuros.

Buscou-se relacionar o comportamento dos preços às estruturas de mercado, com

destaque para as estruturas de transportes e de comunicações e as barreiras comerciais existentes em 5 períodos distintos: 1) Idade Média; 2) Idade Moderna; 3) Ordem Britânica; 4) Ordem Estadunidense; e 5) Ordem Corporativa. No período contemporâneo, os esquemas de estruturas de mercado limitam-se aos períodos de relativa estabilidade¹²⁴, como durante os Regimes Alimentares discutidos no estudo histórico. Esses períodos de ordem são separados por outros com grande imprevisibilidade e mudanças estruturais.

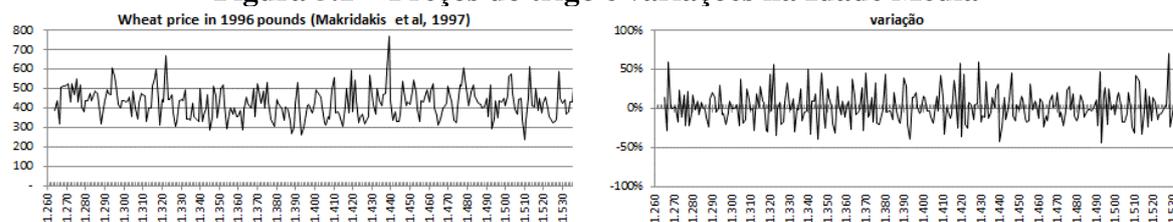
5.1 Mercado do trigo nas Idades Média e Moderna

Esta seção traz os preços do trigo e esquemas de estrutura de mercado em épocas com severas restrições ao transporte de mercadorias pesadas, volumosas, perecíveis e de baixo valor, como o trigo. Por isso, a comercialização era limitada às regiões vizinhas, especialmente entre cidades e meios rurais circundantes, havendo alguma conexão inter-regional em épocas de carestia. A fragmentação de mercados se refletia no comportamento de preços, com variações aproximadamente aleatórias.

5.1.1 Idade Média (até séc. XV)

Os dois gráficos da Figura 5.1 trazem os preços do trigo na Inglaterra e sua variação percentual nos primeiros anos da série de Makridakis et al. (1997). Observa-se que, durante a Idade Média¹²⁵, os preços oscilavam bastante em torno de um valor¹²⁶, com altas variações, que chegavam a 50% de um ano para o outro. Os preços se comportavam como ruído branco, com distribuição aproximadamente normal.

Figura 5.1 – Preços do trigo e variações na Idade Média



Fonte: Makridakis et al (1997).

Esse comportamento se devia à baixa conectividade entre os elementos do sistema e à estagnação demográfica e de renda. Com precárias estruturas de transportes, o comércio ocorria

¹²⁴ Relativa estabilidade de regras e de expectativas quanto ao futuro, o que não implica em equilíbrio. Pelo contrário, as ordens favorecem o alinhamento e a configuração de tendências de mudanças, com progressiva disseminação de inovações e aprofundamento de redes.

¹²⁵ Desde a queda do Império Romano do Ocidente até conquista de Constantinopla pelo Império Otomano (1453).

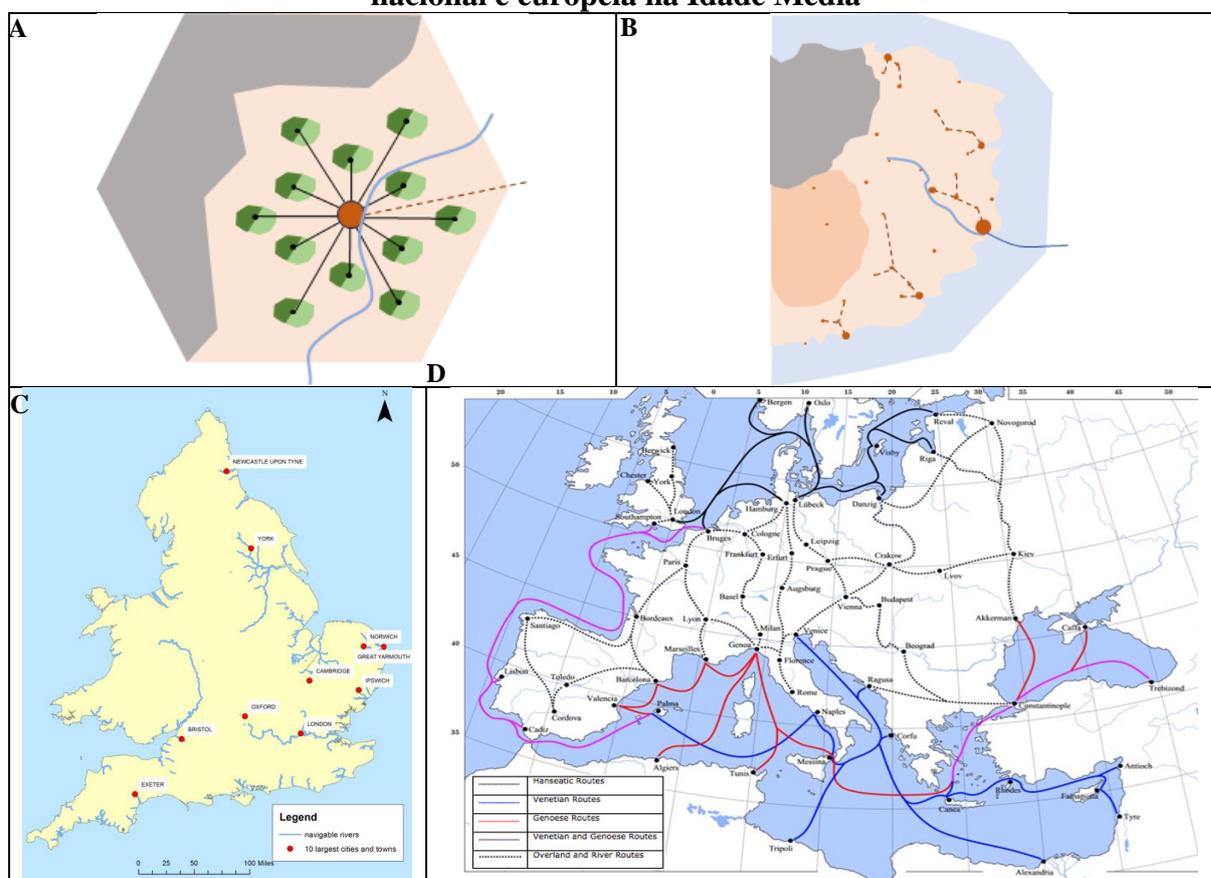
¹²⁶ Preço médio de 424 libras por tonelada entre 1264 e 1535.

majoritariamente a nível local, sujeito a perturbações diversas e com reduzida influência externa. Se o comércio floresceu com os romanos, a queda do Império e a disseminação de epidemias pelas vias comerciais, como ocorreu com a peste negra entre 1343 e 1353, resultaram em isolamento.

Na Idade Média, os camponeses não tinham alternativas, a não ser executar as atividades designadas pelo senhor feudal. Como grande parte das atividades era orientada para a subsistência, transações no mercado não eram determinantes. Mas havia imposição de cultivo de trigo para pagamento de tributos. Afinal, o trigo era uma das poucas culturas cuja produção podia ser comercializada. Como os grãos tinham de ser encaminhados ao moinho do senhor para controle da tributação, mesmo o consumo próprio implicava em dependência.

A Figura 5.2 traz esquemas do mercado do trigo em diferentes escalas: local (A), regional (B), nacional (C) e europeia (D). O objetivo dos esquemas é apresentar as características do mercado do trigo em cada nível e permitir acompanhar a evolução até a emergência de propriedades de sistemas complexos.

Figura 5.2 – Esquemas da estrutura de mercado nas escalas local, regional, nacional e europeia na Idade Média



Fontes: **A (cidade) e B (região)** – elaboração própria.

C (país) – rios navegáveis em 1600 na Inglaterra e Gales. Disponível em: <<https://www.campop.geog.cam.ac.uk/research/projects/transport/onlineatlas/waterways.pdf>>.

D (Europa) – rotas comerciais da baixa Idade Média. Disponível em: <<https://www.worldhistory.org/image/9759/late-medieval-land-maritime-trade-routes/>>.

Como mostra o esquema local (A), a produção de trigo ocorria em campos do senhor e em campos servis ou comunais, em grande parte para subsistência de camponeses e para consumo próprio de senhores e agregados. Eventuais excedentes produtivos – de camponeses e, principalmente, parte da produção retida pelos senhores – eram encaminhados à cidade mais próxima para serem vendidos. No caso dos camponeses, eles mesmos tinham de desempenhar as funções de transporte e de comercialização em feiras semanais.

As cidades eram supridas predominantemente pela área rural adjacente. A proximidade nas cidades permitia interações repetidas entre artesãos, comerciantes e autoridades públicas, que se associavam para produzir regras que beneficiavam os cidadãos em detrimento dos dispersos produtores de grãos. A acumulação¹²⁷ citadina advinda dessa troca desigual entre cidade e campo favoreceu futuros desenvolvimentos mercantis.

O tamanho da população era limitado pela oferta local de alimentos, em uma época com poucas inovações. O lento deslocamento em estradas precárias (linhas pontilhadas) produzia o estabelecimento de cidades ou vilas a pequenas distâncias, geralmente a um dia de viagem, como mostra o esquema regional (B) da figura. Mas, além da difícil via terrestre, havia transporte de grãos em barcos por rios navegáveis e por mares internos. Cidades bem localizadas geograficamente à margem de corpos navegáveis eram privilegiadas por terem acesso a alimentos de outras regiões tanto em tempos normais como de escassez.

As maiores cidades estabeleciam redes comerciais entre si através de corpos navegáveis ou por estradas melhores, intermediando a ligação das áreas rurais circundantes. O acesso a alimentos e a outros produtos conferia maior estabilidade de preços em relação a regiões isoladas e reduzia o custo de vida daqueles que tinham de acessar o mercado. Por isso, as grandes cidades europeias se situam em rios navegáveis ou em locais aptos para portos em mares. O mapa da Inglaterra e Gales (C) apresenta a escala nacional e atesta a relação entre as 10 maiores cidades e as vias navegáveis. Entretanto, o longo tempo de deslocamento associado à perecibilidade do trigo restringia o comércio regular inter-regional, que era ativado apenas em épocas de crise, não havendo mercados especializados em trigo (BRAUDEL, 2005).

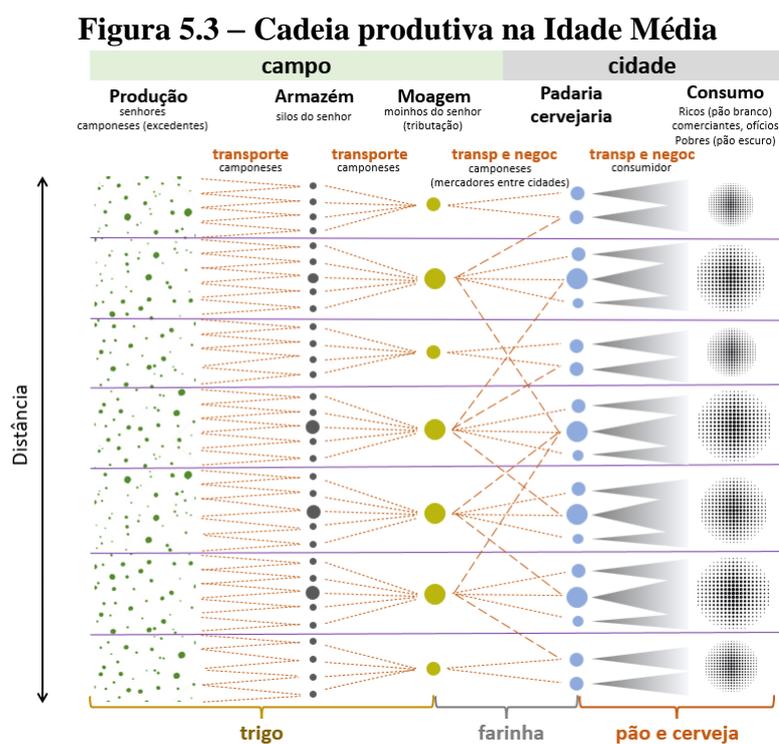
Havia exceções de cidades bem localizadas em regiões portuárias e sem área rural circundante, como Gênova e Veneza, que desenvolveram o comércio externo e se viram obrigadas a obter alimentos de outras regiões. Com isso, acabaram se tornando *hubs* comerciais, como ilustrado no mapa europeu (D). Essas cidades se transformaram em polos de acumulação

¹²⁷ Como sistemas complexos resultam de processos iterativos, a acumulação desempenha relevante papel no crescimento e conexão preferencial que resultam em estruturas sem escala e em distribuições em lei de potência.

de capital mercantil graças aos lucros extraordinários do comércio de longa distância de mercadorias leves e valiosas – como tecidos/roupas, especiarias e ferramentas. Mas tal comércio era restrito a poucos produtos destinados à elite, com pouco impacto na sociedade.

Dadas as incertezas da atividade, mercadores configuravam comunidades fechadas com regras próprias e fortes laços familiares ou de origem (como judeus, gregos e armênios). O comércio atacadista, envolvendo negociações de altas somas de dinheiro, passou a ocorrer em feiras por toda a Europa. Interações repetidas entre atacadistas resultaram na emergência de leis mercantis. A lei dos mercadores era internacional e havia uma corte própria com juízes eleitos (SWEDBERG, 2005, p. 236). Notas de câmbio e de crédito eram adotadas nas negociações entre mercadores e o mecanismo de reputação desempenhava importante papel. Mas, como a ordem local dependia de preços razoáveis de alimentos, o mercado de grãos em cidades era altamente regulado. Para não afetar as regras locais que visavam a manutenção de relativa estabilidade, autoridades determinavam que as feiras de mercadores ocorressem fora dos muros da cidade. (POLANYI, 2000 [1944]; SWEDBERG, 1995, 2005)

A Figura 5.3 esboça a cadeia produtiva na Idade Média, indicando os agentes (círculos) em cada atividade, desde a produção de trigo até o consumo final de derivados – como pão e cerveja – e as relações entre atividades (linhas). As linhas horizontais simbolizam barreiras comerciais entre cidades associadas a distâncias geográficas, obstáculos naturais, alfândegas e proibições de circulação estipuladas por senhores feudais.



Fonte: elaboração própria.

A produção ocorria por meio de camponeses e senhores, que forneciam direitos de exploração de terras em troca de parte da produção. A área torno de feudos tinha campos do senhor, servis ou comunais de diferentes tamanhos (círculos em verde). Após a colheita, camponeses transportavam o trigo para armazéns (círculos em cinza) de forma a conservar grãos durante o ano. Para consumir, era necessário levar o trigo ao moinho do senhor (círculos amarelos), onde parte era retida como tributação pelo uso da terra, não havendo alternativas aos camponeses, mesmo para consumo próprio.

Os excedentes de camponeses e senhores eram encaminhados à cidade por estradas precárias (linhas pontilhadas menores) para serem vendidas a padarias, cervejarias e a famílias. Mas, em épocas de escassez em alguma região, o trigo ou a farinha podia deslocar entre cidades (linhas pontilhadas maiores) em barcos. Mas a distância era uma restrição ao comércio.

Além da produção doméstica para consumo, pães podiam ser adquiridos em padarias locais. O consumo era segregado de acordo com a classe, sendo o branco e macio pão de trigo destinado às poucas famílias ricas, enquanto pobres consumiam pães escuros de centeio ou aveia, a depender da região. A precibilidade da cerveja, antes da introdução de técnicas de conservação, restringia a produção à demanda local das cidades.

Pelos esquemas, observa-se que a escala local – quando muito regional – predominava no mercado de trigo, configurando subsistemas relativamente autônomos. Apenas em épocas de crise de oferta, os altos preços estimulavam mercadores a comercializar entre regiões. Perturbações podiam ter impactos diretos variados, mas dificilmente um distúrbio era propagado pelo sistema devido às barreiras existentes e à fraca conexão entre regiões.

5.1.2 Idade Moderna (séc. XVI a XVIII)

A Idade Moderna¹²⁸ caracteriza-se, dentre outros: pela organização de Estados Nacionais; pela remoção de barreiras internas e integração de mercados nacionais; pela estreita relação entre mercadores e Estados, como nas companhias mercantis; por Impérios que exerciam força para explorar recursos e estabelecer transações desiguais que permitiam acumulação; pela descoberta de ouro e prata nas Américas e pela moeda de prata espanhola, a primeira de aceitação global; pela ascensão da burguesia; pela Revolução Agrícola; e pela disseminação do trabalho assalariado, com a inserção de grande parte da população no mercado.

Como atestou o estudo empírico, os preços do trigo ainda não captavam sinais de

¹²⁸ Desde a conquista de Constantinopla pelos otomanos em 1453 até a tomada da Bastilha em 1789.

complexidade, apesar dos processos de expansão e aprofundamento de mecanismos de mercado conduzidos por Estados e mercadores, tanto a nível nacional de países centrais como em periferias sob seus domínios. Mas o relativo isolamento de outras regiões (como Islã, Índia, China e Rússia)¹²⁹ e a segregação em zonas de influência de Impérios (espanhol, português, inglês, holandês e francês) impediram a integração global do mercado.

Os precários meios de transporte ainda eram um empecilho. Mercadorias pesadas e de baixo valor, como o trigo, ainda tinham comercialização predominantemente a nível local ou regional. Mas os grandes avanços em navegação oceânica e a introdução de estradas e canais pedagiados a partir do séc. XVIII viabilizavam progressivamente o comércio regular a nível nacional e entre colônias e metrópoles, em conexões de médias e longas distâncias.

Na configuração de mercados nacionais, havia pressão para adaptação, seja pelas relações de complementaridade entre regiões que conduziam à especialização ou pela concorrência com as que desempenhavam a mesma atividade. Em vez de meros locais de trocas, os mercados passaram a ser determinantes para o desenvolvimento. À medida que havia inovações tecnológicas em transportes e em armazenagem, centros comerciais concentravam transações no atacado enquanto o mercado varejista também passava por transformações, com o surgimento e a proliferação de novos tipos de lojas voltadas a trabalhadores assalariados.

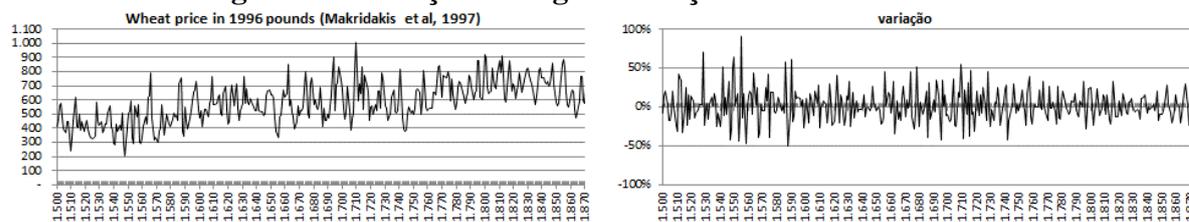
No processo de constituição de Estados Nacionais, as regras citadinas criadas para manter a ordem – inclusive estabilidade de preços de itens essenciais como alimentos – tiveram de ser extrapoladas para nações. Mas os controles estatais entravam em contradição com os mecanismos de auto-regulação de mercado, gerando uma dinâmica com duplo movimento: a ampliação da organização do mercado em relação às mercadorias genuínas foi acompanhada pela sua restrição em relação às mercadorias fictícias (terra, trabalho e dinheiro). Para evitar fome, agitação social e ameaças ao balanço de poder diante das oscilações abruptas necessárias ao auto-ajuste do mercado, além de dar tempo para a sociedade se adaptar, foram criados mecanismos de proteção, como protecionismo comercial e leis dos pobres. Mas a própria existência desses mecanismos impedia o ajuste automático de mercado, implicando em contradições devido à estreita associação entre economia e política. (POLANYI, 2000 [1944])

A Figura 5.4 traz os preços anuais do trigo e as variações percentuais nessa época. Uma diferença com relação ao período anterior é a tendência de alta. Mesmo com correção inflacionária a preços de 1996, a tonelada de trigo parte de uma média de cerca de 420 libras

¹²⁹ Como na visão de economias-mundo de Braudel (2005 [1979]).

no início do séc. XVI e chega a uma média de 720 libras na virada do séc. XVIII para o XIX.

Figura 5.4 – Preços do trigo e variações na Idade Moderna



Fontes: Makridakis et al (1997).

Isso ocorreu mesmo no contexto da Revolução Agrícola, que permitiu aumento da oferta de alimentos e sustentou o crescimento da população europeia. Novas técnicas de rotação e o uso de animais e de implementos possibilitaram não apenas maior produtividade, mas também ampliação da área cultivada com menos trabalho.

Mas a reestruturação fundiária e a reorganização social também afetaram a demanda, resultando em um processo circular que impedia o equilíbrio. Houve crescimento de cidades com a migração de camponeses expulsos dos campos pelos processos de transformação de terras em propriedades privadas e de cercamento. Sem acesso aos meios de produção, grande parte da população tinha de acessar o mercado para vender seu trabalho e para obter bens de consumo (MARX, 2013 [1867]). O desajuste entre oferta e demanda foi intensificado pelas políticas protecionistas que dificultavam a importação de grãos e restringiam a concorrência.

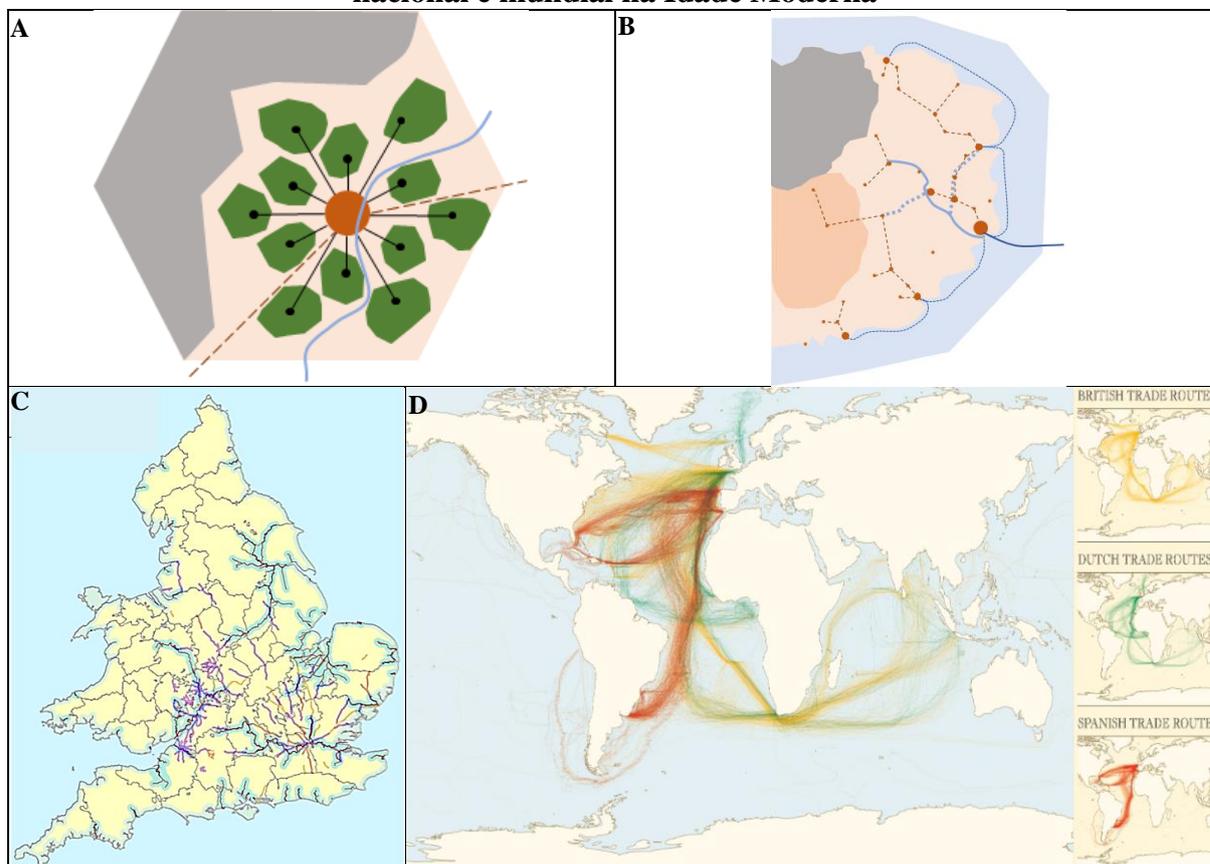
Ainda, a exploração de recursos de colônias e o comércio desigual em mercados cativos pelo uso da força ampliou a riqueza das elites nas metrópoles e, conseqüentemente, a demanda por produtos derivados de trigo. Os pobres comiam majoritariamente pães escuros de outros grãos, como centeio, ou alimentos baratos originários das Américas, como batata e milho.

As variações de preços do trigo ainda se assemelham a ruído branco, com oscilações como se fossem aleatórias e com distribuição aproximadamente normal. As variações anuais são consideráveis, superando 50% algumas vezes. A excessiva especialização em monoculturas visando comercialização ampliava os efeitos de perturbações climáticas ou de pragas. Mas já ocorria alguma intermitência, como agitados períodos entre 1542 e 1558 ou entre 1704 e 1720, e outros de maior estabilidade, como entre 1635 e 1652.

O esquema na escala local (A), apresentado na Figura 5.5, mostra mudanças com relação ao período anterior, como transformação de campos comunais em monoculturas (com rotação) privadas e o crescimento das cidades resultante dos cercamentos. O esquema na escala regional (B) adiciona novas ligações por estradas e canais (curvas pontilhadas em azul) entre as cidades mais relevantes. Aquelas beneficiadas pelas novas estradas e canais floresceram, enquanto outras definharam pelo isolamento. A melhoria de embarcações também ampliou a navegação

de cabotagem, ligando cidades costeiras, e ligações a longa distância cruzando oceanos. A cidade portuária passou a intermediar a relação entre a região e o exterior.

Figura 5.5 – Esquemas de estrutura de mercado nas escalas local, regional, nacional e mundial na Idade Moderna



Fontes: **A (cidade) e B (região)** – elaboração própria.

C (país) – composição de imagens a partir de: rios e canais navegáveis em 1700-1727 e atos de estradas pedagiadas de 1663 a 1729. Disponíveis em: <<https://www.campop.geog.cam.ac.uk/research/projects/occupations/transport/waterways/waterways1600/>> e <<https://www.campop.geog.cam.ac.uk/research/projects/occupations/transport/roads/earlyturnpikes/>>.

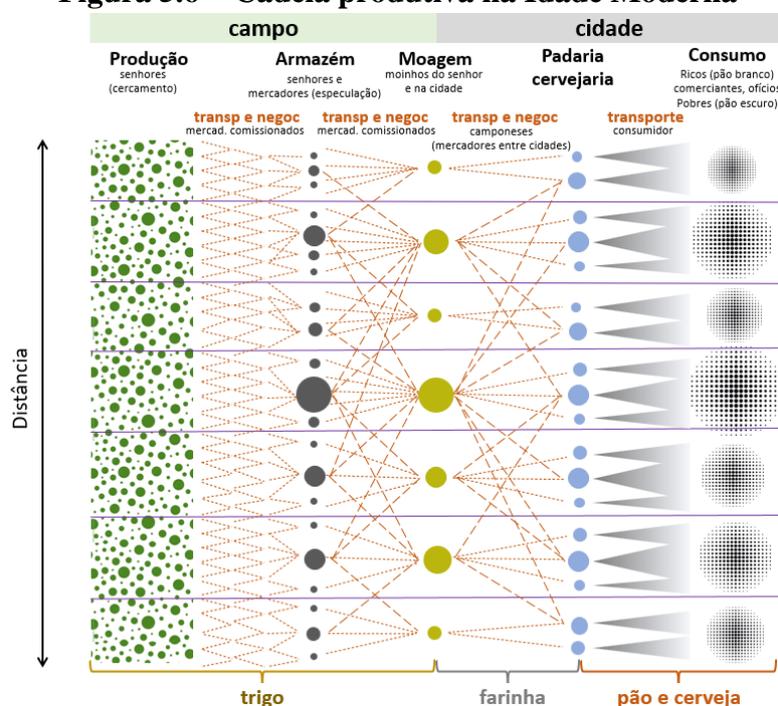
D (mundo) – rotas comerciais de impérios. Disponível em: <<https://www.freeman-pedia.com/britishempire/>>.

O esquema nacional (C), que apresenta rios e canais navegáveis e estradas pedagiadas na Inglaterra no início do séc. XVIII, mostra a melhoria das conexões regionais e algumas ligações inter-regionais, mas ainda havia regiões isoladas ou mal conectadas.

O mapa mundial com as rotas comerciais de impérios (D) representa a escala mundial, com transações de longa distância de algumas mercadorias, mas segmentada por conflitos entre impérios e por diferentes instituições. No final do séc. XVIII, por influência fisiocrata, Rússia e EUA desenvolveram a produção de trigo em larga escala visando mercados externos. Mas os bloqueios protecionistas – que protegiam os influentes proprietários de terra da concorrência com regiões com trabalho servil ou escravo – dificultavam o acesso a mercados europeus. Regiões que viriam a constituir os EUA forneciam alimentos às colônias inglesas do Caribe, o que contribuiu para o desenvolvimento de uma classe mercantil e de navios veleiros para transporte de longas distâncias.

A Figura 5.6 traz o esquema da cadeia produtiva do trigo, com mudanças associadas à ampliação do volume comercializado que fez surgir novas atividades e agentes. Na produção, as lavouras privadas voltadas à comercialização substituíram o modelo feudal. O maior volume comercializado ocupou muitos transportadores e intermediários por comissão, dados os precários meios de transportes que limitavam o deslocamento, exigiam frequentes transbordos de cargas e impunham altos riscos. Mercadores passaram a explorar oportunidades de ganho nas diferenças de preços entre regiões e no tempo, mas ainda havia baixa especialização. A associação entre mercadores ampliava a influência política e limitava a concorrência, permitindo-os reter maior parcela nas transações com outros agentes.

Figura 5.6 – Cadeia produtiva na Idade Moderna



Houve crescimento das ligações entre regiões, com maior relevância de agrupamentos e de sincronização nas escalas regional e nacional advindo da regularidade comercial nesses níveis. O crescimento das cidades implicou no deslocamento de moinhos e armazéns do campo para as cidades e o desenvolvimento do varejo (padarias e cervejarias) voltado ao atendimento de trabalhadores. A possibilidade de suprimento externo permitiu o crescimento de algumas cidades, que se tornaram *hubs* comerciais, geralmente localizadas em pontos estratégicos e com portos. O consumo nas cidades era segregado de acordo com a classe social.

Apesar dos processos de crescimento e de integração da rede de mercado, as fracas ligações internacionais – exceto entre impérios e suas colônias – e limitações nos transportes barravam os encadeamentos de ações e reações na escala mundial. Outras mercadorias, como

açúcar, tecidos/roupas, especiarias e escravos apresentavam maior integração, mas transações de longa distância de grãos se limitavam a épocas de crise, quando os altos preços compensavam os riscos.

5.2 Transição para sistema complexo

Desde a queda do Império Romano, houve estagnação econômica e populacional. Mas, as Revoluções Agrícola e Industrial criaram as condições para processos com crescimento e conexão preferencial que geram estruturas de rede sem escala e fractal. A formação de agrupamentos de diversas escalas e a maior velocidade de transmissão de informações passaram a favorecer a propagação de eventos em cadeias de *feedbacks* como em sistemas complexos.

Na Idade Moderna, havia duas dinâmicas de mercado interrelacionadas. No comércio de longa distância em navios a vela, predominavam transações – esporádicas ou regulares com agentes estrangeiros submetidos a relações de poder – que permitiam distribuição assimétrica dos ganhos da troca. Esse comércio externo levou à acumulação de recursos por mercadores, ansiosos por explorarem oportunidades lucrativas. Já a configuração de mercados nacionais eliminou barreiras internas e integrou a maior parte da população aos mecanismos de mercado. Como prevaleciam relações repetidas entre conterrâneos, emergiram instituições para criar ordem essencial para a divisão de trabalho. A maior especialização ampliou o desempenho e reduziu os custos de produção. Após um período voltado à substituição de importações, foi possível voltar a produção para exploração de mercados externos.

As políticas protecionistas no comércio externo, com restrição à importação de alguns produtos produzidos localmente (como trigo), tinham relação com a necessidade de regulação do mercado interno para proteção dos interesses de classes dominantes e para evitar instabilidades sociais. Tais barreiras comerciais impediam a integração do comércio em escala global e limitavam a propagação de efeitos de perturbações.

As Revoluções Agrícola e Industrial na Inglaterra mudaram esse cenário. A ampliação da escala de comercialização exigiu mudanças nos setores de produção, comercialização e consumo, em um processo coevolutivo com frequentes inovações e surgimento de novos atores, atividades e mercadorias.

A Revolução Agrícola Britânica, a partir dos séculos XVII, ampliou a produtividade de alimentos, sustentou o aumento populacional e promoveu reestruturação fundiária com propriedades privadas e expulsão de camponeses, que migraram para cidades. A maior demanda em cidades pressionava por mudanças no setor alimentar, limitado pelos meios de transportes.

A Revolução Industrial inglesa, a partir do final do século XVIII, ao mesmo tempo que

agravou essa situação pela necessidade de nutrir trabalhadores assalariados em fábricas, conferiu os meios para sua superação. A primeira Revolução Industrial (Era do algodão, ferro e energia hidráulica, de 1770 a 1840), apesar de mais restrita à Inglaterra e ao setor têxtil, promoveu maior integração internacional na busca por suprimentos, especialmente algodão, e por mercados consumidores.

Apesar das restrições ao comércio internacional de grãos, eventos como as Guerras Napoleônicas (1803-15) ampliavam a carência e resultavam em altos preços que encorajavam travessias oceânicas de grãos e farinha. O desbravamento do comércio transoceânico de grãos, muitas vezes usados como lastros em navios que transportavam algodão, conduziu a acumulação por mercadores estadunidenses e o aprimoramento progressivo de navios.

Mas, após o fim das Guerras Napoleônicas, as *Corn Laws* foram intensificadas, levando a uma disputa entre EUA e Inglaterra que alterou a estrutura comercial. Em resposta à restrição, os EUA publicaram os Atos de Navegação de 1817 e 1818, que bloqueou alguns manufaturados britânicos e, conseqüentemente, estimulou a indústria local. A reação britânica ocorreu em 1818 com o *Free Port Act*, impedindo navios estadunidenses nos portos do Reino Unido.

A proibição de comercializar com as colônias britânicas do Caribe provocou o pânico americano de 1819, com queda de 50% no preço da farinha de trigo nos EUA. Mas também houve crise de abastecimento nas colônias caribenhas, com revoltas de escravos que deram início ao processo de emancipação e abandono de atividades agrícolas. A abrupta mudança da relação de preços entre trigo e algodão implicou em intensificação, nos EUA, da divisão entre o Sul, com produção de algodão baseada em trabalho escravo, e o Norte com mercadores e agricultores familiares de grãos. O maior volume do comércio de algodão entre EUA e Inglaterra exigiu transformações do setor comercial, com especialização em novas práticas de negociações e de crédito. (NELSON, 2022)

As restrições ao comércio internacional de trigo – como as *Corn Laws* – somente foram revogadas quando, em 1846, a peste da batata causou fome e disparou uma onda de revoltas populares pela Europa. Aproveitando-se da política que estimulava a produção agrícola para exportação e da estrutura para comércio internacional do algodão, os EUA reativaram a produção de trigo em larga escala e inundaram a Europa de grão barato.

A retirada de restrições à importação por países europeus resultou em uma série de perturbações que desestruturaram o mercado do trigo: guerra entre Rússia e Turquia pelo controle da passagem do Mar Negro para o Mediterrâneo (1853-56); acirramento da divergência entre Norte e Sul dos EUA que culminou na Guerra de Secessão (1861-65); e Crise Agrária e Pânico de 1873 devido à desvalorização de terras europeias e seu impacto no sistema financeiro

(crédito de longo prazo).

Com a ampliação do volume comercializado, houve transformações ao longo de toda cadeia produtiva. A produção passou a ocorrer em grandes fazendas voltadas à exportação. Na distribuição houve esforços para aumentar a velocidade de circulação que envolveu mudanças nos meios de transporte, de armazenamento e de negociação, com maior especialização. A redução do preço permitiu que o trigo deixasse de ser um produto de luxo destinado às elites para se tornar alimento básico de trabalhadores nas cidades.

5.3 Estruturas de mercado durante ordens econômicas

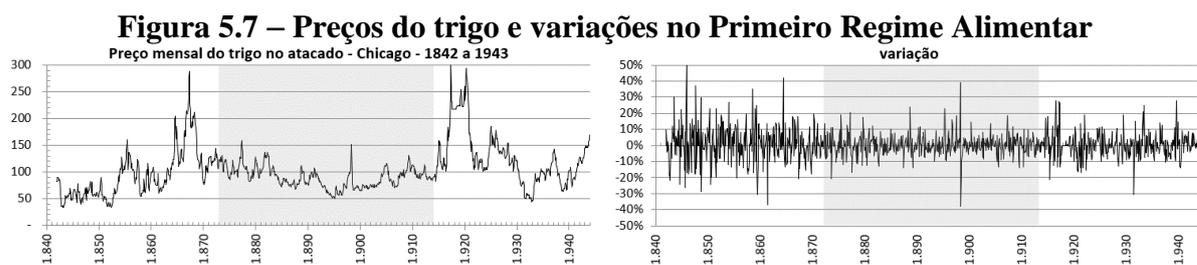
Segundo o estudo empírico, os preços do trigo passaram a apresentar sinais de sistemas complexos a partir do século XIX. Nos períodos de ordem econômica, observa-se multifractalidade, com persistência de memória no curto prazo e reversões recorrentes no longo prazo. Isto é, no curto prazo parece haver predomínio de processos cumulativos, com reforço de tendências e alinhamento de expectativas. Mas, no longo prazo, há eventos de dissipação, como em momentos de criticalidade quando as informações transitam pelo sistema com grande velocidade e variáveis agregadas assumem alta volatilidade, como em crises sistêmicas. Após esses pontos críticos, processos de auto-organização reestruturam o sistema. Já períodos de transição caracterizam-se por certa desordem, com o sistema levando mais tempo para se reorganizar, sendo necessárias novas instituições para restabelecer correlações longas.

A seguir, são apresentados esquemas de estruturas de mercado do trigo nas diferentes escalas – assim como as cadeias produtivas – nas ordens dos três regimes alimentares.

5.3.1 Primeiro Regime Alimentar: ordem britânica (1873 a 1914)

A Figura 5.7 apresenta diferenças no comportamento de preços mensais do trigo entre o período do Primeiro Regime Alimentar (1873-1914) – com fundo cinza – e os períodos adjacentes. Com a integração de mercados com conexões de longa distância, ampliação da escala comercial e estabilidade de regras, o sistema tornou-se menos sujeito a perturbações locais. As variações de preços passaram a apresentar intermitência e distribuição leptocúrtica¹³⁰.

¹³⁰ Isto é, alternância entre momentos de baixas variações de preços e outros de grande volatilidade, que resultava em distribuição de variações com muitos pequenos ajustes, mas também cauda pesada.



Fonte: NBER. Disp. em: <<https://www.nber.org/research/data/nber-macrohistory-iv-prices>>.

Conforme a análise empírica com dados mensais do *National Bureau of Economic Research* (NBER), durante o período da ordem britânica na economia (1842-1914), o expoente de Hurst de longo prazo foi de 0,21, apontando para forte tendência de reversão nos preços quando se considera intervalos de tempo maiores. Já no curto prazo, o expoente de Hurst igual a 0,57, um pouco superior ao caso de caminho aleatório, indicou leve persistência das variações.

Refazendo os cálculos para considerar apenas o período do Primeiro Regime Alimentar (1873-1914), o expoente de Hurst no longo prazo ficou ainda mais baixo ($H = 0,17$) e o de curto prazo não descartou caminho aleatório ($H = 0,51$). Mas o ajuste à lei de potência do espectro da transformada de Fourier de longo prazo foi ruim. Ou seja, se já era possível observar correlação temporal de variações de preços no longo prazo, indicativo de memória no sistema, a estrutura de mercado fractal, com dinâmicas em várias escalas, ainda não havia se consolidado, indicando transição incompleta da economia para sistema complexo.

Após um período de marcantes transformações, o comércio internacional do trigo se regularizou sob a hegemonia do Reino Unido, que adotou princípios de liberalismo comercial e o padrão ouro. A estabilidade de regras permitiu ampliação da divisão internacional de trabalho, com países se especializando na produção de alimentos, insumos ou manufaturas.

Para vencer pontos de estrangulamento e ampliar o volume comercializado, novas atividades se disseminaram, com reorganização do mercado do trigo. Inovações em transportes, máquinas e materiais permitiram o aproveitamento de economias de escala por parte de empresas ferroviárias e armazéns¹³¹. O maior acesso ao crédito, com ativos se convertendo em colaterais, favoreceu a concentração. Ganhos de escala se manifestaram na comercialização por atacado, com padronização de mercadorias e negociação em bolsas de *commodities*. Com o aumento da velocidade de circulação, algumas empresas reduziram margens de lucro e ampliaram volumes, provocando redução de preços e aumento da participação no mercado.

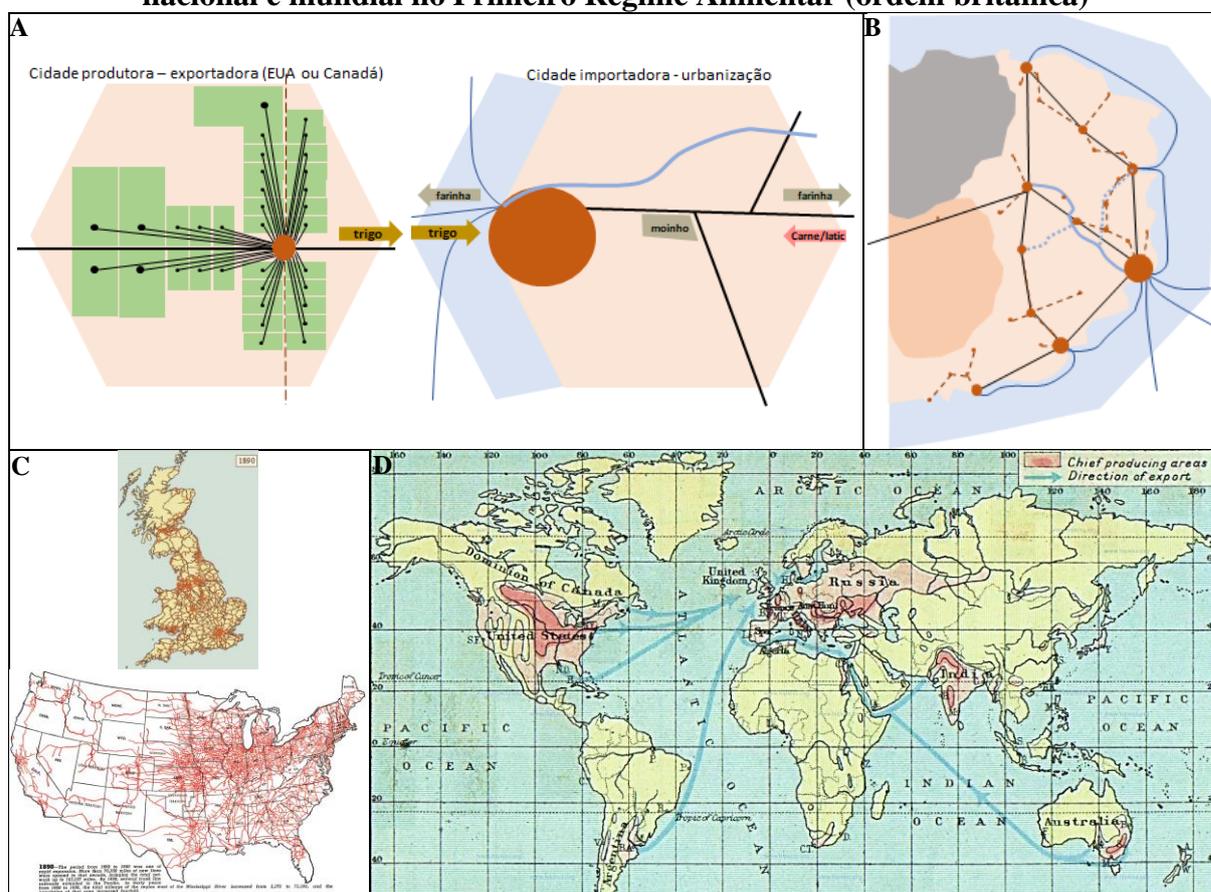
¹³¹ Se os custos para construir vagões, navios e armazéns têm relação com a área de estruturas (quadrado da dimensão espacial), as capacidades de transporte e de armazenamento são proporcionais ao volume (cubo), reduzindo custos unitários de grandes instalações. Mas os materiais disponíveis em cada época ditam as proporções possíveis por suas densidades e resistências. O aço e outras ligas permitiram maiores escalas.

Processos circulares e cumulativos que envolviam crescimento e conexão preferencial resultaram em distribuição de tamanhos de empresas/cidades/países em lei de potência. Grandes agentes (*hubs*) estabeleceram relações entre si, superando barreiras comerciais e gerando dinâmicas em escalas mais amplas.

Em vez de ações e reações meramente a nível local ou regional, emergiu uma estrutura de mercado fractal, com dinâmicas em múltiplas escalas que se influenciavam mutuamente. Passou a ser possível haver transmissão de informações e encadeamento de eventos que podiam percolar pelo sistema pela adaptação dos agentes.

Os esquemas e mapas da Figura 5.8 ilustram características do mercado do trigo na ordem do Primeiro Regime Alimentar. A nova escala global do mercado do trigo afetou as escalas menores, ampliando a divisão de trabalho. A nível local (A), passou a haver diferentes tipos de cidades, como a cidade rural especializada na produção de trigo para exportação e a cidade portuária europeia, que transformava o trigo importado em farinha para reexportação ou distribuição interna por meio de rios navegáveis e ferrovias (linhas pretas).

Figura 5.8 – Esquemas de estrutura de mercado nas escalas local, regional, nacional e mundial no Primeiro Regime Alimentar (ordem britânica)



Fontes: A (cidade rural e portuária) e B (região) – elaboração própria.

C (países) – redes ferroviárias em 1890 na Grã Bretanha e nos EUA. Disponível em: <<https://www.campop.geog.cam.ac.uk/research/projects/transport/>> e <http://www.cpr.org/Museum/RR_Development.html#1L>.

D (mundo) – “The world’s sources of supply – Wheat” in 1907. Disponível em: <<https://i.redd.it/3tm7uaeww6131.jpg>>.

No nível regional (B), ferrovias permitiram integração e aprofundamento do mercado no interior. Cidades conectadas à rede ferroviária prosperaram, enquanto aquelas à margem, em caminhos antigos, perderam relevância. Cidades com portos oceânicos se tornaram *hubs* do comércio internacional. A orientação ao exterior favoreceu o estabelecimento de indústrias pelo barateamento de insumos e acesso a mercados. Sobras da moagem eram encaminhadas ao meio rural para criação de animais. O barateamento do pão branco e o acesso a laticínios e carnes alterou hábitos de consumo.

Os mapas da Grã-Bretanha e dos EUA em 1890 (C) evidenciam a contribuição da rede ferroviária na constituição de grandes mercados nacionais, com maior especialização entre regiões, desenvolvimento do comércio atacadista e adaptações no varejo, como o estabelecimento de cadeias de lojas. Observa-se também como as maiores cidades tinham muitas ligações e malhas densas em sua periferia enquanto outras cidades eram pouco conectadas, ainda havendo regiões desconectadas.

O mapa mundial (D) apresenta pela primeira vez fluxos de trigo na escala global. Se nos períodos anteriores o comércio internacional se limitava a mercadorias leves, pouco volumosas e valiosas, as ferrovias e os aprimoramentos na navegação transoceânica (navios de aço a vapor) viabilizaram o comércio regular a longa distância. Com isso, emergiram regras transacionais – como padronização e métodos de negociação em bolsas de *commodities* – que estabilizaram o ambiente comercial, permitindo a correlação de atividades (como divisão de trabalho) em larga escala e efeitos de memória no sistema.

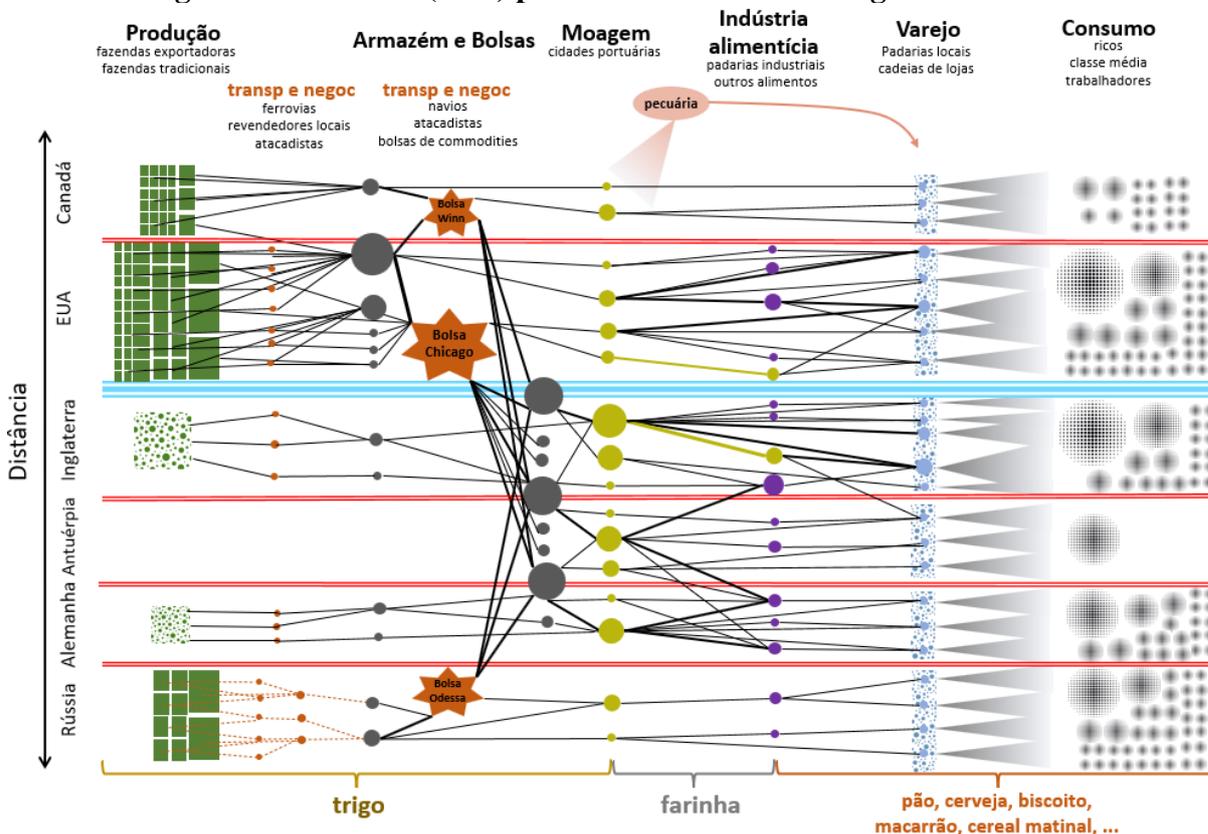
As conexões longas se davam através dos *hubs*, que intermediavam a ligação entre sua região e o mercado exterior. Mesmo com menos conexões, as regiões interioranas podiam ser afetadas por perturbações em outras partes do mundo através de suas ligações com os *hubs* regionais. Isto é, o sistema passava a estar sujeito a propagação em cadeias de eventos.

A Figura 5.9 apresenta o esquema da rede produtiva do trigo no Primeiro Regime Alimentar. Ao contrário dos períodos anteriores que tiveram esquema de cadeia produtiva na escala regional, a integração internacional do mercado do trigo exigiu a representação em escala mais ampliada, com relações em países e entre países.

Ligações que superavam barreiras comerciais (geográficas ou políticas) estabeleceram novo nível hierárquico de relações. Partes muito conectadas captavam perturbações de todo tipo e origem e se adaptavam rapidamente. As ligações entre *hubs* atuavam como avenidas de rápida circulação de mercadorias e de informações (espessuras das linhas representam volumes). Mas as informações e eventos demoravam a chegar em outras partes com poucas ligações, tornando-as mais sensíveis a perturbações locais. Assim, o sistema passava a apresentar características

de turbulência. Defasagens de difusão de informações e de respostas de agentes em diferentes pontos da rede produtiva geravam dinâmicas complexas, como as observadas por Touboul (2019) ao analisar o efeito *hipster*.

Figura 5.9 – Cadeia (rede) produtiva no Primeiro Regime Alimentar



Fonte: elaboração própria.

A integração comercial em escala global implicou em especialização e diferenciação entre países de acordo com seus contextos locais, relações históricas de poder e vantagens competitivas. Se países como EUA, Canadá e Rússia se especializaram na produção de trigo para exportação, países europeus tornaram-se importadores, dependentes de suprimento externo. Antuérpia, por exemplo, tornou-se um polo importador, praticamente sem produção local, mas com relevantes atividades de negociação, armazenamento, processamento e exportação de farinha e de outros produtos feitos com trigo estrangeiro.

As maiores distâncias percorridas e a regularidade comercial – propiciadas pelas ferrovias, navios e pela comunicação telegráfica – permitiram redução de intermediários, que se especializaram e passaram a lidar com grandes volumes. Na Rússia, a reduzida malha ferroviária ainda exigia mais intermediários entre produtores e portos, dificultando a queda dos custos de circulação, uma desvantagem competitiva com relação à América do Norte.

Armazéns se valeram de ganhos de escala e de efeitos do posicionamento na rede para dominarem o comércio internacional de grãos. Os quatro maiores armazéns, conhecidos por

ABCD¹³², exerciam poder de mercado na cadeia produtiva e influenciavam os demais atores por conectarem exportadores a importadores e por manterem sistema de crédito a produtores, o que criava relação de dependência. Ao exercerem arbitragem, explorando diferenças de preços entre dois mercados – seja em termos espaciais ou temporais, pela manutenção de estoques – em um contexto de baixa concorrência, obtinham lucros extraordinários.

Negociações foram concentradas em bolsas de *commodities* – como em Chicago, Winnipeg ou Odessa – que passaram a fornecer referências de preços e de padrões ao mercado. Com a integração do mercado e maior quantidade de atores, os preços se estabilizavam. Mas o alinhamento de expectativas que por vezes não se realizavam também dava margem para fenômenos de criticalidade auto-organizada, com instabilidades, como em 1898 devido a manipulações de estoques de trigo por especuladores.

A classificação de grãos exigiu adaptação de produtores, com perda de relevância da origem e da qualidade, levando a uma corrida (efeito *Red Queen*) por ganhos de produtividade.

No outro lado do mercado de grãos, moinhos e indústrias alimentícias passaram a contar com insumos padronizados. Algumas empresas exploraram economias de escopo ao integrarem moagem e produção de alimentos processados (em amarelo na atividade industrial). Tarifas alfandegárias, como isenção para reexportação, estimulavam a moagem nas grandes cidades portuárias europeias. O amplo acesso a farelos beneficiou a pecuária.

No varejo, além das muitas padarias locais, cooperativas de trabalhadores e cadeias de lojas exploraram economias internas e, ao ofertar pães mais baratos ou de qualidade diferenciada, ampliaram suas participações no mercado.

O consumo de pães e de outros derivados do trigo ocorria principalmente em cidades de diversos tamanhos e características, muitas vezes com trigo proveniente de fora e manipulado por grandes empresas. A ampla disponibilidade, os menores preços e novos tipos de alimentos – graças a inovações no setor de moagem (moinhos cilíndricos) e na indústria alimentícia – produziram transformações em hábitos alimentares. Se o pão branco produzido em massa passou a ser o alimento básico de trabalhadores, outros grupos com maior poder aquisitivo se diferenciavam pela diversificação da dieta e pela preferência por alimentos mais elaborados.

Na rede produtiva, houve maior especialização, com diversidade de atuação e de porte. Ocorreu a emergência de estrutura de mercado fractal com rede sem escala representativa: com atores de diversas dimensões, dinâmicas em todas as escalas e influências mútuas. Transações

¹³² André em Lausanne, Bunge na Antuérpia, Continental em Nova Iorque e Dreyfus em Paris.

regulares produziam correlações de longo alcance, tornando possível que perturbações fossem absorvidas localmente ou se propagassem pelo sistema por encadeamento de *feedbacks*.

A organização de mercado – com infraestruturas de transportes e de comunicações, ocupação da rede de mercado por grandes agentes e regras relacionais consolidadas em instituições – passou a fornecer bases para desenvolvimento, produzindo efeitos de memória e persistências. Mas, se trajetórias evolutivas de sistemas complexos mantêm algumas estruturas, também estão sujeitas a transformações que resultam em bifurcações.

Se a ordem favorecia a coordenação entre agentes e melhor desempenho da economia, a progressiva ampliação da escala revelava gargalos, contradições e disputas entre potências pelo suprimento de trigo. Como o mercado do trigo está inserido em um sistema sócio-político-econômico mais amplo, a criticalidade auto-organizada que desestabilizou o sistema envolveu a terceira era da Revolução Industrial (do aço, engenharia pesada e eletrificação) em que a Inglaterra teve dificuldades de adaptação e não conseguiu acompanhar os EUA e a Alemanha. Reações à ordem britânica culminaram em guerras mundiais e crises de superprodução que desestruturaram o mercado e exigiram intervencionismo estatal para garantir a segurança alimentar. No período de crise, a exploração de possibilidades conduziu a uma nova ordem.

5.3.2 Segundo Regime Alimentar: ordem estadunidense (1945 a 1973)

As crises de 1914 a 1945 – guerras mundiais, Revolução Russa¹³³ e depressão econômica – desestruturaram a ordem britânica baseada em liberalismo econômico, importação de trigo e dieta baseada no pão branco. No início da I Guerra, os preços do trigo subiram quando os países europeus tentaram garantir suprimentos. Após a guerra, houve reversão. Mas, com a Crise de 1929, os preços despencaram até que o *New Deal* incluísse uma política agrícola de controle de estoques. Com a II Guerra, houve nova instabilidade e disparada de preços. Ao priorizar a segurança alimentar em tempos de guerra, o Estado atuou na regulação do setor, controlando preços e fluxos, apoiando a agricultura doméstica e definindo parâmetros de nutrição.

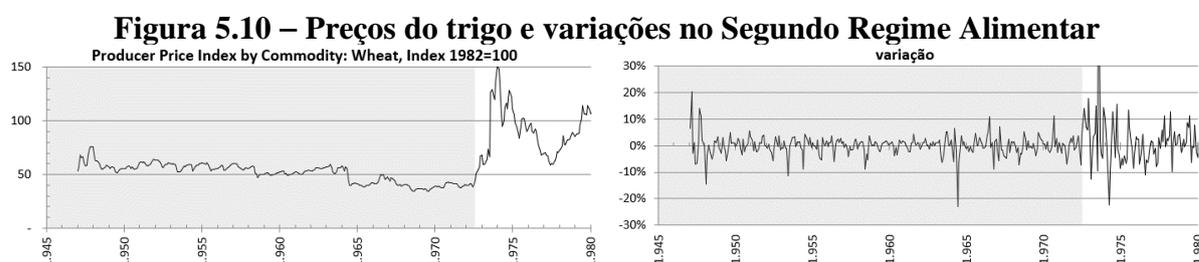
Como mostrou o estudo empírico, no período de guerras e crises econômicas, o expoente de Hurst de longo prazo esteve próximo de 0,6, indicando alguma persistência em vez da reversão característica de períodos de ordem. Com a semelhança entre curto e longo prazos, deixou de haver multifractalidade, talvez pela impossibilidade de agentes adotarem horizontes

¹³³ Com o regime socialista, a URSS e os países do Leste Europeu se retiraram mercado regular de trigo.

mais amplos durante a crise institucional, como aventou Peters (1991).

Após a II Guerra, o Tratado de Bretton Woods definiu as regras comerciais e financeiras da nova ordem capitalista mundial com hegemonia econômica dos EUA. O comércio internacional estabilizou-se com novas regras – como o dólar lastreado em ouro como divisa e o câmbio fixo – e instituições transnacionais, como o Bird e o FMI. O modelo capitalista estadunidense – caracterizado por estreita relação entre os setores público e privado (grandes corporações) – foi difundido com o Plano Marshall, a ONU, o Acordo Geral de Tarifas e Comércio (GATT) e o Tratado do Atlântico Norte.

A Figura 5.10 mostra a evolução dos preços mensais do trigo no pós-guerra. Observa-se a relativa estabilidade durante o Segundo Regime Alimentar (1945-1973). Os preços tiveram tendência de queda e as variações dificilmente superavam 10%.



Fonte: U.S. Bureau of Labor Statistics. Disponível em: < <https://fred.stlouisfed.org/series/WPU0121> >.

Obs: o aumento em ago/73, cortado no gráfico de variações com o objetivo de destacar a rugosidade da série, foi de 89%.

As boas relações entre Reino Unido, EUA e Canadá foram decisivas na reestruturação do mercado do trigo, com a configuração de uma nova ordem que vigorou entre 1945 e 1973. O Segundo Regime Alimentar caracterizou-se por regulação governamental da agricultura, incluindo proteção comercial, preços suporte, conselhos de comercialização, esquemas de estabilização de renda de fazendeiros e programas de pesquisa e de extensão agrícolas.

Essas políticas, em especial a de preços suporte nos EUA, estimulavam fazendeiros a maximizar a produtividade. De forma a escoar o excedente produtivo, os EUA excluíram produtos agrícolas de acordos multilaterais como o GATT, assinado em 1947, e mantiveram controle de importação e subsídios à exportação, principalmente para países do Terceiro Mundo. Outros países, como os europeus, reagiram e adotaram programas agrícolas intervencionistas para proteger seus setores alimentares. (MAGNAN, 2016)

O Canadá, em especial, ofereceu contraponto às políticas estadunidenses. Fazendeiros exerceram sua influência política para se protegerem dos poderosos agentes comerciais – como ferrovias, armazéns e indústrias – com a criação de um arcabouço institucional com *grain pooling*, controle público de qualidade, *marketing* e comercialização coletiva através do *Canadian Wheat Board*. Explorando a reputação de trigo de melhor qualidade, foi firmado um acordo bilateral de longo prazo com a Inglaterra que estabilizou o mercado e forneceu um

paradigma para outros acordos bilaterais e multilaterais. O *International Wheat Agreement*, assinado em 1949, definiu piso e teto de preços e garantiu volumes de exportação e de importação entre os signatários. Acordos com a China e a União Soviética colocaram o Canadá como conector entre os subsistemas capitalista e não-capitalista. (MAGNAN, 2016)

Portanto, mesmo com a maior relevância de poderosos Estados, havia coordenação descentralizada típica de sistemas complexos. Afinal, o domínio por um ator não era possível devido à grande dimensão do mercado do trigo e à existência de outros agentes que se contrapunham, sejam outros Estados ou poderosos agentes no mercado – grandes corporações industriais, atacadistas e varejistas. A existência de muitos agentes com alternativas possibilitava diferentes configurações organizacionais do sistema a depender da seleção de comportamentos tendo em vista o acesso a informações e os estímulos. Neste período, os agrupamentos nacionais tiveram grande relevância na dinâmica do sistema.

O estudo empírico mostrou que, no Segundo Regime Alimentar, assim como ocorreu durante o Primeiro, o expoente de Hurst de longo prazo caiu significativamente ($H = 0,17$), revelando forte tendência de reversão do sentido das variações. Já no curto prazo, a tendência era de leve persistência ($H = 0,55$). O ajuste do espectro de Fourier à lei de potência ($R^2 > 60\%$) apontou para dimensão fractal, com relevância de processos de longa duração e oscilações em todas as frequências, indicando dimensão fractal. Mas os ciclos não periódicos caíram para apenas 4 anos, provavelmente por influência do calendário eleitoral dos EUA.

A quarta revolução tecnológica industrial (petróleo, automóveis, motorização e produção de massa) foi outra marcante transformação. Melhorias de processos, novos materiais e combustíveis levaram a grande aumento de produtividade. A maior oferta exigiu esforços para ampliação da demanda para evitar nova crise de superprodução.

Motores a combustão e a ampla infraestrutura viária mantida por Estados permitiram maior capilaridade da rede de transportes e flexibilidade com veículos de diferentes portes. O uso de motores a diesel em embarcações levou a maior especialização e diversificação. Alguns navios faziam uso de canais, como os de Suez e do Panamá, encurtando distâncias. A integração dos modais ferroviário, rodoviário e marítimo ampliou a concorrência nos transportes e reduziu custos e tempos de circulação, contribuindo para a queda de preços e ampliação do mercado.

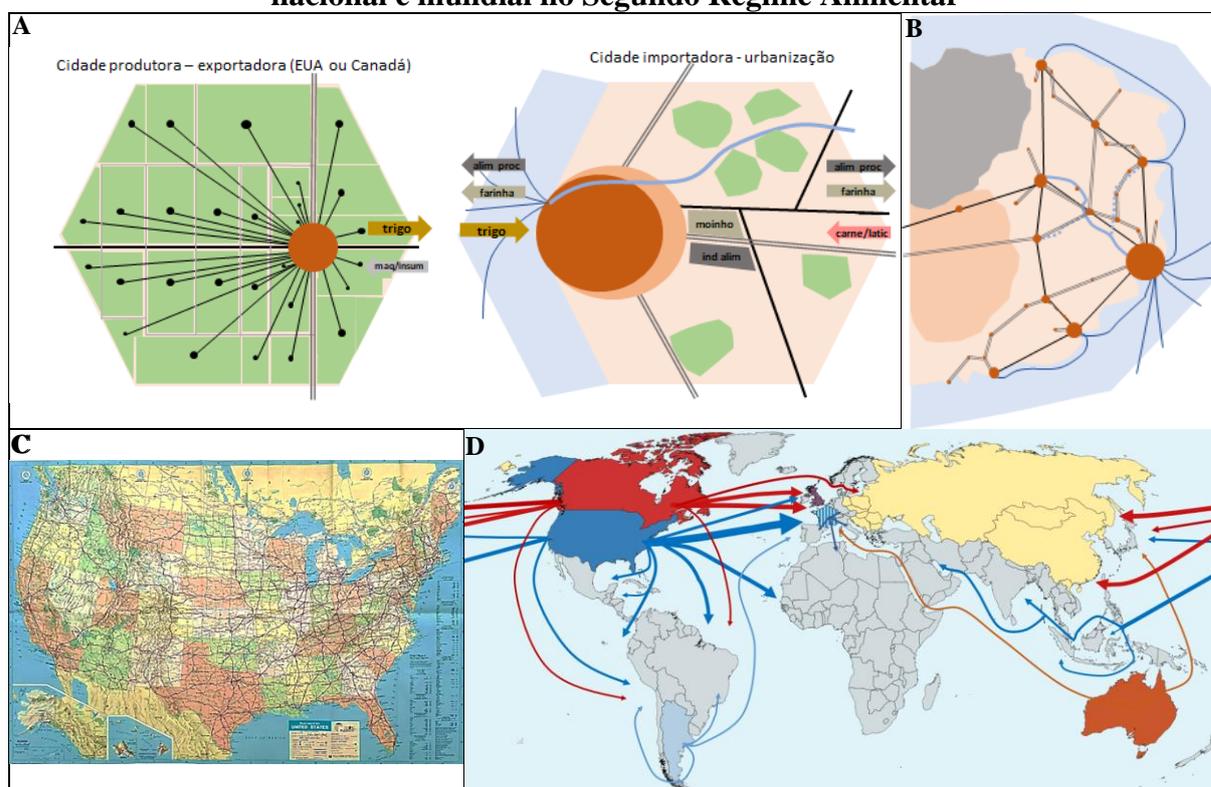
Os meios de comunicação de massa de sentido único – rádio, cinema e TV – tiveram grande impacto na demanda, produzindo alinhamento e consumo de massa. Já o telefone favoreceu a coordenação pela possibilidade de comunicação oral em ambos os sentidos em tempo real. A maior velocidade de informações ampliou a capacidade de auto-organização do sistema, permitindo correlações comportamentais de longa distância e melhorias de

desempenho quando a ordem prevalecia. Mas também potencializava a propagação de perturbações em cadeias de eventos pelo sistema, gerando instabilidades em momentos críticos.

As melhorias na produção, em transportes e em comunicações, além da coordenação de Estados, possibilitaram ampliação da divisão internacional do trabalho e forte crescimento econômico e populacional na porção capitalista do globo. O processo de formação de rede sem escala se intensificou e a conexão preferencial resultou na consolidação de grandes corporações multinacionais. A aceleração da globalização afetou as diversas escalas do mercado.

O esquema local (A) da Figura 5.11 mostra como as cidades rurais ampliaram as áreas produtivas fazendo uso de adubos, máquinas agrícolas e pesticidas em fazendas de maior porte. O crescimento das relações no mercado ocorreu não apenas pela ampliação da produção, como pela aquisição de insumos e máquinas. Já as cidades urbanas cresceram e diversificaram suas atividades. Além de moinhos que processavam trigo importado, passou a haver indústrias alimentícias e mesmo produção agrícola local devido às políticas de segurança alimentar. Além das ferrovias e meios aquáticos, rodovias (linhas duplas) permitiram novas conexões.

Figura 5.11 – Esquemas de estrutura de mercado nas escalas local, regional, nacional e mundial no Segundo Regime Alimentar



Fontes: A (cidade) e B (região) – elaboração própria.

C (país) – Mapas de rodovias nos EUA em 1960s. Disponível em: < <https://www.ebay.com/itm/284587377619>>.

D (mundo) – elaboração própria com mapa Guerra Fria, disponível em: < <https://historicalmapchart.net/world-cold-war.html>>

O esquema (B) apresenta o efeito da maior integração no desenvolvimento regional. As economias externas resultantes das atividades das empresas pioneiras – infraestrutura,

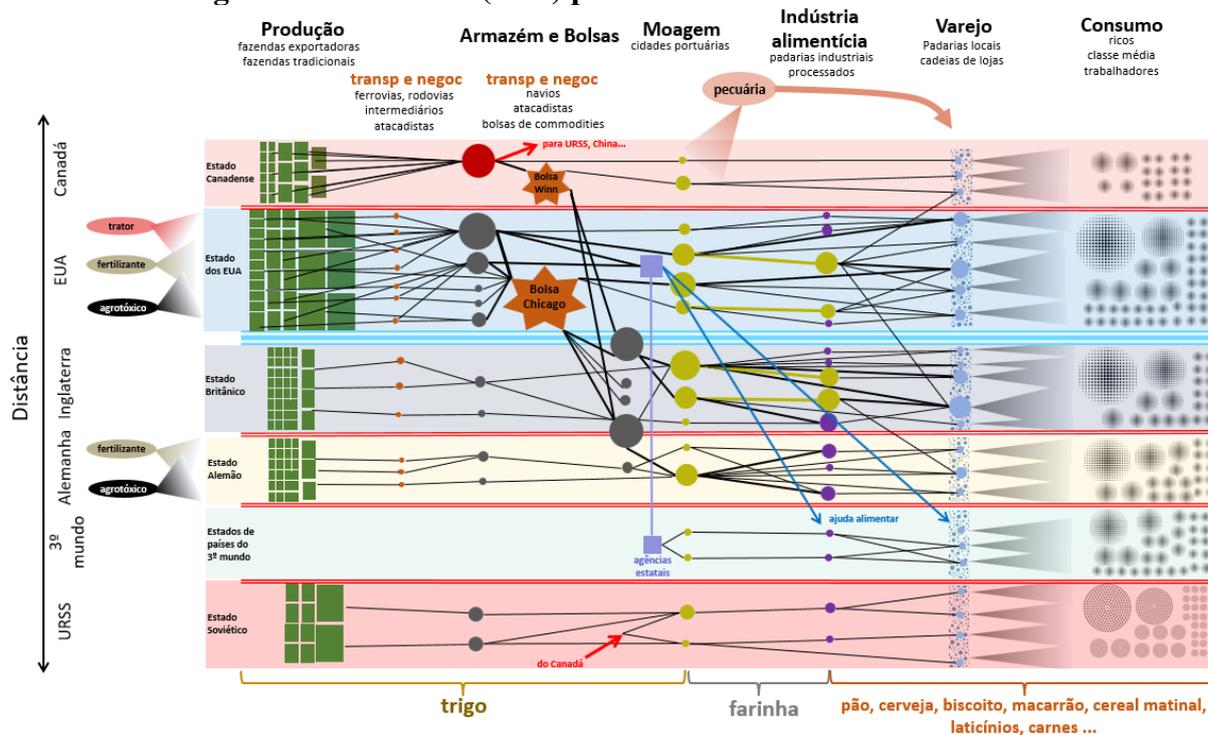
disponibilidade de trabalho, comércio e demanda por suprimentos – contribuíram para o estabelecimento de outras firmas nas cidades da região. A capital, que funcionava como *hub* ao intermediar a ligação comercial da região ao exterior, foi especialmente beneficiada.

O mapa das rodovias nos EUA nos anos 1960 (C) evidencia a alta interconectividade da malha que se sobrepôs aos meios de transporte anteriores. Automóveis e caminhões permitiam tanto frequentes deslocamentos locais quanto superar grandes distâncias. Além disso, a alta capilaridade de ruas, estradas e rodovias tornava quase todos os lugares acessíveis.

Por fim, o esquema do comércio mundial de trigo durante a Guerra Fria (D) mostra como países produtores repartiram áreas de influência comercial adotando diferentes estratégias. Os EUA forneciam grandes quantidades de trigo barato a suas zonas de influência política, em especial países do Terceiro Mundo. Já o Canadá estabelecia acordos com China e URSS e se valia da reputação de superioridade de seu produto para conquistar mercados mais exigentes. Argentina, Austrália e França eram outros países exportadores relevantes.

A Figura 5.12 esquematiza a rede produtiva durante a ordem estadunidense, em que se destacam as evoluções com relação à ordem anterior.

Figura 5.12 – Cadeia (rede) produtiva na ordem estadunidense



Fonte: elaboração própria.

O setor produtivo do trigo teve ampliação da escala de fazendas de monocultura que passaram a fazer uso de tratores, fertilizantes e agrotóxicos, implicando no surgimento de novas atividades econômicas típicas da quarta revolução industrial. Países europeus ampliaram a produção doméstica com subsídios e outras políticas de estímulo estatais visando promover a

segurança alimentar.

O transporte e a negociação entre produtores e armazéns dependia do contexto nacional. A situação nos EUA, com o predomínio de poderosas empresas de transportes e armazéns, contrastava com o ambiente canadense, onde negociações coletivas ocorriam através do *Canadian Wheat Board* (em vermelho).

Além das bolsas de *commodities*, muitas das transações internacionais de trigo ocorriam fora do mercado pela intermediação de agências estatais (em lilás), em especial entre os EUA e países tropicais do Terceiro Mundo que não contavam com produção significativa de trigo. Preços subsidiados viabilizavam escoar excedentes e criar demanda por mudança de hábitos alimentares em outras partes do mundo. A agência estadunidense também fornecia ajuda alimentar a países pobres para manter aliados em tempos de Guerra Fria.

As crises, a regulação estatal, a tendência de queda de preços, as mudanças tecnológicas e o acesso a crédito resultaram em aquisições, concentração industrial e integração vertical entre moagem e panificação (em amarelo) em grandes corporações. Padarias adotaram produção em série de pães de fôrma com marcas. Com o *Chorleywood Bread Process* e a introdução de aditivos, a produção foi simplificada e a durabilidade de pães aumentada, permitindo distribuição nacional.

Com a maior durabilidade e facilidades de distribuição, houve expansão de cadeias de lojas. Mas, com automóveis e subúrbios nos EUA, as vendas pães migraram de padarias locais ou cadeias de lojas especializadas para supermercados, transformando o setor de varejo.

Houve padronização de dietas com consumo de massa no pós-guerra, com destaque para o barato pão branco industrializado. Mas alguns segmentos passaram a priorizar aspectos nutricionais e estabeleceram diferenciação.

Houve maior entrelaçamento da rede produtiva: produtores adquiriam insumos químicos e máquinas agrícolas; indústrias alimentícias estabeleciam estreita relação com indústrias químicas, de máquinas e de embalagens, além de serviços de propaganda, de *marketing* e de distribuição regional; havia venda de diversos produtos além de alimentos em supermercados. Tal entrelaçamento de redes de mercados parece ser a razão da semelhança dos resultados da aplicação de instrumentos de análises de sistemas complexos adotando preços de diferentes *commodities*, conforme Apêndice II do capítulo empírico.

Mas, se a estrutura organizacional favorece o desempenho de diversos setores, há margem para crises sistêmicas. O Segundo Regime Alimentar foi desestruturado em 1973 após o acordo do trigo entre EUA e União Soviética e a posterior crise do petróleo. O preço mensal do trigo em agosto teve um aumento de quase 90% pela súbita eliminação de excedentes.

5.3.3 Terceiro Regime Alimentar: ordem corporativa (1995 –)

O acúmulo de sucessivos déficits fiscais do governo dos EUA resultou em inflação, elevação das taxas de juros e problemas na balança comercial no final dos anos 1960, indicando crise da ordem estadunidense que se estabeleceu desde o pós-guerra. Em agosto de 1971, os EUA romperam com o Tratado de Bretton Woods ao declararem o fim da conversibilidade do dólar em ouro. A súbita desvalorização da divisa internacional desestruturou cadeias de produção e teve impacto sistêmico na economia global. Após o estabelecimento do sistema cambial flutuante em março de 1973, ocorreram disparadas de preços do trigo – após o acordo comercial entre URSS e EUA – e do petróleo, em agosto e outubro, respectivamente.

A insegurança associada ao suprimento de alimentos e de combustíveis produziu reações e questionamentos sobre o intervencionismo estatal na economia. Sob princípios neoliberais, passou a haver desregulamentação e políticas para estabelecer o livre comércio.

Com a intensificação da internacionalização de cadeias de produção segundo vantagens competitivas, países concorriam entre si para atrair empresas através de isenção de impostos e de menores restrições trabalhistas e ambientais. Corporações suportadas até então por Estados passaram explorar oportunidades, estabelecendo redes transnacionais de influência.

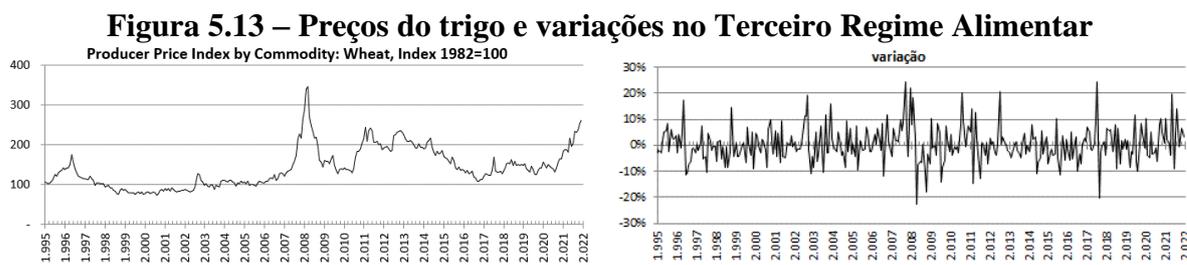
Após o colapso da URSS em 1991 que marcou o fim da Guerra Fria, houve integração de países no mercado global, como Rússia e outros do leste europeu. A reorganização da divisão internacional de trabalho ocorreu com configuração de agrupamentos em torno de grandes corporações, com suas redes de fornecedores e clientes.

Outra significativa mudança foi a quinta revolução tecnológica industrial a partir dos anos 1980, com novas tecnologias de comunicação e de processamento de informações que facilitaram a coordenação à distância.

No setor alimentar, estabeleceu-se nova ordem em 1995, quando a Organização Mundial do Comércio (OMC) incluiu a agricultura em acordos internacionais sob os paradigmas neoliberais de eficiência de mercado e livre comércio. Os países signatários concordaram em reduzir os subsídios à exportação, cortar apoios à agricultura doméstica e facilitar o acesso à importação. Mas países europeus e os EUA eram acusados de manter subsídios a produtores e de adotar medidas protecionistas. Caracterizando-se por liberalização comercial, concentração corporativa e padrões privados, o Terceiro Regime Alimentar permitiu que o comércio de produtos agrícolas triplicasse entre 1990 e 2010. (MAGNAN, 2016)

Variáveis agregadas do sistema econômico, como preços do trigo, refletem a redução de controles estatais, a maior relevância de corporações transnacionais e a grande velocidade

de transmissão de informações, conforme a Figura 5.13.



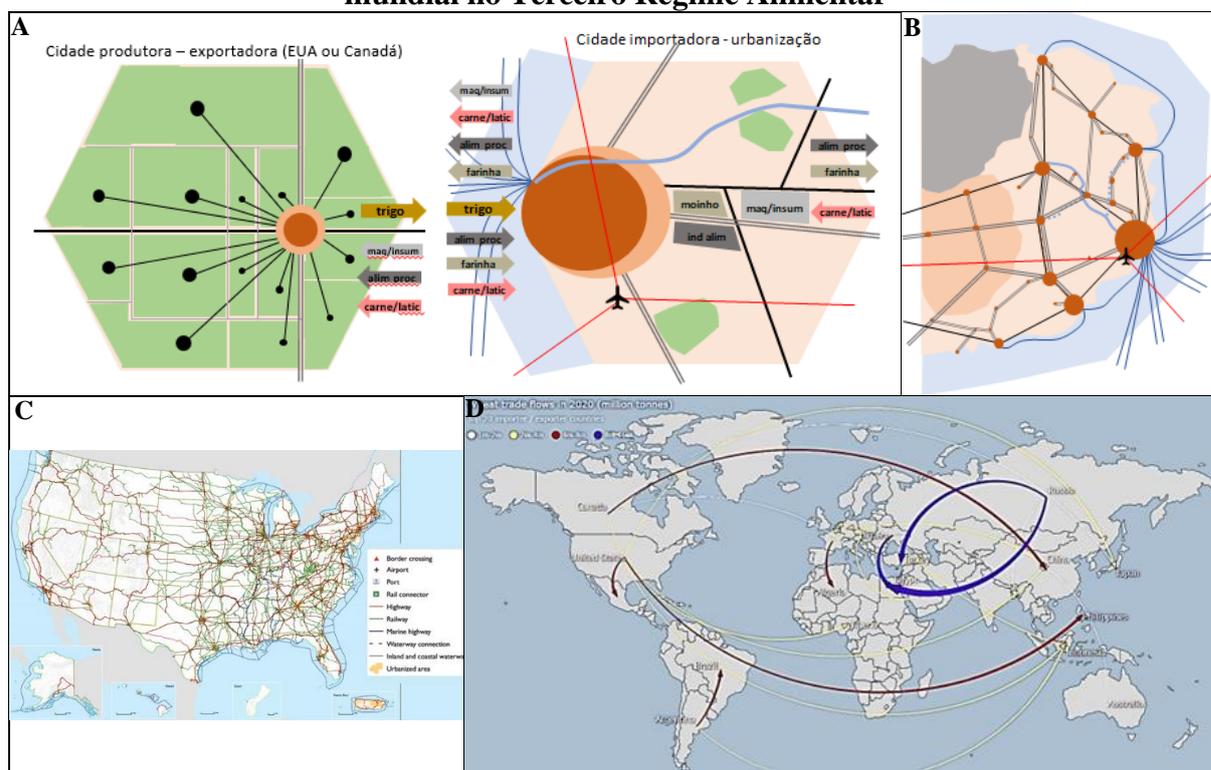
Observa-se grande diferença com relação ao Segundo Regime Alimentar. Sem mecanismos de controle de preços estatais, variações de preços significativas (entre 5 a 10%) tornaram-se mais frequentes. Grandes variações (maiores que 3 desvios padrões, ou 20%) ainda ocorreram. Em 1996, 2002-03, 2007-08, 2011 e 2017, as concentrações de volatilidade de preços são resultado de movimentos especulativos nas bolsas de futuros e de alterações nas políticas de exportação e importação de países centrais diante de notícias sobre condições climáticas adversas no norte do Mar Negro ou no meio-oeste americano. O caráter sistêmico da crise alimentar afetou principalmente países pobres sem produção local ou sem condições de assegurar estoques. Em 2022, a razão foi a invasão da Ucrânia pela Rússia, que envolveu não apenas grandes produtores de trigo como também exportadores de fertilizantes e de petróleo.

Após 1995, a curtose foi de 4,5, indicando distribuição leptocúrtica. Já os expoentes de Hurst são parecidos com os do período 1972-2021 apresentados no estudo empírico: $H = 0,58$ no curto prazo e $H = 0,36$ no longo prazo, indicando multifractalidade, passando de persistência para anti-persistência com ciclo não periódico de 7 ou 8 anos. Os expoentes da lei de potência do espectro de Fourier são compatíveis, apesar de o menor intervalo de tempo não permitir boa precisão no longo prazo. Isto é, há sinais de complexidade, mas com reversão no longo prazo menos acentuada que no Segundo Regime.

Os esquemas das Figuras 5.14 e 5.15 trazem mudanças da organização do mercado, com configuração de agrupamentos em torno de grandes corporações, em vez de Estados que exerciam controles.

A escala local (A) mostra os efeitos das mudanças institucionais implantadas por governos neoliberais, por pressões de corporações interessadas em grãos baratos. Nos EUA, a política do “Celeiro da Normalidade Permanente” do *New Deal* foi substituída por um sistema de pagamentos com subsídios diretamente a fazendeiros, sem piso de preços ou controle de estoques. Os incentivos para aumentar a produção produziram concentração, com fazendas que adotavam processos industriais com químicos e mecanização. (POLLAN, 2007)

Figura 5.14 – Esquemas de estrutura de mercado nas escalas local, regional, nacional e mundial no Terceiro Regime Alimentar



Fontes: **A (cidade) e B (região)** – elaboração própria.

C (país) – mapa de transporte nos EUA. Disponível em: <<https://www.fhwa.dot.gov/freighteconomy/>>.

D (mundo) – fluxo comercial de trigo em 2020. Disponível em: <<https://interactive.carbonbrief.org/commodity-profile-wheat>>.

As cidades rurais ampliaram sua inserção no mercado. Além de fornecerem trigo e comprarem insumos e máquinas, passaram a adquirir alimentos processados e derivados. Já as cidades industriais ampliaram e diversificaram o comércio externo, valendo-se de sua posição privilegiada e do efeito ocupação na rede comercial. Essas cidades, ou regiões próximas, passaram a abrigar indústrias de máquinas agrícolas e de insumos químicos, além de fornecerem serviços. Por explorarem atividades mais elaboradas, de maior valor agregado, obtinham vantagens nos termos de troca com cidades rurais. A retirada de parte dos subsídios estatais implicou em redução da produção agrícola local em países europeus. A segmentação por renda nas cidades é representada pelos subúrbios, com impactos no consumo.

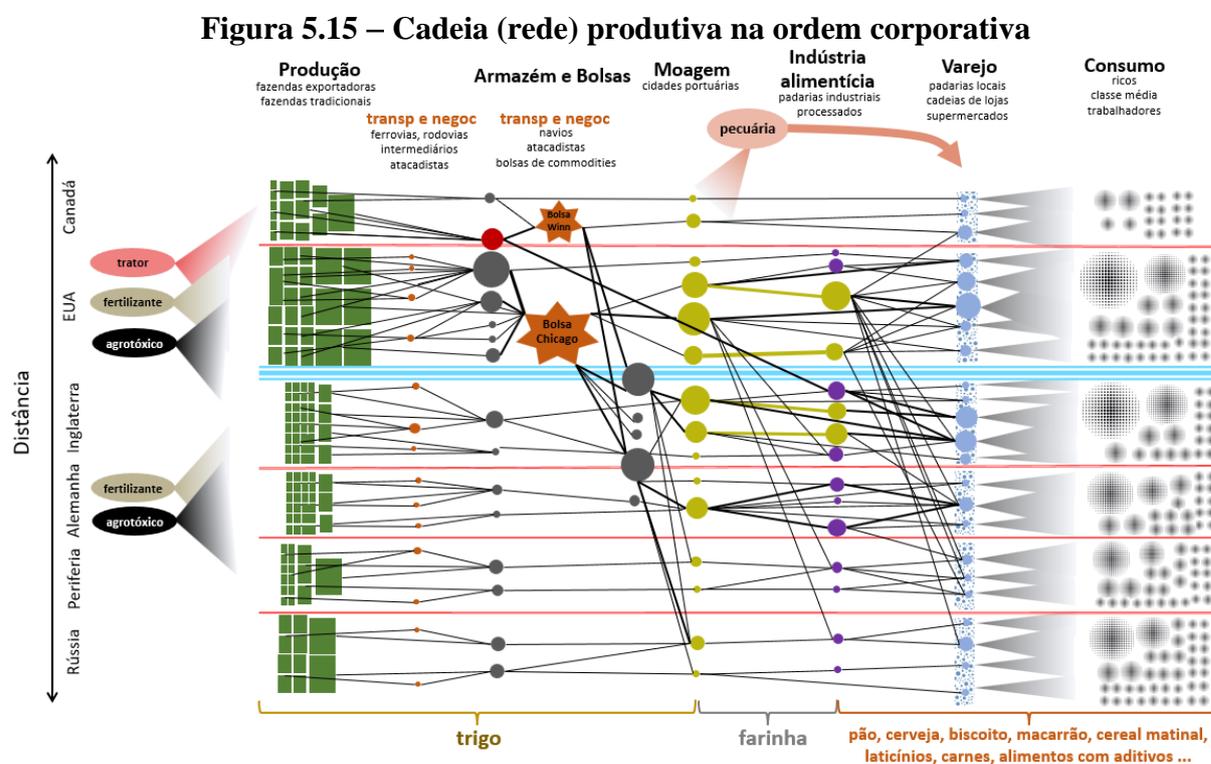
O esquema regional (B) mostra o progressivo adensamento das redes de transporte que se traduzem em maior integração entre interior e cidade principal, que centraliza as conexões com o exterior. Além das ligações com o interior, estabelecem redes com outros *hubs* em diferentes partes do mundo, valendo-se de aeroportos e modernos portos oceânicos com capacidade de lidar com contêineres, no processo de internacionalização de cadeias produtivas para aproveitamento de vantagens competitivas por grandes corporações.

Na escala nacional, o mapa das redes de transporte dos EUA (C) evidencia a sobreposição de modais e como algumas cidades historicamente favorecidas por conexão

preferencial consolidam-se como *hubs* do mercado global.

O mapa do fluxo comercial de trigo em 2020 (D) mostra a integração da Rússia e da China no mercado regular. Além do trigo, esses países tornaram-se importadores de milho e soja para pecuária e indústria alimentícia. Mas, como mostraram os gráficos de exportação e de produção de trigo no capítulo histórico, os maiores produtores mundiais de trigo atuais (China e Índia) pouco exportam, consumindo internamente a maior parte da produção. Isto é, existe um considerável mercado de trigo a nível nacional mantido à margem do comércio global.

A Figura 5.15 mostra o esquema da rede produtiva na ordem corporativa. As características mais marcantes são a concentração nos diversos setores, o estabelecimento de padrões de qualidade por atores privados e menores barreiras entre países.



Fonte: elaboração própria.

Na produção de trigo, houve aumento de produtividade em grandes fazendas que aproveitavam economias de escala. A difusão da Revolução Verde por países periféricos permitiu produção local, mas implicou em dependência com relação a grandes corporações de países centrais para obtenção de insumos industrializados (fertilizantes, agrotóxicos, herbicidas), máquinas e sementes modificadas.

Através do domínio das redes de comercialização, grandes armazéns – como Cargill, Archer Daniels Midland (ADM), Louis Dreyfus e Bunge – passaram a exercer ainda maior

influência em cadeias produtivas de grãos ao ampliarem sua atuação¹³⁴, conforme relatado no capítulo histórico. Com grande poder econômico, exercem influência na política agrícola para aumento da produção e barateamento de grãos.

Com a menor relevância de agências estatais que assinavam contratos de longo prazo, as negociações se concentraram ainda mais em bolsas de *commodities*. Com contratos futuros superando muitas vezes as transações físicas, a especulação permitia regularização de preços, mas também ampliava os efeitos de expectativas de desequilíbrios entre oferta e demanda, gerando momentos de criticalidade. Crises no mercado implicavam em fome, endividamento e instabilidade social de países sem capacidade para controlar estoques. Mesmo a produção local propiciada pela Revolução Verde não amenizava a situação, pela orientação exportadora em fazendas monocultoras. (MAGNAN, 2016)

A automação em modernas instalações de moagem exigia uniformidade de grãos, levando ao estabelecimento de padrões privados. Para atender mercados segmentados, foram criadas relações nas cadeias produtivas, com esquemas de certificação. Diferentes composições de farinha possibilitavam ampliação da variedade de produtos industrializados, levando a estreitas relações entre moinhos e a indústria alimentícia. Algumas empresas verticalizavam as atividades de moagem e processamento de alimentos como forma de assegurar o suprimento de padrões específicos. (MAGNAN, 2016)

A indústria de panificação foi transformada pelo avanço dos supermercados no varejo. Ao concentrarem as vendas, com políticas internas de ofertar pães baratos para atrair clientela, supermercados passaram a concentrar as vendas de pães industrializados – e depois com padarias próprias. Exercendo poder de oligopsônio, passaram a encomendar a fabricação de pães para venderem com marcas próprias. Empresas panificadores enfrentavam um dilema: ou aceitavam as condições e se tornavam produtoras genéricas ou tentavam conquistar parcelas de mercado com *marketing* baseado em qualidades específicas.

Por terem influência na rede nos dois sentidos – encomendendo de fornecedores segundo padrões específicos e induzindo mudanças de hábitos de consumidores – supermercados passaram a controlar partes da rede produtiva. Padrões privados diferenciados permitiam a exploração de nichos de mercado. Houve bifurcação de padrões, com um ramo de alimentos básicos e baratos e outro com produtos de qualidade superior voltado para

¹³⁴ Abastecem agricultores com pesticidas e fertilizantes; operam silos; intermediam envios para exportação; realizam moagem; alimentam animais e fazem abates; fermentam etanol; produzem adoçantes com xarope de milho, óleos, espessantes e demais subprodutos. (POLLAN, 2007)

consumidores de alta renda. (MAGNAN, 2016)

A ampliação da desigualdade social¹³⁵ e a formação de grupos heterogêneos geravam segmentação do consumo em vez do consumo de massa do pós-guerra. A sinalização social no consumo – de conformidade, não conformidade ou conspícuo – e a internacionalização da cadeia produtiva permitiam que grandes corporações dissociassem preços de custos e ampliassem suas margens de lucro. (CARRARA, 2019)

5.4 Conclusões

Este capítulo teve como objetivo associar o comportamento de preços do trigo à estrutura organizacional do mercado conforme descrito no estudo histórico.

Enquanto o mercado do trigo tinha abrangência apenas regional – ou inter-regional em épocas de crise produtiva – a fragmentação impedia a propagação de eventos por cadeia. Os preços eram muito sensíveis às condições locais, apresentando variações como ruído branco.

A partir do final do século XIX, quando as restrições à importação de grãos na Europa foram retiradas, houve integração da rede e as grandes cidades foram inundadas com grãos da América do Norte e da Rússia. O barateamento dos preços fez com que o trigo fosse consumido por trabalhadores assalariados no contexto da Revolução Industrial.

O crescimento do mercado resultou em sua transformação, conforme a expressão “*more is different*” de Anderson (1972), com novas instituições e novas estruturas. Para lidar com maiores volumes, mercadores se especializaram, houve padronização de pesos e de qualidades com verificação por terceiros, as negociações se concentraram em bolsas de *commodities* e foram adotadas tecnologias em transporte e armazenamento que permitiram substituir sacas por fluxos. As mudanças envolveram maior especialização, com melhoria de desempenho do sistema, novas instituições e novas estruturas.

A padronização comercial exigiu adaptações de produtores rurais e favoreceu as atividades de moagem de grãos em farinha e a diversificação de produtos processados, impactando a rede produtiva nos dois sentidos.

O aproveitamento de rendimentos crescentes viabilizou crescimento com conexão preferencial que, segundo Barabási (2016), resulta em rede sem escala. Isto é, passou a haver dinâmicas em variadas escalas devido à distribuição de tamanho em lei de potência.

¹³⁵ Consequência da globalização e de políticas neoliberais, que impunham dificuldades para a atuação de sindicatos, mas não de associação de empresários. Com isso, iniciou-se um processo de redução da participação dos salários na renda a partir do início da década de 1970 (BIVENS et al., 2014).

Devido às dificuldades para vencer barreiras, a conexão de longa distância geralmente era intermediada por agentes já estabelecidos na estrutura de mercado anterior, que se valiam do efeito ocupação e de vantagens associadas à conexão preferencial para crescer ainda mais e se tornarem *hubs* do sistema. Esses agentes que ocupavam posição estratégica na rede produtiva, como armazéns, concentraram ligações e passaram a exercer coordenação descentralizada, auferindo vantagens devido ao poder de mercado.

A emergência de estrutura de mercado fractal permitiu a transmissão de informações em grande velocidade nas partes da rede bem conectadas. A característica de mundo pequeno do sistema econômico tornou possível longas correlações comportamentais entre agentes, com dinâmicas de ações e reações capazes de propagar novidades por todo o sistema. Mas a estrutura de rede sem escala também comporta regiões e atores menos conectados, com lapsos temporais de atualização a novidades e de reações. Passou a haver, portanto, turbulência no sistema econômico, com regiões da rede muito ativas que respondem rapidamente e outras com defasagem.

A distribuição de tamanhos de agrupamentos em lei de potência, com diferentes taxas de atualização conforme novidades, passou a impactar variáveis agregadas, como preços, que passaram a apresentar assinaturas de sistemas complexos: distribuição leptocúrtica, espectro de Fourier em lei de potência e expoente de Hurst que evidencia persistência ou efeito de memória no sistema. A atualização de muitos pequenos agrupamentos produzia frequentes pequenas variações, enquanto as raras mudanças de comportamento de grandes agrupamentos, devido à maior estabilidade, geravam as variações atípicas da distribuição de cauda larga.

Os avanços em transportes e em comunicações da Revolução Industrial foram determinantes para a configuração de rede sem escala, por reduzirem custos e tempo de circulação, ampliarem a confiabilidade na distribuição, viabilizarem conexões de longa distância e permitirem queda de preços, com reflexos na extensão de mercado. A infraestrutura de cada época determinava o potencial de abrangência do comércio.

A emergência da complexidade no sistema econômico parece ter relação com o surgimento do nível global de transações. A partir de então, encadeamento de *feedbacks* permitiam fluxos de informações e adaptações nas diferentes escalas quando ocorria alguma novidade relevante em qualquer ponto da rede.

Os esquemas de estruturas de mercado do trigo nas diferentes escalas (local, regional, nacional e mundial) e em redes produtivas mostram que o nível mundial de transações se estabeleceu somente a partir do final do século XIX. Desde então, novas atividades, novos atores especializados e novos produtos resultaram em entrelaçamento da rede produtiva do trigo

com os demais setores da economia, configurando o complexo sistema econômico.

Se processos de auto-organização configuravam estruturas e regras relacionais que favoreciam transações por reduzirem a incerteza, o progressivo crescimento conduzia a momentos de criticalidade, por revelar gargalos e conflitos latentes. Após crises sistêmicas, o sistema podia se recuperar rapidamente através da exploração de possibilidades. Mas, alguns eventos disruptivos eventualmente desestruturavam o sistema e exigiam mais tempo para remodelar instituições e agrupamentos até a consolidação de nova ordem econômica.

6 SISTEMA ECONÔMICO COMPLEXO E ADAPTATIVO

6.1 Introdução

Intuições de sistemas complexos estão presentes na obra “A Riqueza das Nações” de Adam Smith (1985 [1776]). Nos três primeiros capítulos do livro é discutida a relação circular entre divisão de trabalho e extensão do mercado, um processo com *feedback* positivo que resulta em desenvolvimento econômico.

O nível de divisão de trabalho e de especialização depende do grau de certeza de troca, associado à extensão de mercado. Por outro lado, a divisão de trabalho contribui não apenas para o crescimento da produção¹³⁶ e da renda, como também para a redução de custos de produção e de comercialização ao longo do tempo, que, em ambiente competitivo, resultará em queda de preços. O aumento da renda e a redução de preços ampliam o acesso de consumidores a mercadorias, expandindo o mercado.

Mas a extensão de mercado, associada à certeza de troca, não é regular e simétrica como em um mundo idealizado. Irregularidades – como condições geográficas, fronteiras, barreiras comerciais, vias – são determinantes para a circulação de informações e de mercadorias.

Interações repetidas induzidas por tais irregularidades favorecem regras relacionais que reduzem incertezas e permitem especialização, o que amplia o desempenho de grupos. Devido à interdependência, são desenvolvidos mecanismos reguladores que conferem certa resistência a mudanças de forma a manter variáveis essenciais em faixas adequadas para o funcionamento do agrupamento (como o conceito de *homeostasis* na biologia)¹³⁷.

Por emergir de interações recorrentes, agrupamentos podem ter regras relacionais próprias. Como sistemas complexos são compostos por muitos agrupamentos de diferentes escalas, a diversidade, a redundância e a capacidade de adaptação contribuem para a robustez do sistema, evitando desestruturação e colapso em caso de perturbações intensas e abruptas.

¹³⁶ A ampliação da divisão de trabalho viabilizada pela troca permite maior produtividade por várias razões. Havendo alternativas e acesso a oportunidades, cada um optará por se especializar em atividades que encontram mais facilidade, seja por inclinação pessoal ou por condições favoráveis. A especialização favorece o aprendizado, invenções e inovações que reduzem custos e ampliam os resultados, seja em termos quantitativos ou por melhorias da qualidade ou ainda pela criação de novas variedades. Além de aprimorar processos produtivos, podem ser introduzidos instrumentos ou máquinas que amplificam o produto do trabalho e simplificam a operação, tornando-a mais acessível a pessoas sem treinamento específico de forma a prescindir de qualificação profissional. A divisão de trabalho também reduz o tempo gasto na transição entre atividades. Ainda, em caso de atividades desenvolvidas em conjunto, a cooperação produz sinergias por ações coordenadas, com grupos desempenhando atividades específicas integrados em um sistema produtivo. A criatividade também pode ser favorecida pela fricção de ideias de pessoas com diversidade de características e de vivências.

¹³⁷ Preços de itens essenciais à sobrevivência, como de alimentos básicos, são variáveis que devem ser mantidas em faixas aceitáveis para evitar agitação social.

A depender do grau de integração e da estrutura organizacional, novidades podem ter impacto restrito ou podem se propagar por cadeias de eventos que afetam agrupamentos sucessivamente e percolar pelo sistema. À medida que o sistema cresce e se interconecta, a velocidade de transmissão de perturbações aumenta e as adaptações mútuas entre os elementos viabilizam sincronização, ou comportamentos correlacionados. A coordenação descentralizada afeta o desempenho do sistema devido à emergência de propriedades coletivas que diferem do esperado em caso de aleatoriedade ou independência na tomada de decisão.

A constatação de que a economia capitalista se comporta como sistema complexo adaptativo exige abordagens teóricas que destaquem a diversidade de agentes e as alternativas comportamentais envolvidas em processos em que relações repetidas produzem estruturas e regras relacionais que moldam decisões. Em vez de análises atemporais, é preciso avaliar como sistemas evoluem e como agentes reagem a padrões que eles próprios criam (ARTHUR, 2015a).

6.2 Organização: micro – meso – macro

A organização entre os elementos está no cerne de sistemas complexos. Em vez de mera soma das partes como se fossem independentes, o resultado agregado (macro) depende de como os elementos se organizam. Processos de auto-organização geram correlação e formação de agrupamentos (estruturas mesoscópicas) com comportamento coletivo. Como os processos de auto-organização atuam em todo o sistema, há semelhanças entre os agrupamentos. Mas, por serem resultantes de interações repetidas em contextos específicos, cada agrupamento tem suas particularidades. Afinal, a seleção do comportamento de cada elemento, dentre as alternativas possíveis, depende de estímulos do ambiente local e de influências dos outros elementos com quem se relaciona. Como resultado, tem-se a formação de estrutura com variações, conforme salientado por Goldenfeld e Kadanoff (1999), com detalhes nas várias escalas.

Mandelbrot salientou a relevância das irregularidades para a análise de sistemas complexos naturais e sociais. Processos recursivos simples com algum grau de variabilidade são capazes de produzir estruturas autoafins mais estáveis e tolerantes a erros que as simétricas, favorecendo a evolução com especialização em sistemas ecológicos e humanos. (MANDELBROT e HUDSON, 2007)

A organização do sistema tem relação com seu tamanho, como destacou Anderson (1972) com a expressão “*more is different*”, em uma crítica à hipótese construcionista, que supõe ser possível reconstruir o todo a partir dos elementos constituintes. Em vez disso, emergem propriedades a cada nível de agregação.

A economia capitalista caracteriza-se pelo crescimento. Para lidar com a escala

ampliada, surgem novas atividades, agentes e regras relacionais. À medida que a economia cresce e se integra, novas conexões afetam a transmissão de informações e a capacidade de sincronização comportamental, conforme reações dos agentes às novidades.

Como os processos de auto-organização se repetem em diversas escalas, há formação de agrupamentos de vários tamanhos, resultando em estrutura fractal com semelhanças entre o todo e as partes, assim como particularidades locais. Devido a essa estrutura organizacional, perturbações podem ser absorvidas localmente ou podem se propagar pelo sistema como avalanche, a depender das respostas (*feedbacks*), resultando em dinâmica fora do equilíbrio. A auto-organização e regras relacionais estabelecidas favorecem padrões e tendências de comportamentos em agrupamentos, com correlações de longo alcance.

Mas uma característica essencial de sistemas complexos é haver tendência natural de o sistema passar por transição de fase, chamada de criticalidade auto-organizada, quando a transmissão de informações adquire grande velocidade e variáveis agregadas apresentam alta volatilidade. Essa tendência de transição ocorre devido ao acoplamento entre tendências e contra-tendências à auto-organização. Isto é, a cumulatividade de efeitos em um sentido dispara reações que revertem a condição do sistema. Por isso, variáveis agregadas do sistema apresentam série temporal irregular e com intermitência, isto é, períodos de relativa estabilidade se alternam com outros de alta volatilidade, implicando em não linearidades (saltos) que podem provocar reorganização do sistema.

Em sistemas complexos adaptativos, há geração endógena de novidades por adaptações a contextos locais. A possibilidade de criação de alternativas implica em sistemas vivos, com diversidade evolutiva, ocupação de nichos e melhoria de desempenho devido ao aprendizado e à especialização. Mas como a especialização implica em interdependência, agrupamentos desenvolvem mecanismos, como redundância e flexibilidade, para manterem variáveis essenciais à estabilidade do sistema em faixas aceitáveis (ASHBY, 2004 [1962]). Como sistemas complexos adaptativos apresentam melhor desempenho e robustez, pela possibilidade de reorganização para superar perturbações, tais sistemas são favorecidos pela evolução. Em vez de colapso, dinâmicas de auto-organização permitem a reconfiguração do sistema.

Aplicar a abordagem da complexidade ao sistema econômico implica em destacar a evolução organizacional. Para isso, é preciso avaliar as características dos agentes e suas alternativas comportamentais (micro), como ocorrem as relações – envolvendo ações e reações – que afetam a seleção do comportamento e quais os mecanismos de auto-organização que produzem correlações comportamentais e formação de agrupamentos (meso). Afinal, o agregado (macro) tem propriedades que emergem da organização do sistema.

6.3 Agentes e relações

Para analisar a economia como sistema complexo, é preciso abandonar a concepção de agente representativo, racional, otimizador e com independência na tomada de decisões. Deve-se levar em conta que há diversidade de características, multiplicidade de interesses, adaptação às circunstâncias, incerteza na tomada de decisão e influências na seleção de comportamentos.

Indivíduos – elementos básicos do sistema econômico – podem se diferenciar por: capacidades individuais; conhecimento acumulado individual e social (cultura); idade/fase da vida; gênero; origem; localização; atividades desempenhadas; nível de renda/riqueza; e condição familiar, dentre outros. A depender do que se está avaliando, é preciso considerar os fatores mais relevantes e a forma de distribuição: se mais próxima à normal ou à lei de potência. Por exemplo, a distribuição de riqueza em lei de potência implica que poucos privilegiados têm muitas oportunidades e flexibilidade de ação, enquanto a maioria tem rígidas restrições de alternativas comportamentais.

Além de perceber que comportamentos diferem devido a particularidades individuais, mesmo diante dos mesmos estímulos, também é preciso considerar que nem sempre nos comportamos da mesma forma, já que o contexto nos influencia. Assim, os mecanismos capazes de produzir correlação comportamental, ou sincronização, são determinantes para os resultados agregados, com destaque para o que determina a tomada de decisão.

Em vez do *Homo economicus* – agente racional que otimiza funções sujeitas a restrições tendo conhecimento de todos os aspectos relevantes e que sempre faz a melhor escolha – é relevante considerar as disposições humanas associadas ao instinto, à criatividade, à cognição, ao aprendizado e à sociabilidade para realizar escolhas satisfatórias em ambientes de incerteza devido a mudanças frequentes.

Uma abordagem mais apropriada é a racionalidade limitada, proposta por Herbert Simon (1955, 1986, 1990), que leva em conta as condições em que o agente se encontra, como uma adaptação racional ao ambiente de escolha. Devido às restrições de velocidade e de poder computacional, pessoas usam métodos aproximados para lidar com suas tarefas. Para poupar esforços, indivíduos podem adotar heurísticas simples em vez de deliberação cuidadosa.

Diante de novidades, pode haver diversas reações a depender das características dos agentes, da configuração do ambiente de tomada de decisão, do acesso a informações e das relações entre os elementos. No novo contexto, os agentes podem manter seus comportamentos devido a hábitos ou rotinas estabelecidos em experiências passadas – o que confere certo caráter inercial – ou alterá-los. A adaptação pode ocorrer através de aprendizado com a própria

experiência – por exemplo, em um processo de tentativa e erro conduzido por *feedbacks* – ou pela observação das experiências de terceiros, que podem ser imitadas.

Portanto, a racionalidade limitada permite avaliar decisões por métodos simples influenciadas por informações locais que fornecem gatilhos para a seleção de heurísticas. Ou seja, elementos do sistema econômico têm alternativas de comportamento e a seleção depende do contexto local, que inclui relações com outros elementos. Em vez de configuração ótima e estável, o sistema está sujeito a correlações comportamentais que afetam sua organização.

Como indivíduos nascem, envelhecem e morrem, a dimensão temporal é relevante. Durante a vida, ocorre aprendizado com as experiências próprias e dos outros com quem se relaciona, favorecendo adaptação a diversos contextos. Comportamentos satisfatórios são selecionados e retidos para serem usados em contextos semelhantes, o que implica em memória, como na formação de hábitos e rotinas.

Outro efeito do tempo é a acumulação, que está na origem de distribuições em lei de potência que caracterizam sistemas complexos. A possibilidade de transferência por herança, por exemplo, viabiliza a ampliação progressiva de poder da elite enquanto grande parte da população permanece no nível básico de subsistência. Isso faz com que as alternativas de cada indivíduo dependam de sua classe social, em grande medida uma característica herdada.

A multiplicidade de interesses é outro fator a dificultar a tomada de decisão em contextos ambíguos. Os agentes desempenham, pelo menos, dois tipos de atividade econômica: na produção/distribuição e no consumo, sendo essas atividades relacionadas através da renda/riqueza. E além das atividades econômicas, humanos têm outros interesses (como proteção familiar, lazer e realização pessoal) que merecem ser considerados.

A análise econômica como sistema complexo adaptativo exige considerar duas características importantes, muitas vezes negligenciadas na teoria ortodoxa: 1) aprendizado – a repetição de atividades permite aprimoramento do desempenho; e 2) convivência – imersão em relações sociais, na família, com amigos, colegas... A conjunção dessas duas características implica em capacidade de aprender a conviver e de se organizar para obter resultados agregados satisfatórios através da cooperação.

Pela fragilidade diante de ambientes hostis, humanos evoluíram de forma gregária, o que implica em grande relevância dos aspectos social e político. Laços familiares constituem o grupo básico de proteção, havendo divisão de trabalho por gênero e idade. Relações de cooperação estão na origem de agrupamentos humanos para prover segurança e ampliar a capacidade de adaptação ao ambiente.

À medida que as comunidades cresciam, a cooperação em maior escala possibilitava

ampliação da especialização e do desempenho. Mas o crescimento implica em desafios, já que oportunistas (*free riders*) podem se aproveitar de relações de confiança na comunidade. Outros mecanismos surgiram para sustentar cooperação em larga escala entre indivíduos não relacionados geneticamente, sendo transmitidos através da cultura. A reputação e o *status* social de indivíduos, por exemplo, representam informação pública para previsão de comportamentos (julgamento público). A reciprocidade, em que se adota estratégia condicional que replica comportamentos tanto cooperativos como não cooperativos, foi uma adaptação para lidar com desconhecidos¹³⁸ (STOELHORST e RICHERSON, 2013; WEIS e FERSHTMAN, 1998).

Por ser fundada nas relações sociais, sociedades adotavam princípios de distribuição a depender do padrão: reciprocidade, se predominava o padrão de simetria, e redistribuição, se houvesse centralidade. Também havia troca para complementar a distribuição material, mas não era predominante. (POLANYI, 2000 [1944])

Além das relações de cooperação na interação entre elementos pertencentes à mesma comunidade (semelhantes), a competição por recursos podia gerar relações de conflito com outras comunidades. Contatos com grupos vizinhos – como em disputas por fronteiras – podiam gerar sentimento de desconfiança com relação a estranhos ao mesmo tempo em que ampliavam a coesão entre os membros. O conflito ocorre quando um agente quer eliminar ou enfraquecer o outro, como se viu na disputa entre ingleses e estadunidenses entre 1815 e 1819¹³⁹ e na atual guerra dos *chips* entre EUA e China.

Mas as relações entre diferentes comunidades não se limitavam a conflito. Diferenças de atributos naturais e culturais, pela evolução em relativo isolamento, implicavam em bens que podiam ser trocados entre grupos. Através de transporte e negociação, mercadores passaram a ligar comunidades, intermediando transações comerciais e configurando redes que ampliavam a possibilidade de divisão de trabalho.

O mercado tem origem, assim, nas trocas entre diferentes comunidades¹⁴⁰. Mas, ao

¹³⁸ Relações repetidas favorecem cooperação, mesmo quando incentivos individuais induzem ao egoísmo, como no dilema dos prisioneiros com repetição. A estratégia “olho por olho” ilustra a reciprocidade que permite cooperação e ganho coletivo em um contexto de desconfiança mútua.

¹³⁹ Endurecimento das *Corn Laws*, Atos de Navegação Americanos e Free Port Act inglês que resultou no pânico americano de 1819.

¹⁴⁰ “(...) a troca de produtos surge nos pontos em que diferentes famílias, tribos e comunidades entram mutuamente em contato, pois, nos primórdios da civilização, são famílias, tribos etc. que se defrontam de forma autônoma, e não pessoas privadas. Comunidades diferentes encontram em seu ambiente natural meios diferentes de produção e de subsistência. Por isso, também são diferentes seu modo de produção, seu modo de vida e seus produtos, e é essa diferenciação natural-espontânea que, no contato entre as comunidades, provoca a troca dos produtos recíprocos e, por conseguinte, a transformação progressiva desses produtos em mercadorias. A troca não cria a diferença entre as esferas de produção, mas coloca em relação esferas de produção diferentes e as transforma, assim, em ramos mais ou menos interdependentes de uma produção social total. A divisão social

contrário das relações sociais, em que predominam interações entre semelhantes, as relações de mercado tentam estabelecer cooperação impessoal, seja para satisfação de necessidades de consumo ou para obtenção de recursos para atividades, como insumos e instrumentos.

Já a competição no mercado ocorre entre agentes que desempenham a mesma atividade: fornecedores de bens/serviços semelhantes concorrem para efetivar transações. Em ambientes concorrenciais, mesmo imperfeitos, melhorias de desempenho que impliquem em redução de custos se refletem em menores preços que permitem ampliação do mercado.

Mas, apesar do destaque dado à concorrência na teoria econômica ortodoxa, as relações de mercado se baseiam na cooperação entre diferentes através de transações comerciais. Afinal, uma troca só se efetiva se os dois lados acharem vantajoso, por mais que a distribuição dos ganhos entre as partes seja assimétrico.

Produzir cooperação entre agentes não pertencentes ao mesmo grupo é uma diferença fundamental das relações no mercado que exige outras regras e mesmo intermediação por terceiros ou por mecanismos para superar a desconfiança mútua. Como produtores e consumidores têm conhecimentos e interesses diversos, as transações muitas vezes exigem coordenação por intermediários, semelhante ao que ocorre com tradutores na comunicação entre pessoas que falam línguas diferentes. Dada a relevância da coordenação para a transação, aquele que se esforça nesse sentido colhe benefícios, por explorar informações incompletas das partes conectadas. (LANGLOIS e COSGEL, 1996).

O comerciante é um agente que desempenha esse papel, levando informações e provocando adaptações dos dois lados. Ao encomendar produtos e sugerir adaptações para melhor atender consumidores, traduz desejos e preferências de consumidores a produtores. Também induz escolhas de consumo, seja por traduzir custos e qualidades de produtos a consumidores, ou por moldar ambientes de compra (*framing*). (LANGLOIS e COSGEL, 1996)

Outra diferença do comerciante com relação aos demais agentes econômicos é variar o tamanho do estoque em resposta a perturbações. Ao atuar como absorvedor de choques, impede variações bruscas de preços e preserva uma certa ordem no mercado. Para Kaldor, o carregamento de estoques por comerciantes na expectativa de lucros em transferências intertemporais pode ser chamado de uma forma de “especulação”, não havendo muita diferença em relação a transferências espaciais. Afinal, como o transporte de mercadorias leva tempo, a atividade mercantil normalmente envolve transferência dos dois tipos. (KALDOR, 1972)

do trabalho surge aqui da troca entre esferas de produção originalmente distintas e independentes entre si.” (MARX, 2013 [1867], cap. 12)

Quando comerciantes ligam mercados com dinâmicas próprias, podem explorar assimetrias de informação para obter lucros extraordinários. Mas, à medida que o volume comercializado cresce, a tradução entre produtor e consumidor também pode ocorrer pela emergência de mecanismos devido a interações repetidas, como padrões comuns (LANGLOIS e COSGEL, 1996). Nesse caso, os altos fluxos compensam a redução da margem.

A cooperação, em diferentes níveis, ocorre ao longo de cadeias produtivas, entre agentes que se especializam em algumas atividades e que dependem de outros atores. Essas relações de cooperação podem ser transitórias, como em compras esporádicas, ou podem resultar em fidelização e mesmo em contratos que permitem compartilhamento de informações estratégicas, viabilizando a correlação comportamental de longo prazo.

Como relações no mercado envolvem atualizações de transações em periodicidades diversas, o sistema econômico está sujeito a mudanças organizacionais mais frequentes que em outros sistemas complexos, como a ecologia. Como também há medições sistemáticas de variáveis, a economia é um campo fértil para o aprofundamento do estudo de complexidade.

Por mais que transações no mercado estejam no cerne da economia capitalista, não é possível desprezar outras relações que exercem significativa influência na organização do sistema. Há relações sociais que disseminam informações, induzem desejos, preferências e hábitos, que moldam modelos mentais e que afetam o acesso a oportunidades. Há relações políticas, através de associações de agentes com interesses comuns, que comprometem o caráter competitivo, interferem no balanço de forças no mercado e direcionam a atuação de governos. O Estado – além da atuação direta no mercado como comprador ou vendedor – exerce influência através de leis, regulações, tributos, subsídios e políticas de incentivo. Mesmo se tratando de relações fora do mercado, esses fatores têm o potencial de gerar circularidades.

A depender do tipo de produto, da frequência das transações, dos agentes envolvidos e do contexto, determinado tipo de relação pode prevalecer, contendo elementos de conflito, de concorrência e de cooperação. Por exemplo, apesar da concorrência caracterizar as relações entre atores que desempenham a mesma atividade, também pode haver cooperação para limitar a competição e ampliar a retenção dos benefícios de transações com agentes de outros setores, como ocorre em associações comerciais, industriais, cartéis e sindicatos. Tal cooperação costuma ser mais efetiva em condições de proximidade e com poucos atores.

Uma característica primordial dos sistemas complexos é a emergência de propriedades em cada nível de agregação devido a comportamentos coordenados em agrupamentos. Isso permite que a análise da dinâmica em determinado nível hierárquico, ou escala, prescindida da análise reducionista até os elementos constituintes. Em vez disso, é possível concentrar no nível

correto de descrição, conforme o objeto de estudo, como destacado por Goldenfeld e Kadanoff (1999). Por exemplo, para estudar as relações entre empresas, não é preciso detalhar a estrutura de cada empresa ou como comportam seus funcionários. Afinal, a empresa constitui uma entidade agregada e o que determina seu desempenho frente às demais empresas são as suas propriedades coletivas, como cultura empresarial, estratégia no mercado, política de inovação, etc. O mesmo raciocínio vale ao se analisar relações entre cidades ou países, por exemplo.

Mas também é preciso considerar que influências mútuas entre níveis hierárquicos, em especial entre as escalas próximas, têm o potencial de afetar comportamentos e produzir mudanças estruturais. O nível de análise agregada funciona melhor em momentos de ordem, quando regras relacionais estão bem definidas e reduzem incertezas. Mas, em caso de crise, muitas vezes é preciso estender a abrangência da análise aos níveis hierárquicos próximos, já que reorganizações têm o potencial de afetar processos nas várias escalas do sistema. Por exemplo, ao analisar as relações entre humanos, não é preciso considerar os processos biológicos por trás de seus comportamentos. Mas uma epidemia, como a Covid, pode afetar relações e ter repercussões globais. Assim, em momentos de criticalidade – devido à alta sensibilidade às condições – mudanças em qualquer nível podem produzir encadeamento de eventos e impactar as diversas escalas do sistema.

6.4 Auto-organização e emergência

Considerando a diversidade de agentes e de alternativas, quais são os mecanismos que produzem correlação comportamental, formação de estruturas e emergência de propriedades agregadas na economia? Diferentes mecanismos de organização atuam simultaneamente, contribuindo para a formação de ordens que reduzem a incerteza e favorecem relações.

Determinada ordem pode ser configurada por uma autoridade central, como em firmas com chefes autoritários ou em Estados autocráticos que controlam a ação de cada elemento. Mas, nesses casos, a estrutura é rígida e determinada de cima para baixo, sem margem para reorganização por mudanças no contexto, a não ser quando comandada pelo controlador.

Outro tipo de organização pode advir de relações de cooperação com coordenação central, como as que ocorrem em firmas. Além de relações de autoridade, a organização envolve incentivos à conformidade como prêmios e mecanismos sociais que atuam em grupos coesos, como identificação (SIMON, 1991). Através de planejamento centralizado, de hierarquias de comando e de regras relacionais internas, pode ser possível estabilizar o ambiente, melhorar o desempenho, ampliar a escala e a abrangência de atuação e manter atividades de alto risco, como P&D e projetos pilotos que exploram alternativas.

Mas a organização de um sistema também pode resultar de processos com coordenação descentralizada. Afinal, as interações entre os elementos permitem fluxos de informações que sinalizam necessidades de adaptação. A partir dessas sinalizações, agentes podem sincronizar seu comportamento, em um processo de auto-organização que resulta na emergência de propriedades agregadas, como ocorre em movimentos coordenados de cardumes ou em colmeias. Apenas percebendo o comportamento daqueles com quem se relaciona, mesmo sem a visão do todo, elementos ajustam suas ações fazendo emergir estruturas coletivas que ampliam o desempenho do grupo, seja replicando o comportamento ou ocupando uma função carente.

Esse tipo de coordenação descentralizada se manifesta na economia nas relações no mercado, quando agentes continuamente adaptam seu comportamento conforme acessam informações e alinham expectativas. As decisões – de compra, de venda, de investimento, de imitação e de inovação, por exemplo – são tomadas de acordo com a conjuntura local e temporal, baseadas em interpretações imperfeitas do contexto sem a visão sistêmica.

É no mercado que ocorre o confronto entre oferta e demanda. Devido a esse acoplamento, ocorrem adaptações mútuas que resultam em coevolução. Por um lado, produtores e vendedores – muitas vezes através da intermediação de comerciantes – tentam induzir consumidores, através de propagandas e *marketing*, ao valorizar características de seus produtos. Já os consumidores selecionam os produtos, apontando direções de exploração.

Interações repetidas no mercado fazem emergir padrões – de pagamento, de pesos e medidas e mesmo de qualidade – que permitem ampliação da escala comercial. Esses padrões podem surgir inicialmente em transações entre comerciantes, com suas regras particulares, e depois ser adotados por outros agentes, provocando adaptações na produção e no consumo.

A frequência de interação produz a emergência de agrupamentos de agentes com comportamentos correlacionados e de regras específicas que favorecem as relações. Dadas as particularidades de ambientes, podem surgir agrupamentos de vários tamanhos.

A correlação comportamental – devido a processos de auto-organização que envolvem recursividade – produz a emergência de propriedades agregadas no sistema, como: estrutura de mercado, com distribuições de elementos e de agrupamentos em lei de potência (tamanho de empresas, de cidades, riqueza de famílias...); regras relacionais em grupos e entre grupos; padrões coletivos; diversidade; poder de mercado, que afeta o grau de concorrência e gera distribuição assimétrica de ganhos de transações; maior velocidade de transmissão de informações; distribuição leptocúrtica de variações de variáveis agregadas; e melhor desempenho se comparado a sistemas com elementos aleatórios ou independentes.

Diferentes mecanismos de auto-organização atuam simultaneamente na economia:

6.4.1 Mecanismo de preços

Preços definem as relações de troca em economias monetizadas. Por acoplarem oferta e demanda, cada uma com dinâmicas próprias, os preços são tanto resultado dessa interação quanto indutores de comportamentos nos dois lados da transação.

O mecanismo de preços cumpre diferentes funções de coordenação no sistema econômico: transmite informações, induz decisões de compra e venda e impacta a alocação de recursos; determina as referências para expectativas de lucros futuros que direcionam investimentos, afetando o desenvolvimento econômico; transfere riqueza entre as partes, já que preços efetivos podem envolver assimetria de informações e poder de mercado.

Hayek (1980 [1945]) discute como é possível construir uma ordem econômica quando o conhecimento é disperso em um grande número de indivíduos e frequentemente contraditório. Para que rápidas adaptações às mudanças permitam manter o contínuo fluxo de bens e serviços, é preciso que as decisões sejam descentralizadas, isto é, deixadas àquelas pessoas que conheçam as circunstâncias, as mudanças relevantes e os recursos imediatamente disponíveis. Mas o “*man on the spot*” não pode decidir sozinho, o que requer um sistema de comunicação para provê-lo das informações necessárias à decisão consistente com o padrão global de mudanças do sistema econômico. Tal informação seria provida pelo sistema de preços.

Fundamentalmente, em um sistema em que o conhecimento dos fatos relevantes está disperso entre muitas pessoas, os preços podem atuar para coordenar as ações separadas de diferentes pessoas, da mesma forma que os valores subjetivos ajudam o indivíduo a coordenar as partes de seu plano. (HAYEK, 1980 [1945], p. 85)

Para Hayek, é preciso ver o sistema de preços como um mecanismo para comunicar informação e coordenar ações. E o ponto mais significativo desse sistema é a sua economicidade, isto é, o quão pouco os participantes precisam saber para tomar decisões na direção certa. Apenas a informação essencial é transmitida e apenas aos interessados.

É mais do que uma metáfora descrever o sistema de preços como uma espécie de mecanismo para registrar mudanças, ou um sistema de telecomunicações que permite aos produtores individuais observarem apenas o movimento de alguns ponteiros, como um engenheiro observaria os ponteiros de alguns mostradores a fim de ajustar as suas atividades a mudanças das quais poderão nunca saber mais do que o que se reflete no movimento dos preços. (HAYEK, 1980 [1945], p. 87)

Mas a visão do mercado é um tanto quanto simplista. Talvez pelo pressuposto de igualdade de condições competitivas, em vez de perceber que a dinâmica capitalista leva à concentração e centralização devido a fatores associados a conexão preferencial e a economias

internas. Os preços não necessariamente igualam custos¹⁴¹ por ação da competição no mercado, como argumentado por Hayek: há preços de monopólio e lucros extraordinários.

Também é preciso considerar que a organização em agrupamentos (dimensão meso) afeta a disseminação de informações e as reações de agentes e grupos. Por um lado, agrupamentos podem absorver perturbações e limitar a difusão de informação. Mas a configuração do sistema em grupos de diferentes tamanhos com distribuição em lei de potência cria potencial de maior velocidade de transmissão de novidades por cadeia de eventos, como avalanches em momentos de criticalidade. Assim, a depender da estrutura organizacional do sistema, e do tipo de perturbação, há diversas possibilidades de efeitos agregados.

Em situações de relativa estabilidade devido ao balanço entre oferta e demanda, preços servem de referência para decisões de compra e venda e também para planejamento de investimentos ou para provisão futura. A coordenação descentralizada propiciada pelo mecanismo de preços nesse contexto amplia a divisão de trabalho através de relações no mercado, com agentes se especializando em variadas funções ao longo da rede produtiva, mesmo entre desconhecidos e a longa distância. Isto é, emerge uma distribuição de trabalho em níveis hierárquicos (escalas) mais amplos e com muitos atores.

Mas, em caso de mudanças abruptas das condições, ou de expectativas, o desajuste – efetivo ou imaginado – entre oferta e demanda pode percolar pelo sistema, resultando em grande volatilidade de preços. Uma restrição momentânea de oferta, como quebra de safra ou bloqueio de rotas comerciais, por exemplo, pode produzir disparada de preço que permitirá que apenas aqueles com muito interesse e renda disponível acessem a mercadoria, retirando os demais do mercado. Nesses momentos de grande volatilidade, os preços deixam de carregar informações relevantes para o futuro e o mercado fica altamente sensível a condições locais, como na definição de caos. Transações físicas também são afetadas, já que vendedores ou compradores podem se sentir inseguros em negociar diante da instabilidade de preços, restando ao mercado os movimentos especulativos de negociação de títulos.

Entretanto, os altos preços efêmeros podem induzir alguns produtores a investirem em aumento de capacidade sem perceberem que dificilmente a mercadoria futura será vendida ao preço imaginado. Como preços variam no espaço e no tempo e como as respostas de agentes podem demorar devido à maturação de investimentos, reações de agentes econômicos podem ser intempestivas e resultar em turbulência no mercado, levando a falências e reorganizações.

¹⁴¹ Mas os custos acabam representando limite inferior para os preços, exceto no curto prazo e em condições específicas, como enfrentamento de concorrente.

De acordo com o conceito de *homeostasis*, algumas variáveis precisam ser mantidas em faixas aceitáveis para que haja relativa estabilidade de sistemas. Assim, alta volatilidade de preços de bens essenciais à sobrevivência, como de alimentos básicos, podem resultar em revoltas sociais, revoluções e guerras. Portanto, se em certas condições o mecanismo de preços contribui para a auto-organização, em outros, associados a bens essenciais, pode conduzir à criticidade e provocar transformações estruturais.

Regulações estatais buscam evitar essas situações, impondo alguma rigidez de preços de mercadorias consideradas essenciais para a estabilidade de agrupamentos, como dos setores de alimentação básica, saúde, energia e transporte interno. Mas, como observou Polanyi (2000 [1944]), controles para evitar danos à sociedade restringem o mecanismo de auto-regulação do mercado em uma dinâmica de movimentos e contra-movimentos.

Por enxergar o mercado como rede que liga agentes e regiões, Braudel (2009 [1986]) associou a variação do preço¹⁴² a um indicador do grau de conexão e da hierarquia: preços no centro variam menos que na periferia. Mercados periféricos, restritos e menos conectados são mais sensíveis a perturbações locais, resultando em variações de preços de média significativa e distribuição aproximadamente normal. Já um mercado amplo e que conecta muitos atores heterogêneos – com diversidade de horizontes temporais e de informações – apresenta maior liquidez e exige menor variação de preços para balancear oferta e demanda (PETERS, 1991, 1994). Como bolsas de *commodities*, por exemplo, conectam muitos atores diversos e fornecem referência global de preços, por ocupar posição central na rede de mercado, seria de esperar menores oscilações de preços e até mesmo especuladores contribuiriam para a maior estabilidade.

Mas, como o mercado tende a assumir estrutura em rede sem escala à medida que cresce, perturbações – como inovações de processos que afetam custos, inovações de produtos que abrem alternativas e eventos além da esfera econômica, como eventos climáticos extremos e guerras – podem se propagar de variadas formas a depender do tipo de perturbação e das reações dos agentes. Se na maioria das vezes os preços são bem comportados, com baixas oscilações, há momentos em que perturbações percolam pelo sistema produzindo não linearidades. Por isso a distribuição leptocúrtica e a intermitência de variações de preços observadas.

Há particularidades de comportamento de preços que dependem das características da mercadoria, como: precibilidade, peso e volume – associados à abrangência da distribuição

¹⁴² “O que vibra sob o impacto dos preços são redes previamente estabelecidas.” (BRAUDEL, vol. III, p. 70)

dadas as tecnologias de transporte; lapso temporal entre investimento e produção; e diferenças de qualidade (de padronizado a personalizado).

Os tipos de atores envolvidos e suas relações também influenciam os preços, como devido à frequência da transação e ao grau de fidelidade. Em caso de transações esporádicas, preços podem ter grande variabilidade devido à assimetria de informação entre vendedor e comprador, como ocorre em restaurantes em cidades turísticas. Já quando as relações são frequentes, tende a haver maior estabilidade, com agentes absorvendo pequenas oscilações para preservar relações.

Há condições desde as do anônimo mercado de *commodities*, onde são negociados grandes volumes de mercadorias padronizadas, até as de acordos de fornecimento de mercadorias e serviços específicos por prazos, condições e preços definidos em contratos, impondo alguma rigidez no que se refere a ajustes e alocando riscos devido a mudanças.

Mas, apesar de todas essas particularidades, o entrelaçamento de mercados produz correlações entre variações de preços de várias mercadorias, como se viu no apêndice do capítulo empírico. Em alguns momentos, preços variam de forma mais previsível, com muitas pequenas oscilações. Mas quando ocorrem crises sistêmicas, preços de muitas mercadorias têm variações atípicas. Por isso, há semelhanças nos indicadores de complexidade como expoentes de Hurst, duração de ciclos não periódicos e espectro de Fourier entre diferentes mercadorias.

Como preços efetivos são resultado de negociação entre duas partes, apenas seus interesses são levados em conta. Também são desconsideradas as condições nos elos anteriores da cadeia produtiva (não carrega rastreabilidade) e possíveis impactos em terceiros, como danos ambientais ou sociais. Assim, predominam interesses imediatos das partes envolvidas. Pela miopia e pelo potencial de produzir externalidades, decisões podem se revelar insatisfatórias no longo prazo devido a reações imprevistas que podem desestabilizar o sistema.

O mecanismo de preços nem sempre se comporta de forma linear que conduz ao equilíbrio, pelo ajuste entre oferta e demanda para retorno à condição anterior após uma perturbação. Por exemplo, em vez de redução da oferta diante de queda de preços, produtores preocupados em manter suas rendas e o valor de seus ativos podem se ver obrigados a travar uma corrida (*Red Queen*) para ampliar produção e reduzir custos para sobreviver, gerando tendência de queda de preços. O processo pode resultar em falências e aquisições, com mudanças na estrutura de mercado, por afetar o aspecto concorrencial do mercado.

6.4.2 Mecanismo de concorrência com seleção pelo lucro

A concorrência com seleção pelo lucro representa um mecanismo de coordenação descentralizada na economia, fazendo com que atividades superexploradas ou menos relevantes para o sistema tenham menor atratividade. A concorrência entre empresas com diferentes desempenhos resulta em dificuldades para aquelas menos adaptadas ao contexto que, com prejuízos seguidos, acabam falindo.

Por outro lado, atividades com exploração aquém de sua demanda geram lucros acima da média, atraem imitadores e provocam reorganização do mercado. As atividades lucrativas se expandem não apenas pela entrada de novos adeptos, mas porque lucros permitem reinvestimento em ampliação da escala.

Ao ressaltar a importância da inovação para a compreensão da dinâmica capitalista, Schumpeter (1997 [1911], 1961 [1942]) subverte o entendimento de concorrência. Em vez de a perceber como mecanismo de convergência ao equilíbrio, é destacado o incentivo para inovadores realizarem novas combinações no capitalismo de forma a obterem lucros extraordinários temporários. A competição, assim, tende a produzir tanto diversidade no sistema como seleção de comportamentos bem adaptados a contextos locais.

O mecanismo de seleção pelo lucro se relaciona com o mecanismo de preços discutido anteriormente. Em um ambiente competitivo, a depender da relação entre preços de produtos vendidos e de seus insumos, segundo determinada composição associada à técnica produtiva, uma atividade pode gerar lucros suficientes e sustentados, contribuindo para sua seleção, retenção e disseminação. Mas, se der prejuízo, pode ser abandonada.

Em sua análise evolucionária, Nelson e Winter (2012 [1982], p. 39) descreveram os “processos dinâmicos que determinam conjuntamente os padrões de comportamento da firma e os resultados do mercado ao longo do tempo”. Em determinado momento, as características das firmas estabelecem os níveis de insumo e de produto que, junto com as condições de oferta e demanda do mercado, determinam preços de mercado. Disso resulta a lucratividade de cada firma, que, através de investimentos, opera como determinante das taxas de expansão ou contração das firmas. A alteração do tamanho das firmas impacta os níveis de produção e de insumos e os preços e a lucratividade. As características operacionais das firmas podem mudar por regras de busca. “Busca e seleção são aspectos simultâneos e interativos do processo evolucionário: os mesmos preços que geram o *feedback* de seleção também influenciam as direções de busca” (p. 40). Dessa forma, a evolução de firmas e do ramo de atividade ocorre por um processo recursivo.

A cumulatividade da lucratividade – pela atração segundo conexão preferencial ou por

financiar investimentos para melhoria de desempenho (*fitness*) através de economias internas (ganho de escala ou de escopo) ou de inovações – resulta na emergência de distribuição em lei de potência de tamanho de firmas que afeta o aspecto concorrencial do mercado, seja pela força de marca, pela melhor qualidade do produto ou pelos menores preços.

Ribeiro *et al* (2017a; 2017b; 2018) discutem assinaturas de sistemas complexos em séries temporais de lucros e impactos no indicador de complexidade (expoente do espectro de Fourier) associados a mudanças de regras na economia em resposta a crises sistêmicas.

6.4.3 Mecanismo de crédito

A concessão de crédito é outro mecanismo de coordenação, ao viabilizar certas atividades com expectativas de serem lucrativas enquanto inibe aquelas sem acesso a recursos.

O crédito, com cobrança de juros, emergiu das relações repetidas da comunidade de mercadores que exerciam comércio de longa distância em um contexto em que a reputação desempenhava papel determinante. Mas a usura era condenada em quase todas as sociedades pelo risco de desestruturação social. Apenas com a Revolução Protestante, a usura moderada passou a ser tolerada. (BRAUDEL, 2009a [1979])

Seja pela negociação para concessão ou pelo vínculo até o pagamento, o crédito produz alinhamento entre agentes econômicos. Aqueles que gerenciam fundos, como bancos, passam a direcionar investimentos ao selecionarem os merecedores de crédito. Apesar do grande poder de alguns bancos, a existência de muitos atores e a falta de uniformidade de atuação implica em coordenação descentralizada.

A exigência de apresentação de garantias de pagamento – colaterais – implica em viés na concessão de crédito que favorece agentes com ativos. Isso contribui para a emergência da distribuição em lei de potência de tamanho de firmas, que implica em poder de mercado.

Para Marx, as duas alavancas mais poderosas da centralização são a concorrência e o sistema de crédito que, de modesto auxílio da acumulação se converte numa “arma nova e temível na luta concorrencial e, por fim, num gigantesco mecanismo social para a centralização dos capitais” (MARX, 2013 [1867], cap. 23).

O sistema financeiro internacional também tem impacto significativo nas relações entre agrupamentos em escalas mais amplas, provocando reestruturação em todos os níveis hierárquicos. Por exemplo, a maciça concessão de crédito de ingleses para investimentos em ferrovias nos EUA deu início à transição de hegemonia econômica entre os países. E quebras de expectativas quanto ao desempenho econômico provocam crises financeiras, com súbita elevação da taxa de juros. Aqueles que contraíram dívidas em períodos de otimismo e juros

baixos se veem em dificuldade e precisam se desfazer de ativos. Nesses momentos, ocorre intensificação do poder de mercado pela aquisição de pequenos negócios por grandes empresas.

Devido à maior mobilidade do capital financeiro, que supera barreiras comerciais e ultrapassa fronteiras, muitas vezes as primeiras conexões entre países ocorrem através de concessão de crédito, inaugurando relações de dependência.

Os tentáculos do setor financeiro se espalham e configuram uma rede com alta taxa de transmissão de informações e muito sensível a perturbações que afetem expectativas. O alto impacto em grandes atores (*hubs*)¹⁴³ e as conexões internacionais geram o potencial de crises tornarem-se sistêmicas.

Minsky (1977) discute a geração endógena de instabilidade no setor financeiro. Em épocas favoráveis, altos níveis de alavancagem são tolerados, havendo criação de novos instrumentos de crédito e ampliação dos antigos para financiar expansões. Mas após algum evento desestabilizador, percebe-se que o risco assumido foi além do necessário. “A tendência para transformar o bom desempenho num *boom* de investimento especulativo é a instabilidade básica numa economia capitalista.” (p. 24)

6.4.4 Mecanismos da demanda

Para Barabási (2018), o sucesso, ou como o desempenho é recompensado, é um fenômeno coletivo e tem relação com a percepção sobre o desempenho. Como há limites para o desenvolvimento de atributos, o que faz com que os melhores concorrentes sejam parecidos, exceto por pequenos desvios, o desempenho segue distribuição normal. Mas, aquilo percebido como melhor concentra as preferências e uma pequena diferença na percepção de qualidade entre competidores produzirá grande diferença na atratividade.

O sucesso futuro seria, então, uma combinação entre sucesso prévio (conexão preferencial) e desempenho (*fitness*). Apesar de o desempenho impulsionar o sucesso, as redes são especialmente importantes quando o desempenho ou a qualidade não são bem mensuráveis. Esse processo recursivo cumulativo gera a emergência de distribuição de conexões em lei de potência, o efeito “rico fica mais rico” (*rich-get-richer effect*).

Assim, no que se refere à competição por consumidores no mercado, mesmo que alguns produtos tenham características parecidas, uma leve diferença na percepção de qualidade pode fazer com que a demanda seja bem superior aos demais e produza concentração no mercado.

¹⁴³ No que se refere ao mercado de *commodities*, grandes bancos financiadores exercem considerável influência nos preços ao divulgarem expectativas que muitas vezes não se verificam.

Daí a relevância de campanhas de *marketing* que ressaltam as vantagens comparativas do produto frente aos concorrentes para o sucesso de vendas. O mesmo ocorre com pequena diferença de preço: todos irão preferir o mais barato se a qualidade é parecida. Mas, particularidades de indivíduos e de contextos locais permitem nichos. Ou seja, mesmo com a predominância de alguns elementos, há diversidade no sistema.

Como discutido em Carrara (2019), as relações sociais exercem grande efeito na demanda, gerando comportamento coletivo bastante diverso daquele esperado caso houvesse independência na tomada de decisões. A imitação e o aprendizado social podem disseminar hábitos entre aqueles com quem se interage, tornando-se padrões de comportamento de grupos.

A dinâmica de organização coletiva do consumo depende do contexto e do tipo de mercadoria, que pode ter dimensões relacionadas a: desejos básicos (necessidades); desejos adquiridos; e sinalização social.

Com relação aos desejos básicos, por se tratar de consumo associado à sobrevivência, relações de cooperação fazem com que indivíduos com identidades comuns (famílias, vizinhos, amigos e colegas de trabalho) compartilhem formas adequadas de satisfazer necessidades. O alinhamento de consumo fortalece o grupo, gerando efeito circular com *feedback* positivo. Esse tipo de processo acaba por gerar padrões, como o estabelecimento de pacotes de conhecimento e de culturas em civilizações, de acordo com as possibilidades locais.

Como o conjunto de desejos não é fixo, mas pode ser aprendido, a dinâmica de consumo é afetada por novidades, disseminadas por relações de cooperação em agrupamentos de indivíduos. As variadas experiências de consumo no sistema podem resultar em diferenças entre indivíduos e entre grupos, além de mudanças no tempo. Experiências satisfatórias individuais, influências sociais ou propagandas de fornecedores podem gerar novos desejos ou refinar os existentes, como ocorre com o conforto. A maior exigência após uma experiência superior impõe resistência ao retorno a uma condição considerada adequada em outro contexto. A depender da estrutura de relações, a disseminação de aprendizados pode resultar em complexidade, com algumas novidades percolando o sistema enquanto a maioria é bloqueada localmente pela prevalência de hábitos de consumo.

Por fim, há o consumo simbólico para sinalização social – visando reconhecimento, distinção, identificação com grupos ou mesmo autopercepção – que exige coordenação sobre quais são os símbolos aceitos. O consumo simbólico ganha relevância em grupos maiores e heterogêneos, quando faltam informações sobre os indivíduos com quem se interage. Assim, é possível sinalizar o *status* social através do consumo. Há diferentes tipos de consumo simbólico,

de acordo com os objetivos de sinalização: (FRANK 1985; HEFFETZ e FRANK, 2011; HOPKINS e KORNIENKO, 2004; WEISS e FERSHTMAN, 1998; WITT, 2010, 2011)

- a) Consumo de conformidade – para transmitir identidade, pertencimento ao grupo, lealdade e concordância;
- b) Consumo de não-conformidade – para comunicar divergência, diferenciação e identidade própria; ou
- c) Consumo conspícuo – para sinalizar riqueza, distinção e vantagem relativa.

O padrão resultante depende do contexto. Por exemplo, no pós-guerra, quando prevaleceu o sentimento de conformidade, emergiu um padrão de consumo de massa. Já a partir do final do século XX, com a maior desigualdade social, emergiu um padrão de segmentação de consumo, seja devido a sinalização de não conformidade (*hippies* e *hipsters*, por exemplo) ou pelo consumo conspícuo de bens e serviços posicionais, que são avaliados em termos relativos ao consumo dos outros em uma concorrência por *status* social, como o princípio da Rainha Vermelha (“correr para ficar no mesmo lugar”). Ao contrário do consumo associado a necessidades básicas que é passível de saciedade, os consumos aprendido e simbólico contribuem para evitar saturação da demanda e crises de superprodução.

A evolução do consumo, considerando grupos e pontos de virada (*tipping points*), pode produzir ondas e muitos padrões dinâmicos diferentes. Em vez de consumidor representativo, considerar agrupamentos diversos ajuda a explicar paradoxos como a perda de atratividade de produtos de luxo diante de queda de preços, como observaram Cowan et al. (1997, 2004).

6.4.5 Outros mecanismos: firmas, Estados e influências sociais

Lucros positivos e acesso a crédito permitem investimentos de firmas para aproveitamento de rendimentos crescentes. Como o crescimento envolve mudança organizacional, o controle central é substituído por estrutura multidivisional com relativa autonomia entre setores (CHANDLER, 1999), levando à emergência de coordenação descentralizada também em firmas. A mudança organizacional em grandes empresas viabiliza conexões longas com outras regiões e setores que seriam inviáveis para elementos ou grupos pequenos, evidenciando a relação circular entre mercado e organizações (firmas).

Isto é, em vez de confrontar a coordenação descentralizada no mercado com a centralizada em firmas, cabe destacar a simultaneidade e a interdependência entre os mecanismos. Um condiciona o outro e há retroalimentações positivas que resultam em dinâmica coevolutiva. Se, por um lado, a abrangência do mercado limita o tamanho de firmas para aproveitamento de ganhos de escala, por outro, a distribuição de tamanhos de firmas determina

o nível concorrencial e o poder de mercado.

O Estado também exerce coordenação econômica de diferentes formas: ao limitar ações possíveis através de legislação e regulação; ao manter instituições que garantem direitos e catalisam relações; ao exercer políticas macroeconômicas; ao construir e manter infraestruturas de transportes e de comunicações; ao desestimular ou incentivar atividades com impostos ou subsídios; ao promover indústrias pela garantia de aquisição de bens a preços determinados; ao conectar universidades e firmas em sistemas de inovação; pela ação direta no mercado em larga escala, fornecendo ou adquirindo bens e serviços básicos, dentre outros.

Mas, apesar da centralidade do Estado, é possível haver auto-organização entre os elementos a não ser que haja fortes mecanismos de repressão e controle. Mesmo um incentivo de cima para baixo pode ter consequências inesperadas devido a ciclos de reações (*feedbacks loops*). Também é preciso considerar que o poder de um Estado é limitado a suas fronteiras ou a áreas de influência. Em nível global, a dinâmica entre Estados reflete coordenação descentralizada com hierarquia de poder. Além disso, a interação da economia com a política contém mecanismos de retroalimentação com efeitos por vezes imprevisíveis.

Portanto, em vez da polarização entre Estado e mercado, estes devem ser considerados como interdependentes: o Estado é determinante para a organização de mercados e relações no mercado impactam a composição e a atuação de Estados. Há diferentes níveis de intervenção de Estados em mercados, mas os extremos (mercado sem Estado e Estado sem mercado) parecem não fazer sentido.

Ainda, a sociedade tem vários mecanismos que promovem organização, muitos deles interrelacionados com o aspecto econômico. A divisão de classes conforme a renda/riqueza ou origem delimita o acesso a oportunidades e as alternativas disponíveis a grupos de indivíduos.

Pelo que foi exposto nesta seção, os preços refletem as múltiplas interações do sistema. Com a emergência da estrutura fractal do mercado, o preço do trigo tornou-se não apenas uma variável local, mas um reflexo de grande parte do sistema.

6.5 Circularidades cumulativas e criticalidade auto-organizada

A atuação de mecanismos de auto-organização gera circularidades com *feedbacks* positivos. Elementos se organizam e os padrões coletivos influenciam suas decisões, em um *loop* recursivo (ARTHUR, 2015a). A acumulação permite processos em novas escalas, afinal, com o crescimento, passam a ocorrer conexões entre agrupamentos, geralmente através dos agentes que concentram ligações ou de intermediários que assumem a função de estabelecer conexões longas. A estabilização das relações entre esses agrupamentos, com a emergência de

regras específicas e novas atividades, amplia a correlação comportamental no sistema, exigindo adaptações em todos os níveis hierárquicos.

A escala, portanto, é um fator decisivo para a estrutura organizacional, conforme a expressão “*more is different*” de Anderson (1972). Para lidar com maiores volumes e fluxos ou transações a grande distância, é preciso promover adaptações e transformações no sistema, como ocorreu com o atacado quando as ferrovias integraram o mercado nos EUA, conforme análise de Chandler (1999). Por exemplo, se sistemas pequenos comportam mecanismos transacionais baseados em reputação, o comércio em larga escala com desconhecidos requer outros mecanismos, como padronização e verificação por terceiros.

Em sistemas complexos, há simultaneamente processos com *feedbacks* positivos e negativos (ARTHUR, 2015a). A dinâmica resultante da interação entre esses processos pode assumir diferentes formas a depender de contextos locais. Na economia, os *feedbacks* negativos se manifestam em resistência a mudanças (hábitos e rotinas), efeito ocupação (como barreira à entrada), rendimentos decrescentes, limite de recursos e processos associados à *homeostasis* (ajustes internos para lidar com mudança e manter relativa estabilidade do agrupamento). Já os *feedbacks* positivos ocorrem diante de aprendizado, rendimentos crescentes (economias internas ou externas), inovações técnicas e tecnológicas, efeitos de rede (integração, adensamento, mundo pequeno) e interações com aspectos sociais e institucionais.

Quando *feedbacks* positivos predominam, a acumulação de efeitos resulta em reorganização estrutural e em novas regras relacionais. Processos recursivos e cumulativos favorecem aqueles mais influentes e produzem distribuições em lei de potência (lei de Pareto ou de Zipf), com tendência à desigualdade, como as observadas em riqueza, tamanho de empresas, de cidades, PIB...

A presença de rendimentos crescentes¹⁴⁴ na economia capitalista foi reconhecida por

¹⁴⁴ São exemplos de fatores associados a rendimentos crescentes na economia (MARX, 2013 [1867], TONER 1999):

- relação física entre volume e área (armazéns, tanques de processamento), capacidade e custo, respectivamente;
- diluição de custos fixos (menor custo unitário com crescimento da firma) devido a:
 - administração (contabilidade, gestão);
 - burocracias (licenças, impostos, alfândegas, exportação);
 - regulações (exigência de atendimento de padrões mínimos).
- aprendizado relacionado a experiência e especialização;
- trabalho social (trabalhadores em um mesmo ambiente) – mas há limite para cooperação (métodos organizacionais);
- mecanização permite maior produtividade, mas exige alto investimento em capital fixo e uso contínuo (baixa ociosidade), havendo escala mínima para adoção;
- tecnologia (condiciona proporções) – tamanhos apropriados para cada solução e tamanhos mínimos;
- atualização tecnológica: desgaste do capital fixo exige reposição, feita com tecnologia superior;
- aperfeiçoamentos para redução de tempo de produção (exige capital fixo);

importantes autores¹⁴⁵ como responsável pela geração de dinâmicas longe do equilíbrio. Economias internas permitem que alguns agentes ampliem escalas e escopos de atuação, permitindo-os exercer domínio de relações econômicas em cadeias produtivas. O poder de mercado de poucos grandes agentes afeta a distribuição dos ganhos de transação que implica em outra relação circular: a maior apropriação dos ganhos da transação gera ampliação do poder de mercado através de efeito ocupação, enfrentamento da concorrência, maior capacidade de inovação e de influência nas escolhas de parceiros comerciais.

Também há economias externas, que representam vantagens advindas do crescimento da indústria ou da economia como um todo, como produção e disseminação de conhecimento e de novas ideias, infraestruturas de transporte e de comunicação e economias de localização advindas da concentração de produção em certas regiões (TONER 1999). O amplo acesso a insumos e máquinas padronizados propicia oportunidades para agentes explorarem nichos. Como resultado de economias externas, surgem novos produtos, firmas assumem novas tarefas e aparecem oportunidades para novas empresas, o que leva a mudanças não apenas quantitativas, mas também qualitativas. Ocorre reorganização da indústria, com adoção de métodos indiretos de produção entre firmas interdependentes (YOUNG, 1928).

Portanto, se há concentração em alguns setores (como infraestrutura, materiais e energia), insumos padronizados favorecem a especialização em outros setores, resultando em estrutura fractal do mercado (detalhes em várias escalas). Assim, se há tendências à concentração, frequentes perturbações desestabilizadoras no sistema, sejam exógenas ou endógenas, exigem adaptações dos diversos atores e alteram as relações entre eles. Também pode haver transformações estruturais devido a novidades que desencadeiam adaptações, gerando diversidade no sistema.

-
- tempo de retorno do investimento mais longo (tempo de produção, principalmente) exige fundos maiores (barreiras à entrada, baixa concorrência, lucros extraordinários);
 - implantação de transportes liga inicialmente regiões mais densas/ricas ou geograficamente privilegiadas;
 - desenvolvimento dos transportes ocorre antes na ligação entre centros: intensifica centralização;
 - comércio de longa distância exige maior tempo de curso: fundos são necessários (tempo, riscos, oscilações);
 - necessidade de capital para continuidade (giro);
 - necessidade de reservas para suportar perturbações do ciclo (variações de preços);
 - acesso a crédito depende de colaterais (ativos) e de expectativas de retorno;
 - estabelecimento de padrões (produtores maiores impõem padrões de peso, medida, qualidade);
 - marcas favorecem vendas;
 - vantagens de negociação (compra e venda);
 - economias de escopo;
 - capacidade de especulação (em contexto de perturbações, pode aguardar melhor momento).

¹⁴⁵ Como Marx (2013 [1867]); Marshall (2013 [1890]); Allyn Young (1928); Kaldor (1972); Arthur (1999).

Para Schumpeter, a inovação é o fenômeno fundamental do desenvolvimento, por produzir mudanças econômicas endógenas. A mudança “desloca de tal modo o seu ponto de equilíbrio que o novo não pode ser alcançado a partir do antigo mediante passos infinitesimais” (SCHUMPETER, 1997 [1911], p. 75). As inovações revolucionam

incessantemente a estrutura econômica a partir de dentro, destruindo incessantemente o antigo e criando elementos novos. (...) Este processo de destruição criadora¹⁴⁶ é básico para se entender o capitalismo. É dele que se constitui o capitalismo e a ele deve se adaptar toda a empresa capitalista para sobreviver. (SCHUMPETER, 1961 [1942], p. 110)

A associação entre inovações e rendimentos crescentes é percebida por Schumpeter em seu livro “Capitalismo, Socialismo e Democracia” de 1942, onde substitui o papel desempenhado pelos empreendedores na promoção de inovação pelo de grandes corporações em uma estrutura econômica concentrada, com a inovação sendo reduzida a rotina.

A concorrência de novas mercadorias, novas técnicas, novas fontes de suprimento e de novo tipo de organização ameaça a existência das firmas estabelecidas:

No caso do comércio retalhista, a concorrência que importa não é a trazida por um número maior de lojas do mesmo ramo, mas pela loja de departamentos, a cadeia de lojas, as casas de vendas pelo reembolso postal e os supermercados que, cedo ou tarde, eliminarão essa situação. (SCHUMPETER, 1961 [1942], p. 113)

A concentração industrial devido a ganhos de escala altera a estrutura de mercado, fragilizando a posição de pequenos produtores e comerciantes, com consequências que extrapolam a esfera econômica, como na política. E as vantagens da firma monopolista não se limitam à possibilidade de exploração temporária de lucros extraordinários, mas incluem a “proteção que consegue contra a desorganização temporária do mercado e o espaço de tempo que garante para um planejamento a longo prazo.” (SCHUMPETER, 1961 [1942], p. 132)

Myrdal (1960, 1975) ressaltou a interdependência entre os fenômenos econômicos, sociais e institucionais em seu conceito de Causação Circular e Cumulativa (CCC). Em vez de uma relação linear de causa e efeito, os fenômenos sociais apresentam fatores que se relacionam mutuamente, sendo que uma mudança em determinado fator desencadeia um processo cumulativo de interação mútua. Na evolução de processos sociais, não apenas as instituições moldam os comportamentos dos indivíduos, mas também são transformadas por estes.

O livre jogo das forças de mercado tende a criar desigualdades regionais, especialmente em países subdesenvolvidos que têm fracos efeitos propulsores, como insuficiência em

¹⁴⁶ Que também poderia ser “criação destruidora”.

transporte, comunicação, padrões educacionais e comunhão de ideias e valores que dificultam a difusão da expansão econômica e a remoção de obstáculos. Os processos acumulativos que conduzem à desigualdade regional operam por meio de muitas cadeias causais que incluem fatores não econômicos, geralmente não considerados na análise econômica. Entre esses fatores interdependentes que representam os principais veículos na causação circular dos processos acumulativos de mudança econômica, podem-se citar: migração, efeitos da pobreza na natalidade, transporte, comunicação, serviços públicos, assistência médica, educação, religiões, costumes tradicionais, estrutura agrária, estratificação social e econômica, sistemas de valores, política, atitudes e instituições. (MYRDAL, 1960, 1975)

O progressivo crescimento da economia – pelo aproveitamento de rendimentos crescentes, por inovações ou por adaptações institucionais – pode revelar gargalos que precisam ser superados ou pode acirrar conflitos que desencadeiam reações entre agentes. Alinhamentos de expectativas com relação a novidades também podem gerar tendências exageradas.

Quando determinado limiar é atingido, há reversão súbita, configurando um ponto de virada (*tipping point*). Trata-se do fenômeno de criticalidade auto-organizada, quando a transmissão por cadeia de eventos (avalanches) permite grande velocidade de informações no sistema. Sincronizações comportamentais em variadas direções exploratórias produzem resultados agregados inesperados e não-linearidades. Muitas vezes, os mecanismos de auto-organização são capazes de reestruturar o sistema. Esse tipo de dinâmica circular – auto-organização, crescimento e criticalidade – caracteriza ordens econômicas caso as instituições sejam capazes de lidar com as crises sistêmicas recorrentes.

Mas, eventualmente, o sistema pode se desestruturar de tal forma que o restabelecimento de correlações de longo alcance exige novas instituições, conexões e agrupamentos. Essas situações parecem caracterizar transições entre ordens econômicas, como o período entre guerras e após o fim do Tratado de Bretton Woods seguido pelas crises do trigo e do petróleo de 1973. Nesses momentos, a falta de referências de longo prazo ou de confiança em instituições impede as reversões de tendências que caracteriza os períodos de ordem. Devido à capacidade de aprendizado, as regras do sistema sócio-político-econômico e as estruturas de mercado mudam em resposta a crises, conforme constatado por Ribeiro *et al.* (2018).

6.6 Estrutura de mercado fractal

A ciência de redes (*Network Science*) associa a estrutura de rede de um sistema ao seu processo evolutivo. À medida que o sistema cresce, mesmo considerando conexões aleatórias, ocorre uma transição de fase com a formação de um grande aglomerado em que o caminho

entre quaisquer elementos é drasticamente reduzido, favorecendo a transmissão de informações e a sincronização no aglomerado.

Caso as conexões entre agentes fossem aleatórias, haveria redes com distribuição normal de relações, em condições compatíveis com as do mercado concorrencial neoclássico. Mas, em sistemas descentralizados e pouco regulados, processos de crescimento envolvem conexão preferencial em vez de aleatória que faz emergir estrutura de rede sem escala. Nesse tipo de estrutura, informações podem ficar confinadas em agrupamentos ou podem se propagar pelo sistema através das ligações entre os *hubs*, algo característico de sistemas complexos (avalanches de todos os tamanhos). (BARABÁSI, 2009a, 2009b, 2016)

Os princípios de crescimento de rede e de conexão preferencial destacados por Barabási (2009b) explicam como processos de auto-organização produzem estruturas com grandes assimetrias, com distribuição em lei de potência: muitos nós e poucos *hubs*. Ao se considerar a questão de aptidão dos agentes (*fitness*), em vez de mero predomínio dos mais antigos, abre-se a possibilidade de surgimento de novos *hubs* e de mudanças na estrutura da rede.

Na economia capitalista, rendimentos crescentes propiciam os dois fatores associados à formação de rede sem escala: crescimento e conexão preferencial. Além disso, inovações e rendimentos crescentes também afetam o desempenho (*fitness*) que amplia a atratividade de conexões. Quando uma grande empresa inova ou tem ganhos de escala, ela se beneficia tanto pela conexão preferencial associada ao passado quanto pela melhoria de desempenho. Já a inovação de uma empresa pequena pode resultar em desempenho tão superior aos das estabelecidas a ponto de atrair muitas ligações e se transformar em um novo *hub*. Portanto, rendimentos crescentes e inovações atuam na coevolução entre mercado e organizações que faz emergir estruturas de mercados em rede sem escala.

Barabási destacou a pouca atenção da teoria econômica a redes:

Até há pouco tempo, os economistas encaravam a economia como um conjunto de indivíduos autônomos e anônimos que interagem unicamente por meio do sistema de preço, modelo que costumava dominar o padrão formal da economia. Pressupunha-se que as ações individuais das empresas e dos consumidores acarretavam pouca consequência ao estudo do mercado. Compreendia-se melhor o estado da economia por agregados macroeconômicos, como emprego, renda ou inflação, ignorando-se os micro-comportamentos inter-relacionados responsáveis por esses agregados. Considerava-se que empresas e grupos econômicos interagem não entre si, mas com “o mercado”, entidade mítica que medeia todas as interações econômicas. (BARABÁSI, 2009b, p. 184)

Se as interações e influências mútuas no sistema forem desconsideradas, pode-se inferir que a estratégia mais adequada no mercado é barganhar ao máximo na transação imediata. Mas,

caso se levem em conta as relações em rede que envolvem reciprocidade, percebe-se a vantagem de criar uma relação de compromisso e de confiança a longo prazo. Assim, em vez de mera competição, uma economia de rede inclui relações de cooperação entre compradores e fornecedores, estabelecendo-se vínculos duradouros que permitem especialização. (BARABÁSI, 2009b)

Outro aspecto a considerar diz respeito a barreiras geográficas ou grandes distâncias que, segundo Ozik *et al.* (2004), influenciam estruturas de redes, restringindo ligações a processos locais e limitando a informação global disponível a cada elemento. Mesmo assim, características de mundo pequeno podem emergir devido a ligações longas, como as transações estabelecidas por mercados de longa distância. Mas quando, após a Revolução Industrial, infraestruturas de transportes e de comunicações permitiram superar distâncias e barreiras que contrapunham a conexão preferencial, emergiu a estrutura de mercado fractal, como constatado no capítulo empírico.

Processos de crescimento com conexão preferencial, *fitness* e a existência de irregularidades devido à variabilidade de condições geográficas produzem a emergência de estrutura fractal de redes sem escala, com agentes e agrupamentos de todos os tamanhos, que apresentam particularidades locais, mas também semelhanças globais. Vias rápidas conectam *hubs* que se mantêm atualizados, enquanto regiões periféricas têm informação restritas e defasagem adaptativa, produzindo difusão turbulenta de novidades na rede.

Os agentes que ocupam posições centrais na rede assumem papel de coordenação, buscando a persistência das condições estruturais que os favoreçam. Em vez de concorrência perfeita, a dinâmica de crescimento de redes produz poder de mercado de agentes ou de corporações (*hubs*) que afetam decisivamente a disseminação de informações, a estrutura da rede e a evolução do mercado e da economia.

A estrutura sem escala do mercado também tem relação com o padrão coletivo da demanda. Se diferenças de desempenho são limitadas (uns são melhores que outros, mas a diferença é pequena entre os melhores), o sucesso não tem limites, já que aqueles percebidos como melhores estabelecem conexões ordens de grandeza acima daqueles com desempenho levemente inferior (BARABASI, 2018). Por exemplo, ao decidir por um fornecedor, quase todos preferem comprar daquele que aparenta melhor qualidade ou tem o menor preço, mesmo que a diferença seja sutil. Daí a relevância da reputação (marcas, propaganda, clientes cativos) e de políticas de preços para as vendas.

As redes econômicas, especialmente as de mercado, têm particularidades que merecem ser consideradas. Em vez de ligações fixas entre os elementos, as transações, depois de

estabelecidas, são renovadas de acordo com satisfação da relação anterior e das opções disponíveis a cada momento. A periodicidade da renovação é irregular e depende do tipo de produto (de bem perecível a durável) e das características dos agentes (de atacadista a consumidor final). Em mercados, há tanto vínculos fracos e esporádicos quanto fortes e mais estáveis. Existem mecanismos que preservam relação, como reputação de agentes, marcas, atendimento pós-venda, contratos... A nova transação pode ser determinada por hábito (repetição da última transação satisfatória), busca (esforço deliberado para encontrar alternativas) ou imitação, em que as relações na rede desempenham papel determinante.

O sistema complexo econômico capitalista tem relação com a estrutura fractal do mercado, que envolve transações em muitos níveis hierárquicos (local, regional, nacional e global) e agentes e agrupamentos de diversos tamanhos. Rendimentos crescentes e efeitos de rede favorecem o crescimento de alguns atores que passam a concentrar ligações em seu nível e a estabelecer conexões de longo alcance com outros *hubs*, conectando subsistemas. Esses *hubs* exercem coordenação descentralizada no sistema, por mediar a transmissão de informações e por induzirem comportamentos. A emaranhada rede de mercado possui regiões centrais muito conectadas, com alta velocidade de transmissão de informações e alto fluxo de mercadorias/serviços, mas também regiões periféricas mais isoladas, com defasagem de atualização.

7 CONCLUSÃO

Quando um sistema é formado por elementos com alternativas que ajustam seus comportamentos conforme influências, a organização importa. Em vez de adotar pressupostos de independência ou de comportamento aleatório dos elementos (micro), é preciso considerar a estrutura de agrupamentos (meso) com componentes que agem em conformidade para analisar o resultado agregado (macro) e o efeito de perturbações.

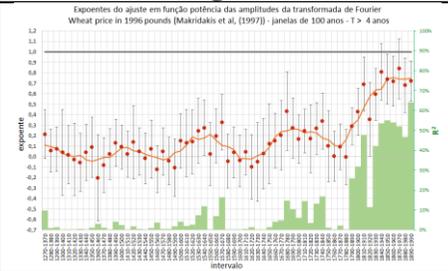
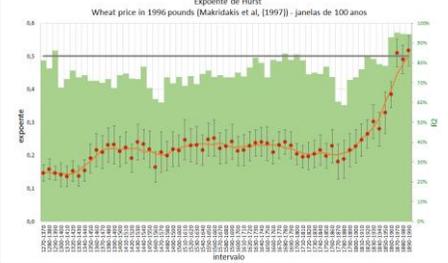
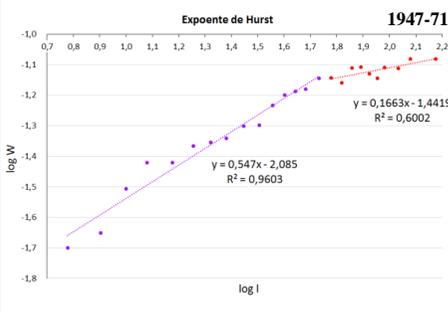
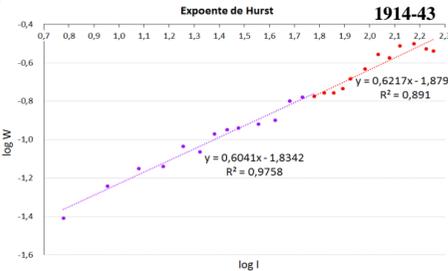
A abordagem de sistemas complexos possibilita estudar fenômenos com dinâmicas fora do equilíbrio que admitem não-linearidades, propriedades emergentes e mudanças qualitativas. Trata-se de uma visão interdisciplinar que constitui uma alternativa aos métodos científicos baseados no reducionismo e no construtivismo. Nesse tipo de análise, desloca-se o foco do estado do sistema para os processos de formação, considerando as relações entre agentes que se adaptam conforme as circunstâncias do ambiente que eles próprios influenciam.

O objetivo geral da tese foi avaliar se a economia capitalista se comporta como sistema complexo e como essa abordagem contribui para a compreensão do mercado. Para evitar generalizações, devido às particularidades de diferentes tipos de mercado, concentrou-se no mercado do trigo, base alimentar de civilizações e que se relaciona com outros mercados através do trabalho. Além do objetivo geral, cada capítulo perseguiu um objetivo específico.

O capítulo 2 apresentou a abordagem de sistemas complexos. Pelo contraste com a teoria econômica ortodoxa, a compreensão de novos conceitos e instrumentos estatísticos representa um desafio para sua disseminação. Mas a constatação que processos recursivos com regras simples são capazes de gerar estruturas complexas existentes na natureza e na sociedade, havendo afinidade com análises evolucionárias, revela o grande potencial de sua aplicação. Afinal, a combinação de matemática e histórica contribui para o estudo da economia.

A análise empírica do capítulo 3 evidenciou assinaturas de sistemas complexos nos preços do trigo a partir do final do século XIX. A Tabela 7.1 resume resultados e interpretações.

Tabela 7.1 – Resumo dos resultados empíricos e suas interpretações

| Figura | Análise | Série | Estatística | Sistema Complexo | Economia |
|---|---|---|--|--|---|
|  <p>Expoentes do ajuste em função polinomial das amplitudes da transformada de Fourier Wheat price in 1996 pounds [Makridakis et al. (1997)] - janelas de 100 anos - $1 > \Delta > 4$ anos</p> | Transf. de Fourier (janelas dinâmicas) | Anual: Makridakis (1997) 1264 a 1996 | Transição para sist complexo: de ruído branco para espectro em lei de potência (maior R^2): <ul style="list-style-type: none"> • baixas freq: memória LP • altas freq: não linearidades • fractal (contribuição de todas as frequências) | Transição para sistema complexo: <ul style="list-style-type: none"> - memória no sistema - acumulação e transformação (“<i>more is different</i>”) - propagação por cadeias de <i>feedbacks</i> endogeneidade - auto-organização (agrupamentos de vários tamanhos) | Antes da transição: <ul style="list-style-type: none"> - transporte e comunicação precários - mercados fragmentados (isolamento) - baixa especialização (insegurança) - dinâmicas locais (cidades, regiões) - pequenas empresas (familiares) - perturbações com grande efeito local |
|  <p>Expoente de Hurst Wheat price in 1996 pounds [Makridakis et al. (1997)] - janelas de 100 anos</p> | Exp. de Hurst (janelas dinâmicas) | Anual: Makridakis (1997) 1264 a 1996 | Transição para sist complexo: <ul style="list-style-type: none"> - rugosidade com correlação temporal: memória - confirma transição - expoente de Hurst exige fractal (baixa confiabilidade de expoentes antes da transição) | <ul style="list-style-type: none"> - emergência de propriedades agregadas - processos em várias escalas temporais - dinâmica fora do equilíbrio - variáveis agregadas captam perturbações de todo tipo e impacto - distribuição leptocúrtica de variações - intermitência | Transição: <ul style="list-style-type: none"> - Revolução Industrial - estradas, canais, ferrovias, telégrafo - integração do mercado - conexões longas (nível global) - especialização (maior estabilidade) - formação de rede sem escala (<i>hubs</i>: cidades portuárias, empresas, Estados) - perturbações propagadas por cadeia |
|  <p>Expoente de Hurst 1947-71</p> <p>$y = 0,1663x - 1,4419$ $R^2 = 0,6002$</p> <p>$y = 0,547x - 2,085$ $R^2 = 0,9603$</p> | Multifractalidade (Fourier e Hurst) | Mensal: Atacado Chicago 1842 a 1943 e Índice ao Prod 1947 a 2021 | Ordens: quebra entre CP e LP <ul style="list-style-type: none"> - memória, correlação temporal: <ul style="list-style-type: none"> • leve persistência no CP (reforço): $H > 0,5$ • anti-persistência no LP (reversão): $H < 0,5$ - ciclos não periód: 4 ou 7-8 anos | Ordens (<i>homeostasis</i>) <ul style="list-style-type: none"> - auto-organização prevalece - criticidade auto-organizada - persistência no CP (acúmulos) e anti-persistência no LP (avalanche) - rápida reorganização após crise - trajetória com bifurcações (memória, recursividade, caos na criticidade) | Ordens: reforço (CP) e reversão (LP): <ul style="list-style-type: none"> • expectativas: exageros no CP (otimismo, movimentos de manada) e inevitáveis reversões súbitas • rigidez (maturação inv, contratos) Características de ordens: <ul style="list-style-type: none"> • instituições fortes (padrões) • tecnologias dominantes • estrut de mercado (conexões longas) • crises sistêmicas e reformas |
|  <p>Expoente de Hurst 1914-43</p> <p>$y = 0,6041x - 1,8342$ $R^2 = 0,9758$</p> <p>$y = 0,6217x - 1,8795$ $R^2 = 0,891$</p> | Multifractalidade? (Fourier e Hurst) | Mensal: Atacado Chicago 1842 a 1943 | Transições entre ordens: <ul style="list-style-type: none"> - perda da multifractalidade - LP como CP: $H > 0,5$ | Transições: <ul style="list-style-type: none"> - distúrbio desestruturador - perda de conexões longas no sistema - desordem prevalece - lenta reorganização - leve persistência no CP e no LP | Transições entre ordens: <ul style="list-style-type: none"> - desestruturação da ordem anterior - perda de ref. de LP (imprevisibilidade) - robustez (superação com reorganiz.) Características de transições: <ul style="list-style-type: none"> • ruptura institucional e reconstrução • transição tecnológica • reorganização da estr de mercado • crises sistêmicas disruptivas |

Antes da transição para sistema complexo, os preços do trigo apresentavam variações como se fossem aleatórias devido à fragmentação de mercados que tornavam subsistemas muito sensíveis a choques locais. Com a integração de mercados, perturbações passaram a ter potencial de serem sentidas em qualquer ponto da rede. A maior escala comercial, a ampliação de atores (em quantidade, em escala e em variedade) e a interconectividade contribuíam para reduzir as variações de preços. Mas esses mesmos fatores tornavam o sistema sujeito a encadeamento de eventos, o que permitia a percolação de algumas perturbações. O sistema passou a apresentar distribuição leptocúrtica de variações de preços, efeitos memória e estrutura fractal, com semelhanças e detalhes em várias escalas.

Além da transição da economia para sistema complexo, buscou-se avaliar características da economia capitalista. O estudo empírico revelou multifractalidade em períodos de ordem econômica, com diferenças do expoente de Hurst e do espectro de Fourier entre o curto e o longo prazo, indicando a existência de ciclos não periódicos relacionados à persistência da memória no sistema e à diferenciação de processos com a passagem do tempo. Foi observada intermitência, com períodos relativamente calmos, em que predomina a acumulação, alternados por outros de grande agitação quando há acomodação (avalanches) e reversão de tendências no longo prazo. Argumentou-se que durante ordens econômicas, instituições e estruturas de mercado permitem horizontes para a tomada de decisões de longo prazo, resultando em períodos de relativa estabilidade e aparente previsibilidade, mas que inevitavelmente conduzem a momentos de criticalidade, com alta volatilidade, reversão de tendências e reorganização.

Também foram observadas consideráveis diferenças no comportamento dos indicadores de complexidade (expoente de Hurst e espectro de Fourier) de longo prazo entre períodos de ordem e outros de transição entre ordens, quando o sistema perde a característica de multifractalidade já que o longo prazo deixa de apresentar anti-persistência.

Devido à acumulação associada ao processo de crescimento econômico, eventualmente algum limiar necessário à manutenção da ordem no sistema é ultrapassado, produzindo crises institucionais, perda de conexões de longo alcance e desestruturação do sistema. Trata-se de um processo endógeno que revela gargalos e conflitos latentes que só podem ser superados através da reorganização. Mas, a robustez do sistema capitalista evita o colapso e permite a emergência de nova ordem econômica. Essa dinâmica revela as metamorfoses do capitalismo, havendo tanto persistências devido a efeitos de memória no sistema quanto novidades, como novas instituições mais adaptadas ao contexto, novos atores protagonistas e nova estrutura.

As transições entre ordens econômicas ocorrem quando há ruptura institucional e quebra de conexões, como no período entre guerras mundiais. Diante da insegurança associada à

incerteza e à fragilidade institucional, os atores passam a adotar estratégias apenas de curto prazo, sem conseguirem vislumbrar qual trajetória de desenvolvimento prevalecerá.

O apêndice do estudo empírico ainda evidenciou semelhanças entre indicadores de preços do trigo e os de outras *commodities*, provavelmente devido ao entrelaçamento de mercados no complexo sistema econômico. Isso indica processos comuns aos diversos tipos de mercado e influências recíprocas. Mas também há particularidades de cada mercado.

O estudo histórico do capítulo 4 descreveu a evolução do mercado do trigo e as frequentes transformações em termos de produtos, atores, atividades, tipos de relação, tecnologias, instituições, meios de transporte e de comunicação e estruturas de rede comercial. A história ajudou captar os processos subjacentes à economia e à sociedade e deu subsídios para a formulação teórica.

A longa transição para sistema complexo coincide com o período em que a Revolução Industrial se difundia e novos meios de transportes e de comunicações integravam mercados e permitiam regularidade de conexões longas, adicionando o nível mundial na hierarquia das relações comerciais. Este novo nível levou ao crescimento do volume comercializado e produziu mudanças qualitativas com a emergência de estrutura fractal do mercado, com dinâmicas interrelacionadas nos vários níveis, desde locais ao global.

Assim como os níveis inferiores afetam os superiores – pela composição de agentes, pelas relações e pelas propriedades emergentes, como regras e agrupamentos – o estabelecimento de um nível hierárquico superior impacta os demais, já que transações entre subsistemas distantes exigem reorganização em todos os níveis do sistema. De um mercado predominantemente local ou regional, emergiu uma estrutura de mercado fractal que permitia tanto canais para transações de grandes volumes entre grandes agentes que concentravam conexões (*hubs*) quanto alta abrangência e capilaridade.

O capítulo 5 discutiu as estruturas do mercado do trigo nas diferentes escalas espaciais e na cadeia (rede) produtiva. Os esquemas ilustraram a emergência da estrutura fractal do mercado, com dinâmicas em várias escalas e sua evolução, com sucessão de ordens econômicas.

Por fim, o capítulo 6 analisou teoricamente o mercado considerando a economia capitalista como sistema complexo adaptativo. A emergência de propriedades coletivas decorre da sincronização, ou correlação comportamental, associada às influências mútuas no sistema. Ressaltou-se a importância de considerar a diversidade de características dos agentes econômicos, os tipos de relações que estabelecem entre si e os mecanismos que atuam na auto-organização, em especial aqueles que produzem coordenação descentralizada no mercado. Esses mecanismos que favorecem a acumulação podem gerar dinâmicas endógenas que

conduzem a estados de criticalidade com transições de fase e transformações estruturais.

A complexidade econômica foi associada à estrutura de rede sem escala devido a processos de crescimento com conexão preferencial, diante de variabilidade de desempenho (*fitness*) e de barreiras a conexões. Foram salientados os efeitos de rendimentos crescentes, de inovações e de infraestruturas de transporte e de comunicações. A ampliação da escala de comercialização exige a superação de gargalos, levando ao surgimento de atividades, de tecnologias e de atores. Conforme a expressão “*more is different*” (ANDERSON, 1972), o crescimento quantitativo resulta em mudanças qualitativas, com reconfiguração do sistema.

Por se tratar de um processo recursivo, cumulativo e sujeito a perturbações que exigem adaptações, a trajetória histórica contém tanto persistências quanto novidades. Observa-se persistência no domínio de poucos atores em certos segmentos da cadeia produtiva que assumem grande escala, concentram ligações pela vantagem da conexão preferencial e exercem coordenação descentralizada. Ao induzir comportamentos, esses agentes são determinantes no direcionamento da trajetória do sistema. Além de inibirem a competição nas atividades que desempenham, obtendo lucros extraordinários por reterem a maior parte dos benefícios das transações, influenciam as oportunidades de outros atores pelo estabelecimento de padrões que propiciam aprofundamento na especialização e exploração de nichos.

Mas ordens econômicas estão sujeitas a perturbações de diversas naturezas. Eventos naturais, guerras, revoltas populares, inovações de técnicas produtivas ou de produtos podem desestruturar o sistema e exigir adaptações para a sobrevivência, redefinindo o balanço de poder. Atores com baixa flexibilidade podem ter dificuldades diante do novo contexto. Se a conexão preferencial beneficia atores já estabelecidos a concentrarem ligações, explicando a vantagem dos pioneiros, momentos de instabilidade permitem que agentes inovadores usem sua maior adaptabilidade (*fitness*) ao novo contexto para tornarem-se novos *hubs*.

Uma limitação do estudo foi a ausência de modelos computacionais capazes de reproduzir os comportamentos de preços a partir de processos de auto-organização que conduzam o sistema a momentos de criticalidade. Afinal, em vez de equações, o estudo de sistemas complexos adota recursividade e limiares para captar dinâmicas fora do equilíbrio.

A investigação teórica da economia capitalista compatível com sistemas complexos também requer avanços, em especial no que se refere aos seus processos básicos e interrelações que resultem em tendências e contra-tendências de sincronização em várias escalas.

Com relação à investigação empírica com os instrumentos espectro de Fourier e expoente de Hurst, é preciso admitir ser necessário avançar na interpretação de resultados. As relações entre fases da transformada de Fourier podem conter informações sobre intermitência

e não linearidades, já que delas dependem as interferências construtivas e destrutivas. Além disso, muitas outras variáveis agregadas podem ser testadas e outras periodicidades de dados podem capturar novidades relacionadas a multifractalidade.

Talvez seja possível verificar a estrutura fractal do mercado a partir de registros de transações. Indicadores de invariância estatística e de características de rede (como distribuição de grau, tamanho médio de caminho e coeficiente de agrupamento) poderiam ser calculados para diferentes tipos de mercado.

A constatação que a economia capitalista se comporta como sistema complexo exige reavaliar a adequação de princípios básicos da economia ortodoxa. Como o capitalismo caracteriza-se por crescimento, acumulação e frequentes transformações, abordagens baseadas no equilíbrio não são recomendadas. Em vez disso, é preciso considerar a evolução do sistema, que conta com influências mútuas, novidades (exógenas e endógenas), adaptações, seleções e retenções de estratégias bem-sucedidas, conforme os contextos específicos.

Análises econômicas que assumem agente representativo e variáveis com distribuição normal merecem desconfiança. Afinal, a média é pouco representativa quando a variância é infinita, como no caso de distribuição em lei de potência com expoente negativo, com diferenças de ordens de grandeza. A assimetria de poder é tanto resultante do processo de crescimento com conexão preferencial quanto indutora de trajetórias de desenvolvimento, dada a influência de *hubs*. Portanto, não é possível descartar elementos atípicos em estatísticas.

A estrutura fractal do mercado, com dinâmicas nas várias escalas, amplia o potencial de investigação econômica, já que cada nível hierárquico pode ter regras relacionais e estruturas próprias, mas com semelhanças em processos recursivos. Em vez do aprofundamento do conhecimento sobre questões específicas, como o método científico reducionista, o estudo de sistemas complexos exige relacionar os diversos fatores que atuam concomitantemente.

Como propriedades agregadas transformam os efeitos das relações entre os elementos constituintes, a passagem do micro para o macro não é direta, mas exige avaliar níveis intermediários e efeitos de grupos. A depender do interesse do estudo, deve-se focar em determinado nível hierárquico, mas é preciso considerar os efeitos recíprocos entre os níveis adjacentes que podem induzir transformações, especialmente em momentos de criticalidade.

Já que sistemas complexos estão mais sujeitos a eventos extremos, as inevitáveis crises sistêmicas devem ser consideradas. Medidas preventivas, seguros e redundância podem amenizar os impactos de perturbações atípicas. Além disso, contar com alternativas, ter flexibilidade e capacidade de adaptação são determinantes não apenas para a sobrevivência, mas também para aproveitar oportunidades em momentos de transformação.

A aplicação da abordagem de sistemas complexos na economia altera a percepção sobre políticas. A distribuição de ligações em lei de potência indica grande impacto de incentivos aplicados aos poucos *hubs* que, por estarem muito conectados, transmitem aos demais elementos da rede. Como o estado da economia depende de processos que envolvem reações dos agentes, políticas de comando e controle podem ser substituídas por mecanismos de indução (*nudge*) a estados evolutivos possíveis e favoráveis (ARTHUR, 2015a; ELSNER, 2017).

O enfrentamento da desigualdade social deve considerar a tendência de sistemas complexos à concentração (*rich get richer*) diante de crescimento e conexão preferencial. Se a desigualdade além de determinado nível não é aceitável, é preciso desenhar mecanismos para evitar os efeitos negativos da conexão preferencial associados a reforço de privilégios e ao efeito ocupação na rede. Podem ser implementadas políticas que ampliem a mobilidade ao conferir oportunidades a pequenos atores de desempenho superior (*fitness*) para atraírem novas conexões e a superarem barreiras, como: incentivos a cooperativas que viabilizem benefícios de ganhos de escala; programas de desburocratização para acesso a mercados abrangentes; institutos públicos de pesquisa e desenvolvimento; programas para disseminação de informações e de práticas bem sucedidas; evitar obstáculos a concorrência impostos por grandes empresas; mecanismos eleitorais para evitar associação entre economia e política, dentre outros.

No que diz respeito ao desenvolvimento de países, há de se observar diferenças nas estruturas de rede de mercado. Empresas de países periféricos têm alcance de mercado limitado, sem conseguir aproveitar rendimentos crescentes suficientes para estabelecer conexões longas entre níveis hierárquicos mais abrangentes, a não ser através de corporações multinacionais favorecidas por conexões preferenciais. Assim, mesmo que obtenham vantagens ao se conectar a grandes atores externos para dominarem mercados internos, estarão à sombra de atores mais poderosos, que retêm ganhos de forma assimétrica. Para escapar da dependência, é preciso construir reputação de líder em alguma área específica para que haja atração de conexões sem intermediários pela superioridade de desempenho (*fitness*) até ocupar posição central na rede.

Ideias compatíveis com sistemas complexos estão presentes em autores clássicos e heterodoxos que adotam perspectiva histórica e que consideraram processos com fatores que se reforçam ou se contrapõem, implicando em dinâmicas fora do equilíbrio. A reinterpretção desses autores pela abordagem de sistemas complexos parece uma oportunidade de organização do pensamento econômico valorizando a dimensão temporal, novidades, influências com adaptações mútuas, aprendizado, diversidade e dinâmicas endógenas.

REFERÊNCIAS

- ALBUQUERQUE, Eduardo da Motta. **Agenda Rosdolsky**. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2012.
- ALBUQUERQUE, Eduardo da Motta. **Microeconomia Evolucionária**. 2018. Notas de aula.
- ALBUQUERQUE, Eduardo da Motta. **Revoluções Tecnológicas e a Periferia**. 2022. Notas de aula.
- ALLEN, Peter M. Evolution: Complexity, Uncertainty and Innovation. **Journal of Evolutionary Economics**, v. 24, n. 2, p. 265-289, 2014.
- ANDERSON, Philip W. More Is Different: broken symmetry and the nature of the hierarchical structure of science. **Science**, v. 177, n. 4047, p. 393-396, 1972.
- ARIELY, Dan. **Previsivelmente irracional**: como as situações do dia a dia influenciam as nossas decisões. Rio de Janeiro: Elsevier, 2008.
- ARNDT, Thomas M.; DALRYMPLE, Dana G.; RUTTAN, Vernon W. **Resource allocation and productivity in national and international agricultural research**. University of Minnesota Press, 1977.
- ARTHUR, Brian. Positive feedbacks in the economy. **Scientific American**, v. 262, n. 2, p. 92-99, 1990.
- ARTHUR, Brian. Inductive reasoning and bounded rationality: the El Farol problem. **The American Economic Review**, v. 84, n. 2, p. 406-411, 1994.
- ARTHUR, Brian. Complexity and the economy. **Science**, v. 284, n. 5411, p. 107-109, 1999.
- ARTHUR, Brian. Complexity Economics: a different framework for economic thought. In: ARTHUR, W. Brian. **Complexity and the Economy**. Oxford University Press, 2015a.
- ARTHUR, Brian. On the Evolution of Complexity. In: ARTHUR, W. Brian. **Complexity and the Economy**. Oxford University Press, 2015b.
- ARTHUR, B.; DURLAUF, S.; LANE, David A. Process and the emergence in the economy. In: ARTHUR, W. Brian. **Complexity and the Economy**. Oxford University Press, 2015.
- ASHBY, W. Ross. Principles of the self-organizing system. Classical Papers - Principles of the self-organizing system. **E:CO Special Double Issue**. v. 6, n. 1-2, p. 102-126, 2004.
- BAK, Per; TANG, Chao; WIESENFELD, Kurt. Self-organized criticality: An explanation of the 1/f noise. **Physical review letters**, v. 59, n. 4, p. 381, 1987.
- BAK, Per; TANG, Chao; WIESENFELD, Kurt. Self-organized criticality. **Physical Review A**, v. 38, n. 1, p. 364, 1988.
- BARABÁSI, Albert-László. Scale-free networks: a decade and beyond. **Science**, v. 325, n. 5939, p. 412-413, 2009a.
- BARABÁSI, Albert-László. **Linked**: a nova ciência dos networks. São Paulo: Leopardo, 2009b.
- BARABÁSI, Albert-László. **Network science**. Cambridge University Press, 2016. Disponível em: <<http://www.networksciencebook.com>>
- BARABÁSI, Albert-László. **The formula**: The universal laws of success. Hachette UK, 2018.
- BECKERT, Sven. **Empire of cotton**: A global history. Alfred A. Knopf, 2014.

BEVERIDGE, William H. Wheat prices and rainfall in western Europe. **Journal of the Royal Statistical Society**, v. 85, n. 3, p. 412-475, 1922.

BIVENS, Josh *et al.* **Raising America's Pay: Why It's Our Central Economic Policy Challenge**. Economic Policy Institute. Briefing Paper #378, June 4, 2014.

BOYER, Jean Daniel et al. **A rethinking of Labrousse's analyses of wheat price movements in 18th century France: Labrousse versus Labrousse?** 2020.

BRAUDEL, Fernand. **Civilização material, economia e capitalismo: séculos XV-XVIII. Volume I – As Estruturas do Cotidiano: o possível e o impossível**. São Paulo: Martin Fontes Editora, 2005.

BRAUDEL, Fernand. **Civilização material, economia e capitalismo: séculos XV-XVIII. Volume II – Os Jogos das Trocas**. São Paulo: Martin Fontes Editora, 2009a.

BRAUDEL, Fernand. **Civilização material, economia e capitalismo: séculos XV-XVIII. Volume III – O Tempo do Mundo**. São Paulo: Martin Fontes Editora, 2009b.

BRITISH agricultural revolution. In: Wikipedia, The Free Encyclopedia, 2023. Disponível em: <https://en.wikipedia.org/wiki/British_Agricultural_Revolution>, acesso em 27/01/23.

BULK carrier. In: Wikipedia, The Free Encyclopedia, 2023. Disponível em: <https://en.wikipedia.org/wiki/Bulk_carrier>, acesso em 25/02/23.

CARRARA, Bruno Aguiar. **Elementos evolucionários para uma teoria da demanda**. Dissertação (Mestrado em Economia) – Faculdade de Ciências Econômicas, Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, p. 210. 2019

CHAMBERS, Marcus J.; BAILEY, Roy E. A Statistical Analysis of Wheat Price Fluctuations in England: 1685–1850. **Journal of Agricultural Economics**, v. 50, n. 3, p. 564-588, 1999.

CHANDLER Jr, A. D. **Scale and scope: the dynamics of industrial capitalism**. Harvard University Press, 2004.

CHANDLER Jr, A. D. **The visible hand: The managerial revolution in American business**. Harvard University Press, 1999.

CIMINI, Fernanda; BRITTO, Jorge; RIBEIRO, Leonardo Costa. Complexity systems and middle-income trap: the long-term roots of Latin America underdevelopment. **Nova Economia**, v. 30, p. 1225-1256, 2021.

CLARK, Gregory. Markets before economic growth: the grain market of medieval England. **Cliometrica**, v. 9, n. 3, p. 265-287, 2015.

CLARK, Gregory. **The price history of English agriculture, 1209–1914**. University of California, 2003. Disponível em: <<http://faculty.econ.ucdavis.edu/faculty/gclark/papers/Agprice.pdf>>.

CORN laws. In: **Wikipedia**, The Free Encyclopedia, 2022. Disponível em: <https://en.wikipedia.org/wiki/Corn_Laws>, acesso em 23/12/22.

CORPORATION. In: **Wikipedia**, The Free Encyclopedia, 2021. Disponível em: <<https://en.wikipedia.org/wiki/Corporation>>, acesso em 18/04/21.

COWAN, Robin; COWAN, William; SWANN, Peter. A model of demand with interactions among consumers. **International Journal of Industrial Organization**, v. 15, n. 6, p. 711-732, 1997.

COWAN, Robin; COWAN, William; SWANN, Peter. Waves in consumption with interdependence among consumers. **Canadian Journal of Economics/Revue canadienne d'économique**, v. 37, n. 1, p. 149-177, 2004.

DONDLINGER, Peter Tracy. **The book of wheat: an economic history and practical manual of the wheat industry**. O. Judd, 2018.

DONLEY, Arvin. The fall and rise of Russian wheat. In: **World Grain**, 2021. Disponível em: <<https://www.world-grain.com/articles/16273-the-fall-and-rise-of-russian-wheat>>

DOPFER, Kurt. Evolutionary economics: a theoretical framework. In: DOPFER, Kurt (Ed.). **The evolutionary foundations of economics**. Cambridge University Press, 2005.

ELSNER, Wolfram. **Complexity Economics as Heterodoxy: a new integrative paradigm far beyond static "market equilibrium" and "optimality"**, 2017.

ELSNER, Wolfram. The process and a simple logic of 'meso'. Emergence and the co-evolution of institutions and group size. **Journal of Evolutionary Economics**, v. 20, n. 3, p. 445-477, 2010.

EVENSON, Robert E. Economic impacts of agricultural research and extension. **Handbook of agricultural economics**, v. 1, p. 573-628, 2001.

EVENSON, Robert E.; ALTAF, Zafar; MALIK, Kauser A. The Green Revolution and the Gene Revolution in Pakistan: Policy Implications [with Comments]. **The Pakistan Development Review**, p. 359-386, 2005.

EVENSON, Robert E.; GOLLIN, Douglas. Assessing the impact of the Green Revolution, 1960 to 2000. **Science**, v. 300, n. 5620, p. 758-762, 2003.

EVENSON, Robert E.; KISLEV, Yoav. Research and productivity in wheat and maize. **Journal of Political Economy**, v. 81, n. 6, p. 1309-1329, 1973.

FOSTER, John. From simplistic to complex systems in economics. **Cambridge Journal of Economics**, v. 29, n. 6, p. 873-892, 2005.

FRANK, Robert H. The demand for unobservable and other nonpositional goods. **The American Economic Review**, v. 75, n. 1, p. 101-116, 1985.

FRED ECONOMIC DATA. **Consumer Price Index: All Items for the United States (USACPIALLMINMEI)**, St. Louis Fed, 2023. Disponível em: <<https://fred.stlouisfed.org/series/USACPIALLMINMEI>>

FREEMAN, Chris; SOETE, Luc. **A economia da inovação industrial**. Editora da Unicamp, 2014.

FREEMAN, Christopher; LOUÇÃ, Francisco. **As time goes by: from the industrial revolutions to the information revolution**. Oxford University Press, 2001.

FRIEDMANN, H.; MCMICHAEL, P. Agriculture and the state system: The rise and decline of national agricultures, 1870 to the present. **Sociologia ruralis**, v. 29, n. 2, p. 93-117, 1989.

GIGERENZER, Gerd; TODD, Peter M. Fast and frugal heuristics: the adaptative toolbox. In: GIGERENZER, Gerd. **Simple heuristics that make us smart**. Oxford University Press, 1999.

GOLDENFELD, Nigel; KADANOFF, Leo P. Simple lessons from complexity. **Science**, v. 284, n. 5411, p. 87-89, 1999.

GORDON, Robert J. **The rise and fall of American growth: the US standard of living since the Civil War**. Princeton/Oxford: Princeton University Press, 2016.

- GRILICHES, Zvi. Research expenditures, education, and the aggregate agricultural production function. **The American Economic Review**, v. 54, n. 6, p. 961-974, 1964.
- GUJARATI, Damodar N.; PORTER, Dawn C. **Econometria básica**. Porto Alegre: AMGH, 2011.
- HAYEK, Friedrich A. The use of knowledge in society. In HAYEK, F. A. **Individualism and economic order**. University of Chicago Press, 1980.
- HEFFETZ, Ori; FRANK, Robert. Preferences for status: Evidence and economic implications. In: **Handbook of Social Economics**, North-Holland, 2011.
- HIGUCHI, T. Relationship between the fractal dimension and the power law index for a time series: a numerical investigation. **Physica D: Nonlinear Phenomena**, v. 46, n. 2, p. 254-264, 1990.
- HOLLAND, John H. Complex adaptive systems. **Daedalus**, v. 121, n. 1, p. 17-30, 1992.
- HOLLAND, John H. Studying complex adaptive systems. **Journal of Systems Science and Complexity**, v. 19, n. 1, p. 1-8, 2006.
- HOLLAND, John H.; MILLER, John H. Artificial adaptive agents in economic theory. **The American Economic Review**, v. 81, n. 2, p. 365-370, 1991.
- HOPKINS, Ed; KORNIENKO, Tatiana. Running to keep in the same place: Consumer choice as a game of status. **American Economic Review**, v. 94, n. 4, p. 1085-1107, 2004.
- JACKS, David S. From boom to bust: A typology of real commodity prices in the long run. **Cliometrica**, v. 13, n. 2, p. 201-220, 2019. Disponível em: <<http://www.sfu.ca/~djacks/data/boombust/index.html>>.
- KAHNEMAN, Daniel. **Rápido e devagar**: duas formas de pensar. Rio de Janeiro: Objetiva, 2012.
- KALDOR, N. The Irrelevance of Equilibrium Economics. **The Economic Journal**, 82, 1972.
- KONDRATIEFF, Nikolai D. The long waves in economic life. **Review** (Fernand Braudel Center), v. 2, n. 4, p. 519-562, 1979.
- LANE, David. Hierarchy, complexity, society. In: **Hierarchy in natural and social sciences**. Springer, Dordrecht, 2006.
- LANGLOIS, Richard N.; COSGEL, Metin M. The Organization of Consumption. **University of Connecticut Economics Working Papers**, 1996.
- LORENZ, Edward. **Predictability**: does the flap of a butterfly's wing in Brazil set off a tornado in Texas?. American Association for the Advancement of Science, 139th meeting, 1972.
- MAGNAN, André. **When Wheat Was King**: The rise and fall of the Canada-UK grain trade. UBC Press, 2016.
- MAKRIDAKIS, Spyros; WHEELWRIGHT, Steven C.; HYNDMAN, Rob J. **Forecasting methods and applications**. John Wiley & Sons, 1997.
- MANDELBROT, Benoit. New methods in statistical economics **The Journal of Political Economy**, v. 71, p. 421-440, 1963b.
- MANDELBROT, Benoit. The Variation of Certain Speculative Prices. **The Journal of Business**, v. 36, n. 4, p. 394-419, 1963a.
- MANDELBROT, Benoit. The variation of the prices of cotton, wheat, and railroad stocks, and of some financial rates. **The Journal of Business**, vol. 40, p. 393-413, 1967.

MANDELBROT, Benoit. **Fractals and scaling in finance: discontinuity, concentration, risk.** New York: Springer Science & Business Media, 1997.

MANDELBROT, Benoit. **Multifractals and $1/f$ noise: Wild self-affinity in physics.** Springer, 1999.

MANDELBROT, Benoit; HUDSON, Richard L. **The misbehavior of markets: a fractal view of financial turbulence.** Basic books, 2007.

MARKOSE, Sheri M. Computability and evolutionary complexity: markets as complex adaptive systems (CAS). **The Economic Journal**, v. 115, n. 504, p. F159-F192, 2005.

MARSHALL, Alfred. **Principles of Economics.** Palgrave Macmillan, 2013.

MARX, Karl. **O Capital: Crítica da economia política. Livro 1: O processo de produção do capital.** Boitempo Editorial, 2013.

MARX, Karl. **O Capital: Crítica da economia política. Livro 2: O processo de circulação do capital.** Boitempo Editorial, 2015.

MEDEIROS, C. e CINTRA, M. Impactos da ascensão chinesa sobre os países latino-americanos. **Revista de Economia Política**, vol. 35, n. 1 (138), pp. 28-42, 2015.

MINSKY, H. P. The Financial Instability Hypothesis: An Interpretation of Keynes and an Alternative to "Standard" Theory. **Challenge**, 1977, v. 20, n. 1, 1977.

MOREIRA, J. G.; DA SILVA, J. Kamphorst Leal; KAMPHORST, S. Oliffson. On the fractal dimension of self-affine profiles. **Journal of Physics A: Mathematical and General**, v. 27, n. 24, p. 8079, 1994.

MYRDAL, Gunnar. **Teoria Econômica e Regiões Subdesenvolvidas.** Rio de Janeiro: Instituto Superior de Estudos Brasileiros, 1960.

MYRDAL, Gunnar. **The Equality Issue in World Development.** Lecture to the memory of Alfred Nobel, March 17, 1975.

NBER – National Bureau of Economic Research. **U.S. Wholesale Price of Wheat, Chicago; Six Markets 01/1938-08/1952.** Disponível em: <<https://www.nber.org/research/data/nber-macrohistory-iv-prices>>

NELSON, Richard R.; WINTER, Sidney G. **Uma teoria evolucionária da mudança econômica.** Campinas-SP: Editora da Unicamp, 2012.

NELSON, Scott Reynolds. **Oceans of Grain: how american wheat remade the world.** New York: Basic Books, 2022.

OZIK, Jonathan; HUNT, Brian R.; OTT, Edward. Growing networks with geographical attachment preference: Emergence of small worlds. **Physical Review E**, v. 69, n. 2, p. 026108, 2004.

PEREZ, Carlota. Structural change and assimilation of new technologies in the economic and social systems. **Futures**, v. 15, n. 5, p. 357-375, 1983.

PEREZ, Carlota. **Technological revolutions and techno-economic paradigms.** Cambridge Journal of Economics, v. 34, n. 1, p. 185-202, 2010.

PETERS, Edgar E. **Chaos and order in the capital markets: a new view of cycles, prices, and market volatility.** John Wiley & Sons, 1991.

PETERS, Edgar E. **Fractal market analysis: applying chaos theory to investment and economics.** John Wiley & Sons, 1994.

- PINDYCK, Robert S.; ROTEMBERG, Julio J. The excess co-movement of commodity prices. **The Economic Journal**, v. 100, p. 1173-1189, 1990.
- POLANYI, Karl. **A grande transformação**: as origens de nossa época. Ed. Campus, 2000.
- POLLAN, Michael. **O dilema do onívoro**: uma história natural de quatro refeições. Editora Intrínseca, 2007.
- POWELL, Walter W. Neither market nor hierarchy: network forms of organization, **Research in Organizational Behavior**, Vol. 12. LL Cummings and B. Slaw (eds.), p. 295-336, 1990.
- PRIGOGINE, Ilya. Exploring complexity. **European journal of operational research**, v. 30, n. 2, p. 97-103, 1987.
- RIBEIRO, Leonardo Costa. **Caracterização de perfis de reatividade imunológica**. 2004.
- RIBEIRO, Leonardo Costa. **Sistemas Complexos**: Estudo de Problemas em Economia da Tecnologia e Imunologia. 2007.
- RIBEIRO, Leonardo Costa; ALBUQUERQUE, Eduardo da Motta. **Sistemas Complexos e Teoria Econômica**. Cedeplar/UFMG, 2023. Notas de aula.
- RIBEIRO, Leonardo Costa; DEUS, Leonardo Gomes de; LOUREIRO, Pedro Mendes; ALBUQUERQUE, Eduardo da Motta. A network model for the complex behavior of the rate of profit: Exploring a simulation model with overlapping technological revolutions. **Structural Change and Economic Dynamics**, v. 43, p. 51-61, 2017a.
- RIBEIRO, Leonardo Costa; DEUS, Leonardo Gomes de; LOUREIRO, Pedro Mendes; ALBUQUERQUE, Eduardo da Motta. Profits and fractal properties: notes on Marx, countertendencies and simulation models. **Review of Political Economy**, v. 29, n. 2, p. 282-306, 2017b.
- RIBEIRO, Leonardo Costa; DEUS, Leonardo Gomes de; LOUREIRO, Pedro Mendes; ALBUQUERQUE, Eduardo da Motta. **Changing Levels of Self-organization: how a capitalist economy differs from other complex systems**. UFMG: Cedeplar, 2018.
- RIBEIRO, Leonardo Costa; RUIZ, Ricardo M.; BERNARDES, Américo T.; ALBUQUERQUE, Eduardo M. Science in the developing world: running twice as fast?. **Computing in Science & Engineering**, v. 8, n. 4, p. 81-87, 2006.
- ROBSON, Arthur J. Complex evolutionary systems and the Red Queen. **The Economic Journal**, v. 115, n. 504, p. F211-F224, 2005.
- RUBEL, William. **Bread**: A global history. Reaktion Books, 2011.
- SANTOS, Joseph. A History of Futures Trading in the United States. **EH.Net Encyclopedia**, edited by Robert Whaples. 2008. Disponível em: <<http://eh.net/encyclopedia/a-history-of-futures-trading-in-the-united-states/>>.
- SHELLING, Thomas **Micromotives and macrobehavior**. WW Norton & Company, 2006.
- SCHUMPETER, Joseph Alois. **Capitalismo, socialismo e democracia**. Rio de Janeiro: Editora Fundo de Cultura, 1961.
- SCHUMPETER, Joseph Alois. **Teoria do desenvolvimento econômico**: uma investigação sobre lucros, capital, crédito, juro e o ciclo econômico. Coleção Os Economistas. São Paulo: Editora Nova Cultural, 1997.
- SIMON, Herbert A. On a class of skew distribution functions. **Biometrika**, v. 42, n. 3/4, p. 425-440, 1955a.

SIMON, Herbert A. A behavioral model of rational choice. **The Quarterly Journal of Economics**, v. 69, n. 1, p. 99-118, 1955b.

SIMON, Herbert A. The architecture of complexity. **Proceedings of the American Philosophical Society**, v. 106, n. 6, p. 467-482, 1962.

SIMON, Herbert A. Rationality as process and as product of thought. **The American Economic Review**, p. 1-16, 1978.

SIMON, Herbert A. Decision making and problem solving. **Research Briefings 1986: Report of the Research Briefing Panel on Decision Making and Problem Solving**. Washington: National Academic Press, 1986.

SIMON, Herbert A. Invariants of human behavior. **Annual Review of Psychology**, vol. 41, p. 1-19, 1990.

SIMON, Herbert A. Organizations and markets. **Journal of Economic Perspectives**, v. 5, n. 2, p. 25-44, 1991.

SIMON, Herbert A. *et al.* Can there be a science of complex systems. **Unifying themes in complex systems**, v. 1, p. 3-14, 2000.

SINCLAIR, Thomas R.; SINCLAIR, Carol Janas. **Bread, beer and the seeds of change: agriculture's imprint on world history**. Cabi, 2010.

SMELSER, Neil J.; SWEDBERG, Richard. Introducing Economic Sociology. In: SMELSER, Neil J.; SWEDBERG, Richard (Ed.). **The Handbook of Economic Sociology**. Princeton university press, 2005.

SMITH, Adam. **A Riqueza das Nações: investigação sobre sua natureza e suas causas**. São Paulo: Nova Cultural, 1985.

SMITH-DOERR, Laurel; POWELL, Walter W. Networks and Economic Life. In: SMELSER, Neil J.; SWEDBERG, Richard (Ed.). **The Handbook of Economic Sociology**. Princeton university press, 2005.

STOELHORST, Jan-Wilhelm; RICHERSON, Peter J. A naturalistic theory of economic organization. **Journal of Economic Behavior & Organization**, v. 90, p. S45-S56, 2013.

STROGATZ, Steven H. Exploring complex networks. **Nature**, v. 410, n. 6825, p. 268-276, 2001.

SWEDBERG, Richard. Markets in Society. In: SMELSER, Neil J.; SWEDBERG, Richard (Ed.). **The Handbook of Economic Sociology**. Princeton University Press, 1995.

SWEDBERG, Richard. Markets in Society. In: SMELSER, Neil J.; SWEDBERG, Richard (Ed.). **The Handbook of Economic Sociology**. Second Edition. Princeton University Press, 2005.

THE NATURAL HISTORY OF WHEAT. Encyclopedia of Food and Culture, 2022. Disponível em: <<https://www.encyclopedia.com/food/encyclopedias-almanacs-transcripts-and-maps/natural-history-wheat>>, acesso em 05/08/22.

THE WORLD BANK. **Commodity Markets: "Pink Sheet" Data**, 2023. Disponível em: <<https://www.worldbank.org/en/research/commodity-markets>>

TONER, P. **Main Currents in Cumulative Causation: The Dynamics of Growth and Development**. New York: St. Martin's Press, 1999. WEIS e FERSHTMAN, 1998

TOUBOUL, Jonathan D. The hipster effect: When anti-conformists all look the same. **Discrete and Continuous Dynamical Systems-B**, v. 24, n. 8, p. 4379-4415, 2019.

TURING, Alan Mathison. The chemical basis of morphogenesis. **Bulletin of mathematical biology**, v. 52, p. 153-197, 1990.

U.S. BUREAU OF LABOR STATISTICS. **Producer Price Index by Commodity**: Farm Products: Wheat [WPU0121], retrieved from FRED, Federal Reserve Bank of St. Louis; Disponível em: <<https://fred.stlouisfed.org/series/WPU0121>>

UNITED STATES DEPARTMENT OF STATE. Office of the Historian, Bureau of Public Affairs. **Milestones in the History of U.S. Foreign Relations**, 2018. Disponível em:<<https://history.state.gov/milestones/all>>, acesso em 16/11/18.

WARD, Lawrence M.; GREENWOOD, Priscilla E. 1/f noise. **Scholarpedia**, v. 2, n. 12, p. 1537, 2007. Disponível em: <www.scholarpedia.org/article/1/f_noise>

WATTS, Duncan J.; STROGATZ, Steven H. Collective dynamics of 'small-world' networks. **Nature**, v. 393, n. 6684, p. 440-442, 1998.

WEISS, Yoram; FERSHTMAN, Chaim. Social status and economic performance: A survey. **European Economic Review**, v. 42, n. 3-5, p. 801-820, 1998.

WERON, Rafał. Estimating long-range dependence: finite sample properties and confidence intervals. **Physica A: Statistical Mechanics and its Applications**, v. 312, n. 1-2, p. 285-299, 2002.

WITT, Ulrich. Bioeconomics as economics from a Darwinian perspective. **Journal of Bioeconomics**, v. 1, n. 1, p. 19-34, 1999.

WITT, Ulrich. Learning to consume – A theory of wants and the growth of demand. **Journal of Evolutionary Economics**, v. 11, n. 1, p. 23-36, 2001.

WITT, Ulrich. Symbolic consumption and the social construction of product characteristics. **Structural Change and Economic Dynamics**, v. 21, n. 1, p. 17-25, 2010.

WITT, Ulrich. The dynamics of consumer behavior and the transition to sustainable consumption patterns. **Environmental Innovation and Societal Transitions**, v. 1, n. 1, p. 109-114, 2011.

YOUNG, Allyn A. Increasing Returns and Economic Progress. **The Economic Journal**, v. 38, n. 152, 1928.

APÊNDICE I – OUTRAS SÉRIES ANUAIS DE PREÇOS DO TRIGO

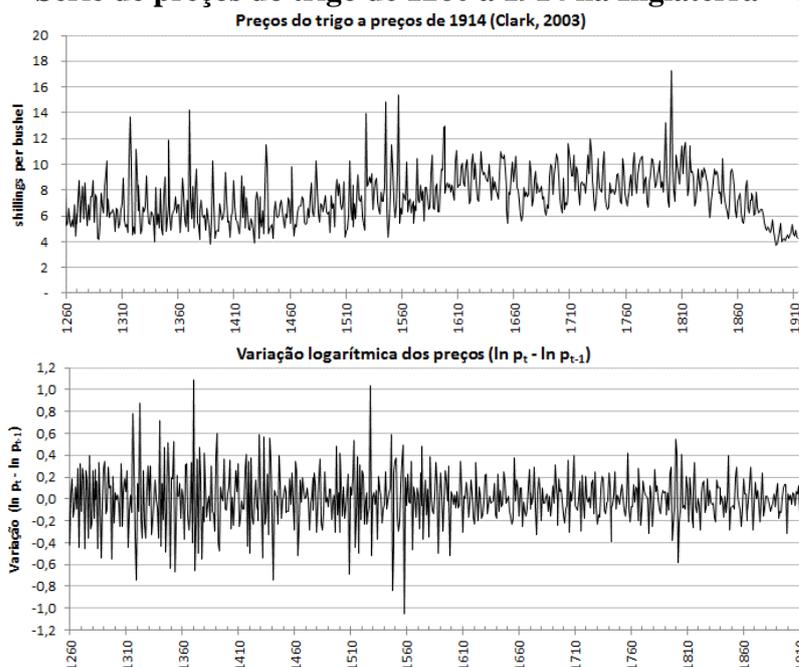
Como forma de validar os resultados obtidos com a série de Makridakis et al (1997), foram pesquisadas outras séries de preços do trigo de longo prazo que tivessem descrição das fontes dos dados.

Este apêndice apresenta os resultados dos cálculos adotando as séries de Clark (2003), com preços na Inglaterra de 1260 a 1914, e de Jacks (2019), com preços nos EUA entre 1850 e 2020. Além de comparar com os resultados da série de Makridakis, as séries foram divididas em intervalos que permitem a análise de invariâncias em diferentes ordens econômicas.

A.1. Clark (2003), de 1260 a 1914 na Inglaterra

A Figura AI1 traz a série anual de preços de trigo de 1260 a 1914 apresentada por Clark (2003). O referido artigo traz a descrição das fontes utilizadas na construção da série.

Figura AI1 – Série de preços do trigo de 1260 a 1914 na Inglaterra – Clark (2003)



Fonte: Clark (2003). Disponível em: <<http://faculty.econ.ucdavis.edu/faculty/gclark/papers/Agprice.pdf>>

A Tabela AI1 apresenta os resultados dos mesmos intervalos adotados no estudo da série de Makridakis. Mas o último intervalo se limita ao período da ordem britânica, até a 1ª Guerra Mundial. Os valores em **negrito** indicam características de sistemas complexos, mas os em **vermelho** não permitem conclusão categórica.

**Tabela AI1 – Curtose, expoente de Hurst (H), expoente de Fourier (β) e desvio
Expoentes e compatibilização**

| Intervalos | Curtose | Curto prazo | | | | Longo Prazo | | | |
|------------|---------|--------------|--------------|----------------|------------------|--------------|--------------|----------------|------------------|
| | | Exp Hurst | Exp Fourier | desvio | | Exp Hurst | Exp Fourier | desvio | |
| | | H | β | R ² | $\beta/(1+2H)-1$ | H | β | R ² | $\beta/(1+2H)-1$ |
| 1265-1535 | 9,28 | 0,404 | 0,670 | 5% | -63% | 0,036 | 0,029 | 0% | -97% |
| 1535-1770 | 4,32 | 0,467 | 1,197 | 15% | -38% | 0,051 | 0,297 | 4% | -73% |
| 1770-1914 | 5,46 | 0,635 | 1,916 | 30% | -16% | 0,110 | 1,725 | 63% | 41% |

Fonte: cálculos próprios a partir da série de preços do trigo de 1260 a 1914 de Clark (2003).

Comparando com os resultados de cálculos com a série de Makridakis:

- Nos primeiros intervalos, os expoentes de Hurst de longo prazo próximos a zero indicam saturação do conjunto imagem típica de ruído branco.
- Confirma-se o melhor ajuste do espectro de Fourier em função potência (R² mais alto) para o intervalo 1770-1914, especialmente no longo prazo.
- Expoente de Hurst de longo prazo menor que 0,5 para o intervalo de 1770-1914, sinal de anti-persistência.
- Melhoria da compatibilização entre os expoentes de Hurst e Fourier ($\beta = 1 + 2H$) no último período, apesar do desvio ainda considerável.

Esses resultados indicam que, apesar de ser possível notar o processo de transição, a série do preço do trigo não captura plenamente a economia como sistema complexo até 1914.

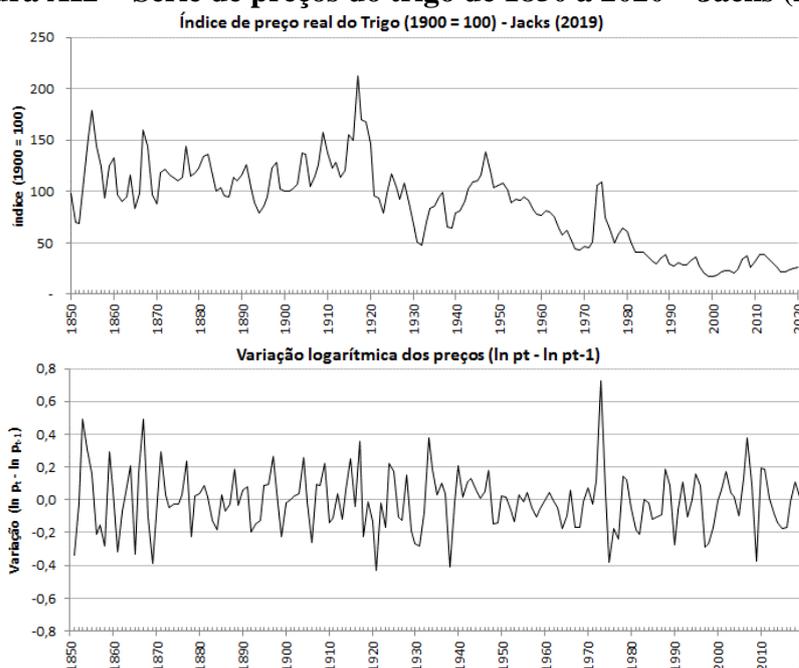
A.2. Jacks (2019), de 1850-2020 nos EUA

Se a série de Clark (2003) vai até o início da 1ª Guerra Mundial, Jacks (2019)¹⁴⁷ disponibiliza uma série anual do preço do trigo de 1850 até os dias atuais (Figura AI2). O período engloba duas guerras mundiais, transição para ordem estadunidense e a crescente globalização.

Além de testar os resultados obtidos para o período de 1870-1996 com a série de Makridakis, que resultou em H_{LP} próximo a 0,5 (Tabela 3.1), foi possível analisar o período mais recente, com hegemonia estadunidense na porção capitalista do mundo.

É nítida na série a mudança após a Segunda Guerra Mundial, com maior frequência de variações de baixa amplitude, mas ainda contendo eventos extremos, como em 1973, quando o preço do trigo mais que dobrou.

¹⁴⁷ A série de Jacks (2019) é expressa em índice a preços constantes (1900 = 100). Os preços expressos em dólar foram deflacionados pelo índice de preços ao consumidor (US CPI). As fontes são: *Global Financial Data* (1850-1999) e *United States Department of Agriculture National Agricultural Statistics Service* (2000-20).

Figura AI2 – Série de preços do trigo de 1850 a 2020 – Jacks (2019)

Fonte: Jacks (2019). Disponível em: <<http://www.sfu.ca/~djacks/data/boombust/index.html>>

Para estudar a série de Jacks, optou-se por dividir em 3 intervalos: o período completo (1850-2020), um intervalo igual ao último período da série de Makridakis (1870-1996), para fins de comparação, e o último período apenas com dados após a Segunda Guerra Mundial. A Tabela AI2 traz os resultados. Os valores em negrito indicam características de sistemas complexos, mas os em vermelho não são tão conclusivos.

Tabela AI2 – Curtose, expoente de Hurst (H), expoente de Fourier (β) e desvio
Expoentes e compatibilização

| Intervalos | Curtose | Curto prazo | | | | Longo Prazo | | | |
|------------|---------|-------------|-------------|--------|------------------|-------------|-------------|--------|------------------|
| | | Exp Hurst | Exp Fourier | desvio | | Exp Hurst | Exp Fourier | desvio | |
| | | H | β | R^2 | $\beta/(1+2H)-1$ | H | β | R^2 | $\beta/(1+2H)-1$ |
| 1850-2020 | 8,24 | 0,866 | 2,027 | 35% | -26% | 0,241 | 1,514 | 41% | 2% |
| 1870-1996 | 12,14 | 0,752 | 1,992 | 41% | -20% | 0,295 | 1,553 | 38% | -2% |
| 1947-2020 | 15,83 | 0,760 | 1,742 | 37% | -31% | 0,377 | 1,669 | 80% | -5% |

Fonte: cálculos próprios a partir da série de preços do trigo de 1850 a 2020 de Jacks (2019).

Os resultados permitem constatar:

- Os ajustes dos espectros de potência de Fourier a função potência são razoáveis, com destaque para o longo prazo de 1947-2020 ($R^2=80\%$);
- A compatibilização entre os expoentes de Hurst e Fourier foi muito boa no longo prazo (desvios na tabela), indicando dimensão fractal típica de sistemas complexos, com dinâmicas contendo invariâncias em diferentes horizontes temporais. No curto prazo, a compatibilização foi pior, talvez pela regressão com poucos pontos. Os cálculos com as séries mensais esclarecem essa questão.
- Os expoentes de Hurst de curto prazo são maiores que 0,5, indicando memória com persistência (amplificação, tendências);

- Os expoentes de Hurst de longo são menores que 0,5: longo prazo se caracteriza por memória anti-persistente (reversões e processos de dissipação);
- Se o período de 1870-1996 da série de Makridakis resultou em expoente de Hurst de longo prazo (H_{LP}) próximo de 0,5, levantando a suspeita de comportamento semelhante a caminho aleatório, o mesmo período desta série resultou em $H_{LP} = 0,295$. Esta divergência foi considerada na análise das séries de preços mensais.

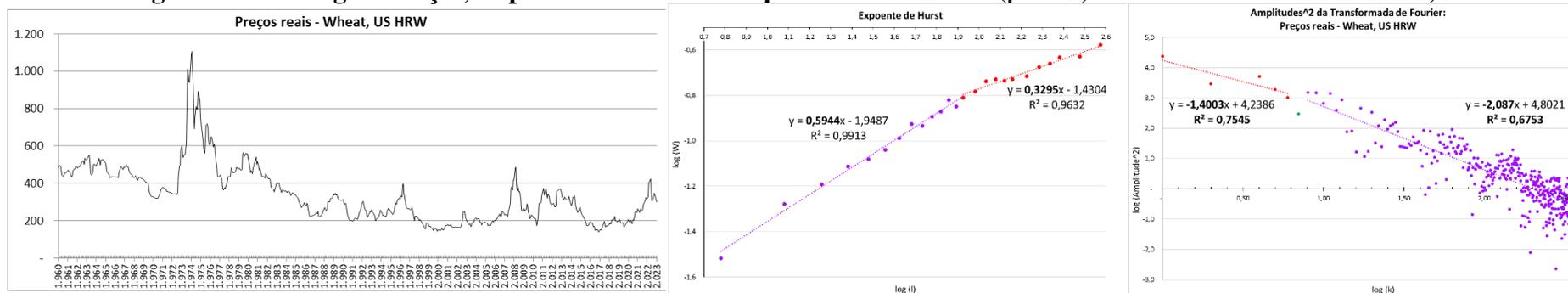
APÊNDICE II – SÉRIES DE PREÇOS DE OUTRAS COMMODITIES

Este Apêndice traz resumos dos resultados da aplicação de instrumentos de análise de sistemas complexos a preços mensais de várias *commodities* entre 1960 e 2023 disponibilizados pelo Banco Mundial, corrigidos pela inflação¹⁴⁸. As *commodities* foram separadas pelo tipo (alimentos, matérias primas agrícolas, adubos e minerais).

Apesar de a maioria ter confirmado assinaturas de sistemas complexos (altas curtoses, multifractalidade, $H \neq 0,5$; $\beta \neq 2$), outras não permitem descartar caminho aleatório. Aquelas com características de complexidade são apresentadas antes de cada grupo e as que apresentaram divergências¹⁴⁹ estão no final. Um breve comentário sobre os resultados de cada *commodity* é feito após os gráficos.

ALIMENTOS

Figura AIII1 – Trigo – Preços, Expoentes de Hurst e de potência de Fourier ($\beta = 2\alpha$) – World Bank – curtose = 22,76



Fonte: cálculos próprios a partir da série de preços mensais de *commodities* de 1960 a 2023 do World Bank (Pink Table).

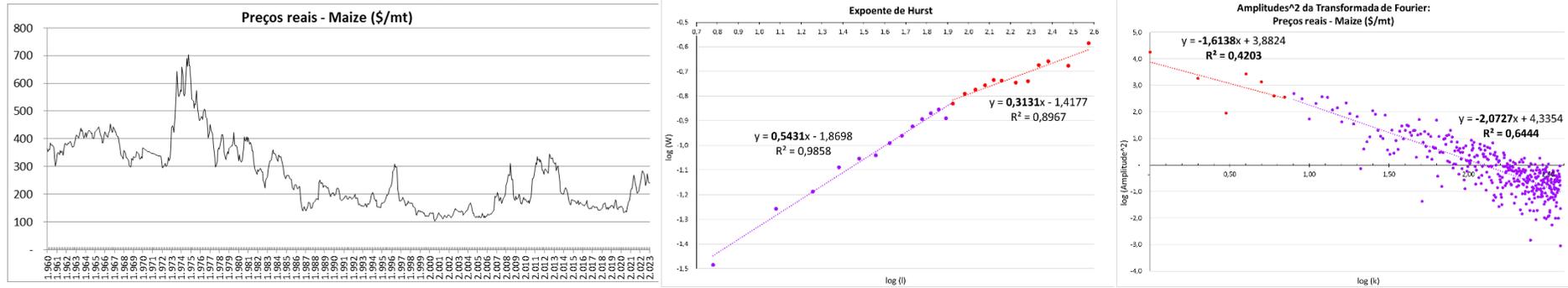
Comportamento semelhante ao obtido no estudo para séries mensais recentes¹⁵⁰.

¹⁴⁸ Dados da "Pink Sheet" Data (THE WORLD BANK, 2023) corrigidos pela inflação pelo Consumer Price Index dos EUA (FRED ECONOMIC DATA, 2023).

¹⁴⁹ Arroz, carne, tabaco, potássio, petróleo (até 1979), minério de ferro, ouro e prata.

¹⁵⁰ Foi preciso desconsiderar a frequência de $k=3$ ($T = 252$ meses, ou 21 anos) no cálculo do expoente de Fourier, por ter apresentado amplitude próxima a zero. Cálculos com a série até 2021 não apresentaram esse problema, que pode estar associado a algum tratamento de dados que usou um critério com essa periodicidade.

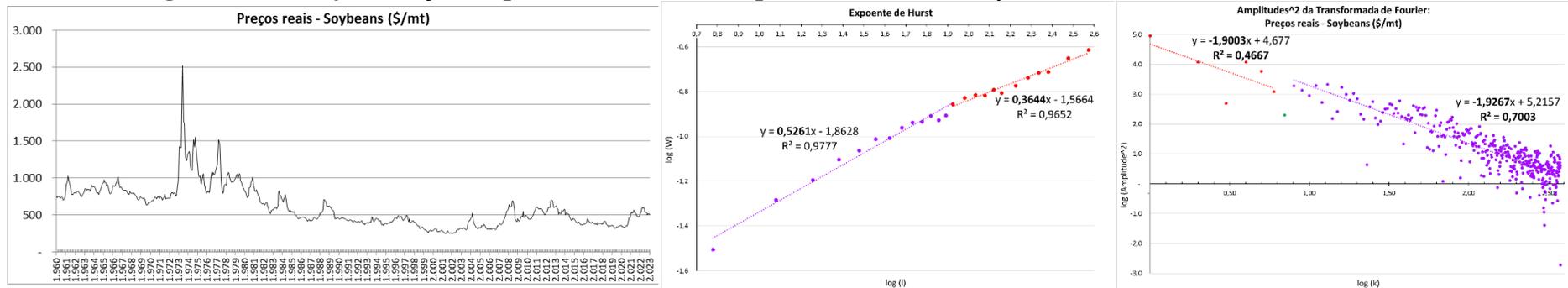
Figura AII2 – Milho – Preços, Expoentes de Hurst e de potência de Fourier ($\beta = 2\alpha$) – World Bank – curtose = 6,28



Fonte: cálculos próprios a partir da série de preços mensais de *commodities* de 1960 a 2023 do World Bank (Pink Table).

Resultado com assinaturas de sistemas complexos.

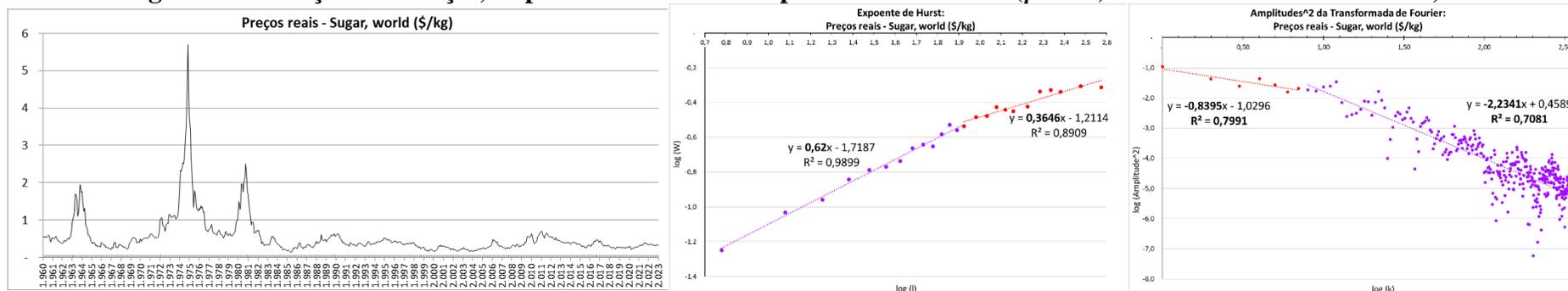
Figura AII3 – Soja – Preços, Expoentes de Hurst e de potência de Fourier ($\beta = 2\alpha$) – World Bank – curtose = 9,48



Fonte: cálculos próprios a partir da série de preços mensais de *commodities* de 1960 a 2023 do World Bank (Pink Table).

Resultado com assinaturas de sistemas complexos. Mas $H_{CP} \sim 0,5$.

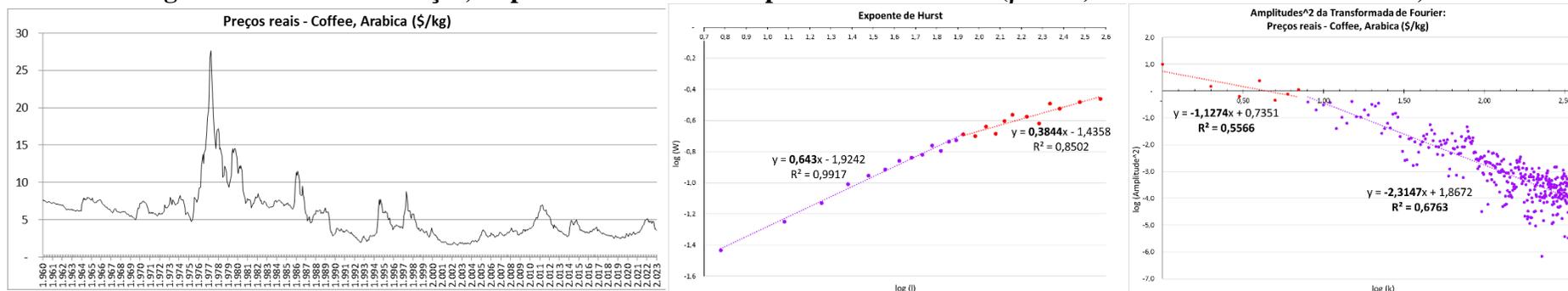
Figura AII4 – Açúcar – Preços, Expoentes de Hurst e de potência de Fourier ($\beta = 2\alpha$) – World Bank – curtose = 5,26



Fonte: cálculos próprios a partir da série de preços mensais de *commodities* de 1960 a 2023 do World Bank (Pink Table).

Resultado com assinaturas de sistemas complexos.

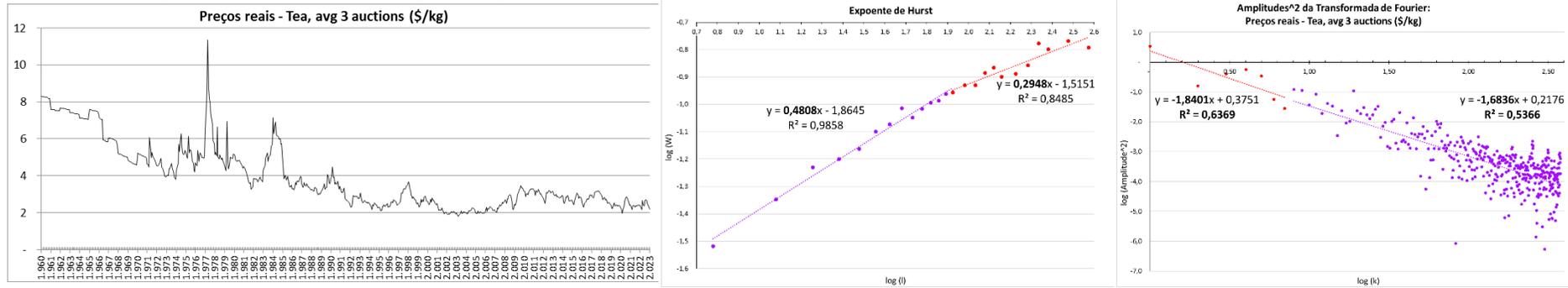
Figura AII5 – Café – Preços, Expoentes de Hurst e de potência de Fourier ($\beta = 2\alpha$) – World Bank – curtose = 9,66



Fonte: cálculos próprios a partir da série de preços mensais de *commodities* de 1960 a 2023 do World Bank (Pink Table).

Resultado com assinaturas de sistemas complexos.

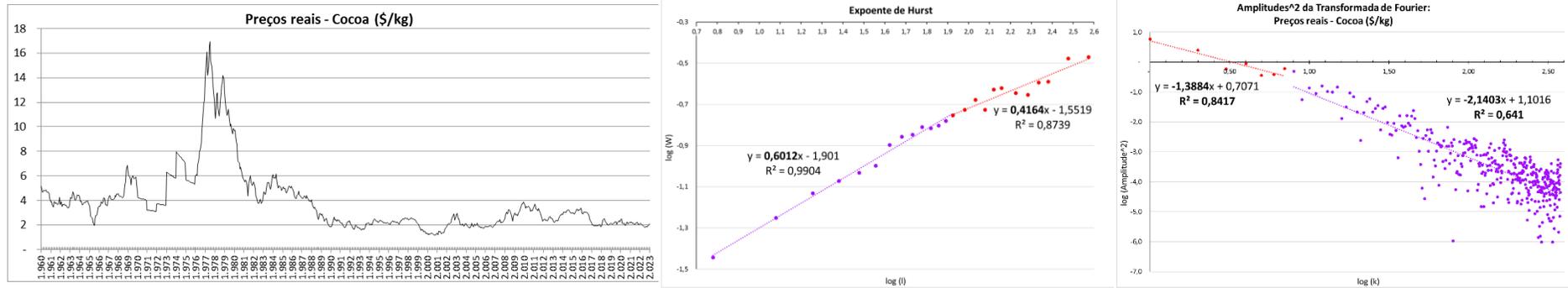
Figura AII6 – Chá – Preços, Expoentes de Hurst e de potência de Fourier ($\beta = 2\alpha$) – World Bank – curtose = 20,38



Fonte: cálculos próprios a partir da série de preços mensais de *commodities* de 1960 a 2023 do World Bank (Pink Table).

Resultado com assinaturas de sistemas complexos. Mas $H_{CP} \sim 0,5$.

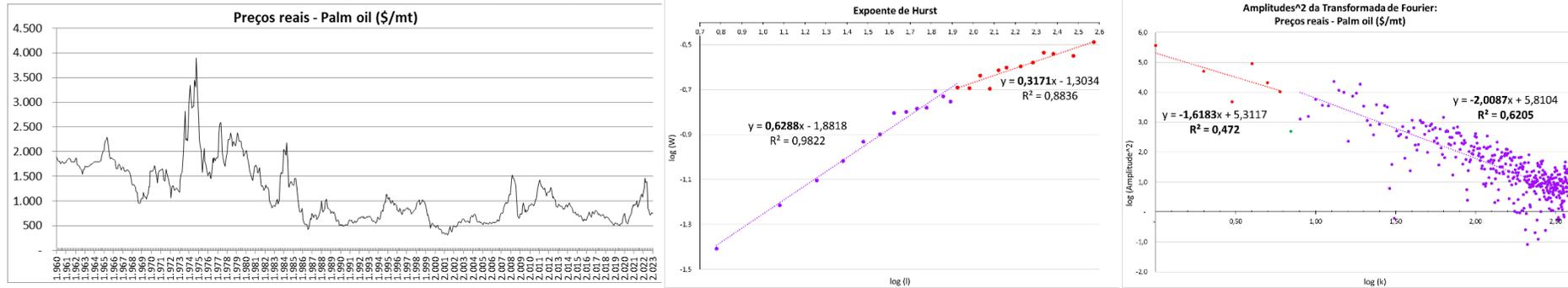
Figura AII7 – Cacau – Preços, Expoentes de Hurst e de potência de Fourier ($\beta = 2\alpha$) – World Bank – curtose = 24,69



Fonte: cálculos próprios a partir da série de preços mensais de *commodities* de 1960 a 2023 do World Bank (Pink Table).

Resultado com assinaturas de sistemas complexos.

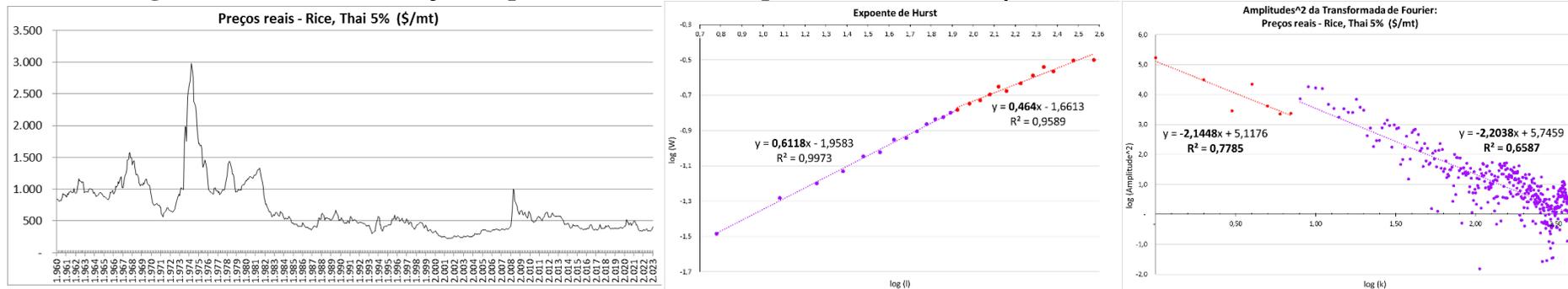
Figura AII8 – Óleo de palma – Preços, Expoentes de Hurst e de potência de Fourier ($\beta = 2\alpha$) – World Bank – curtose = 5,52



Fonte: cálculos próprios a partir da série de preços mensais de *commodities* de 1960 a 2023 do World Bank (Pink Table).

Além de alimento, também usado em cosméticos e como biocombustível. Resultado com assinaturas de sistemas complexos.

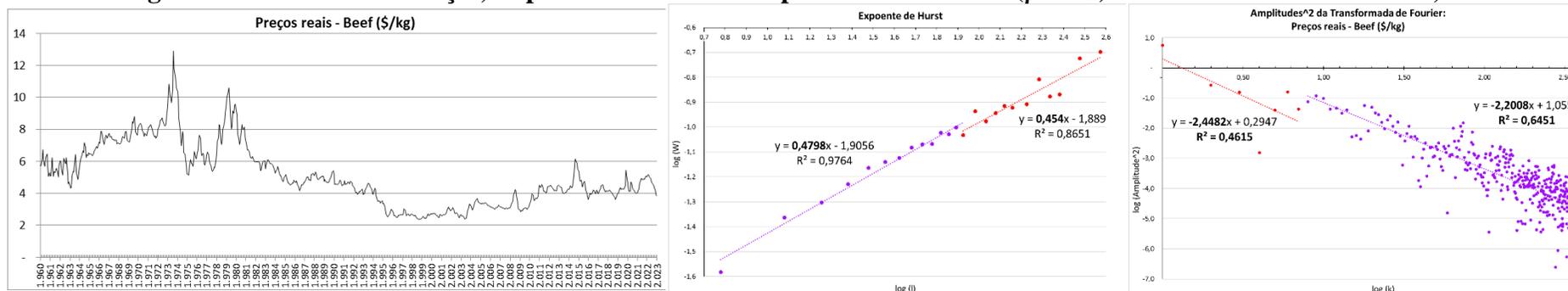
Figura AII9 – Arroz – Preços, Expoentes de Hurst e de potência de Fourier ($\beta = 2\alpha$) – World Bank – curtose = 41,67



Fonte: cálculos próprios a partir da série de preços mensais de *commodities* de 1960 a 2023 do World Bank (Pink Table).

No longo prazo (vermelho), indicadores próximos aos de caminho aleatório ($H \sim 0,5$ e Exp Fourier ~ -2). Alta curtose.

Figura AIII10 – Carne – Preços, Expoentes de Hurst e de potência de Fourier ($\beta = 2\alpha$) – World Bank – curtose = 5,85

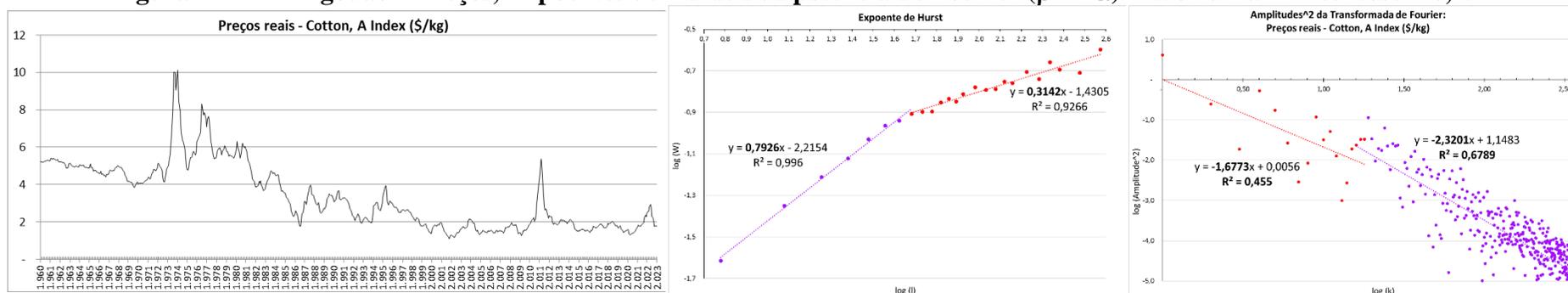


Fonte: cálculos próprios a partir da série de preços mensais de *commodities* de 1960 a 2023 do World Bank (Pink Table).

Não há marcante multifractalidade e indicadores próximos aos de caminho aleatório ($H \sim 0,5$ e Exp Fourier ~ -2).

OUTRAS MATÉRIAS PRIMAS AGRÍCOLAS

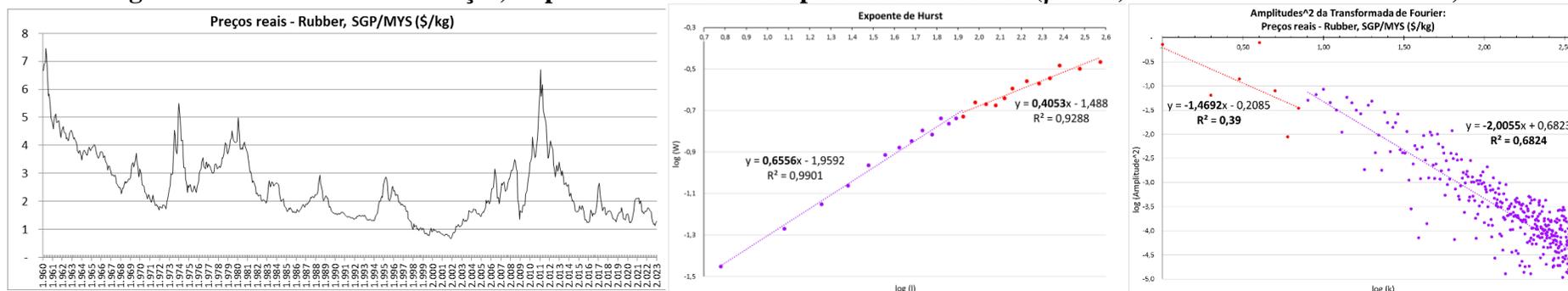
Figura AIII11 – Algodão – Preços, Expoentes de Hurst e de potência de Fourier ($\beta = 2\alpha$) – World Bank – curtose = 6,29



Fonte: cálculos próprios a partir da série de preços mensais de *commodities* de 1960 a 2023 do World Bank (Pink Table).

Multifractalidade com ciclo não periódico de apenas 48 meses (4 anos), em vez de 8 anos como a maioria das demais *commodities*.

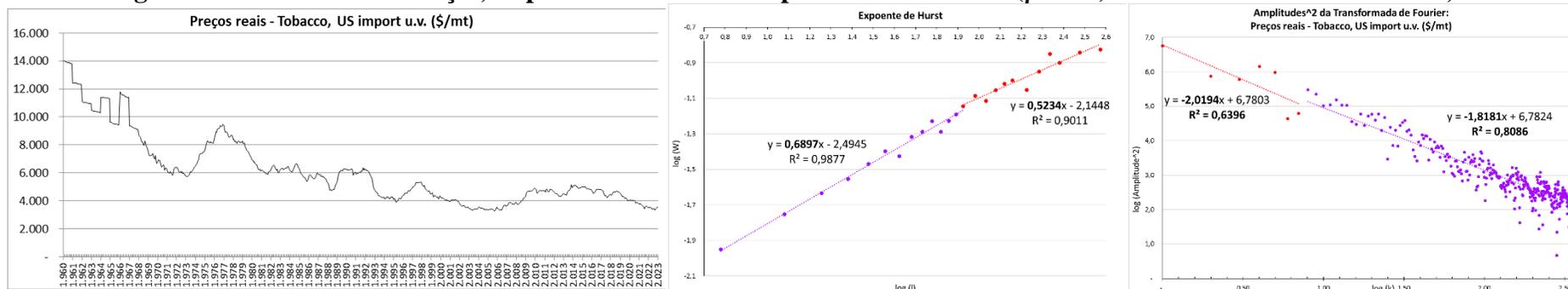
Figura AII12 – Borracha – Preços, Expoentes de Hurst e de potência de Fourier ($\beta = 2\alpha$) – World Bank – curtose = 5,21



Fonte: cálculos próprios a partir da série de preços mensais de *commodities* de 1960 a 2023 do World Bank (Pink Table).

Expoente de Fourier de longo prazo com baixo R^2 (39%), indicando pior ajuste a lei de potência do espectro.

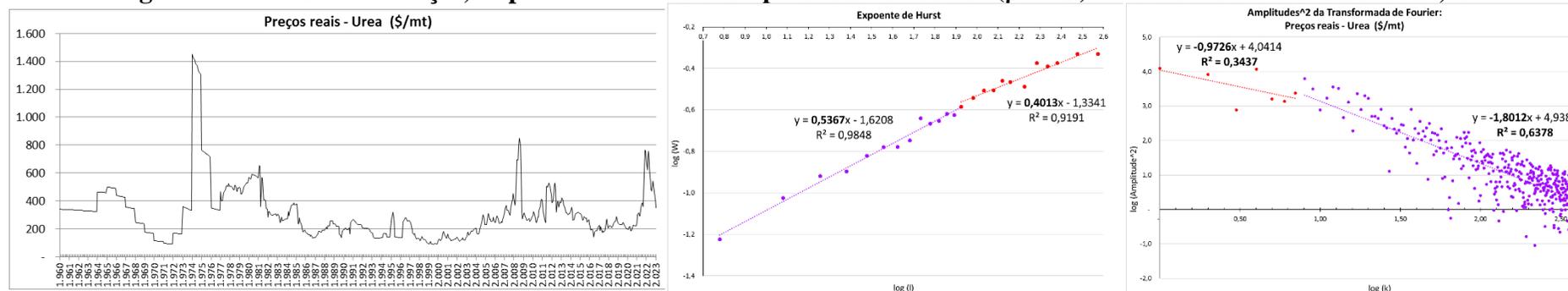
Figura AII13 – Tabaco – Preços, Expoentes de Hurst e de potência de Fourier ($\beta = 2\alpha$) – World Bank – curtose = 35,01



Fonte: cálculos próprios a partir da série de preços mensais de *commodities* de 1960 a 2023 do World Bank (Pink Table).

Comportamento no longo prazo mais parecido com caminho aleatório ($H \sim 0,5$ e $\beta \sim 2$). Alta curtose.

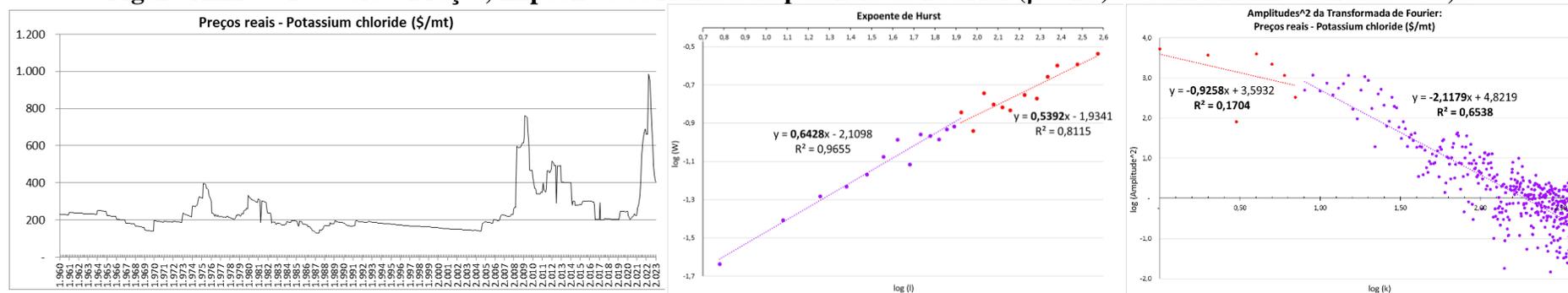
Rugosidade de preços não parece fractal, especialmente antes de 1968.

ADUBOS**Figura AII14 – Ureia – Preços, Expoentes de Hurst e de potência de Fourier ($\beta = 2\alpha$) – World Bank – curtose = 197,18**

Fonte: cálculos próprios a partir da série de preços mensais de *commodities* de 1960 a 2023 do World Bank (Pink Table).

Baixo R^2 do expoente de Fourier de longo prazo. Altíssima curtose.

Rugosidade de preços até 1978 não parece fractal.

Figura AII15 – Potássio – Preços, Expoentes de Hurst e de potência de Fourier ($\beta = 2\alpha$) – World Bank – curtose = 39,09

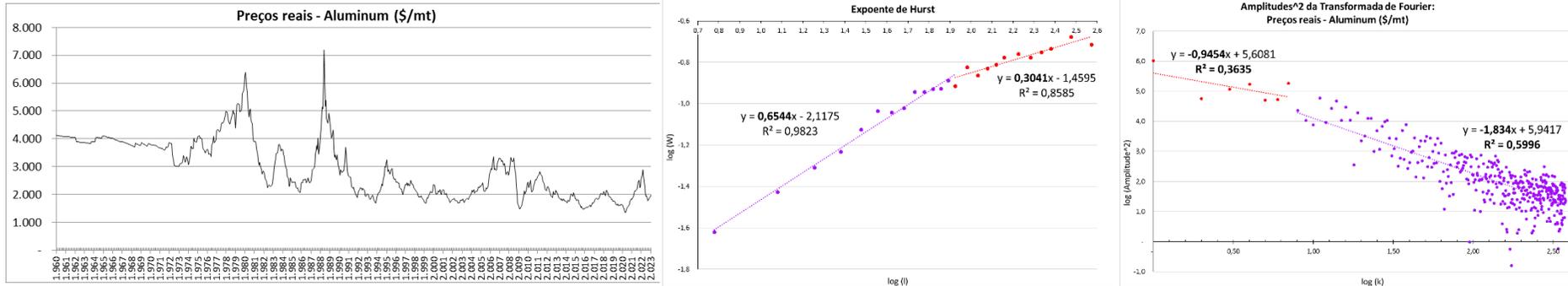
Fonte: cálculos próprios a partir da série de preços mensais de *commodities* de 1960 a 2023 do World Bank (Pink Table).

Baixo R^2 do expoente de Fourier de longo prazo. $H_{LP} \sim 0,5$. Alta curtose.

Rugosidade de preços não parece fractal, especialmente antes de 1973 e entre 1991 e 2004.

MINERAIS

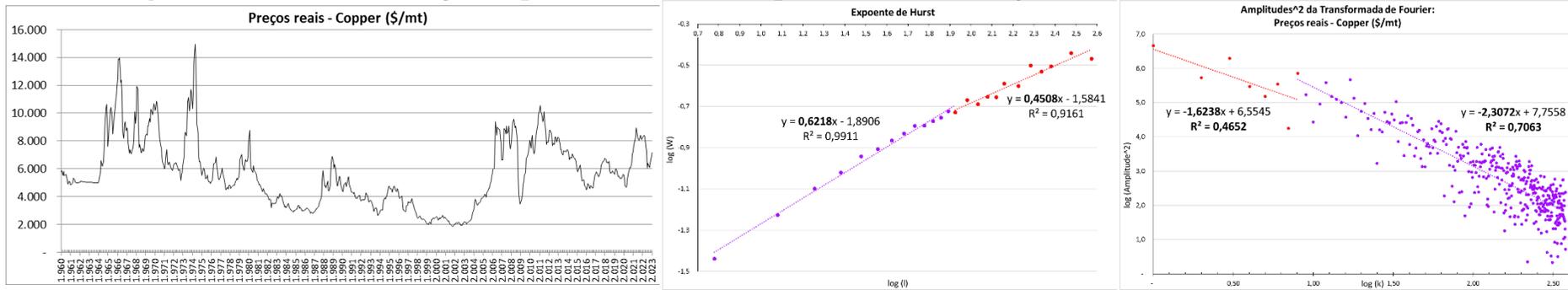
Figura AII16 – Alumínio – Preços, Expoentes de Hurst e de potência de Fourier ($\beta = 2\alpha$) – World Bank – curtose = 6,34



Fonte: cálculos próprios a partir da série de preços mensais de *commodities* de 1960 a 2023 do World Bank (Pink Table).

Resultado com assinaturas de sistemas complexos.

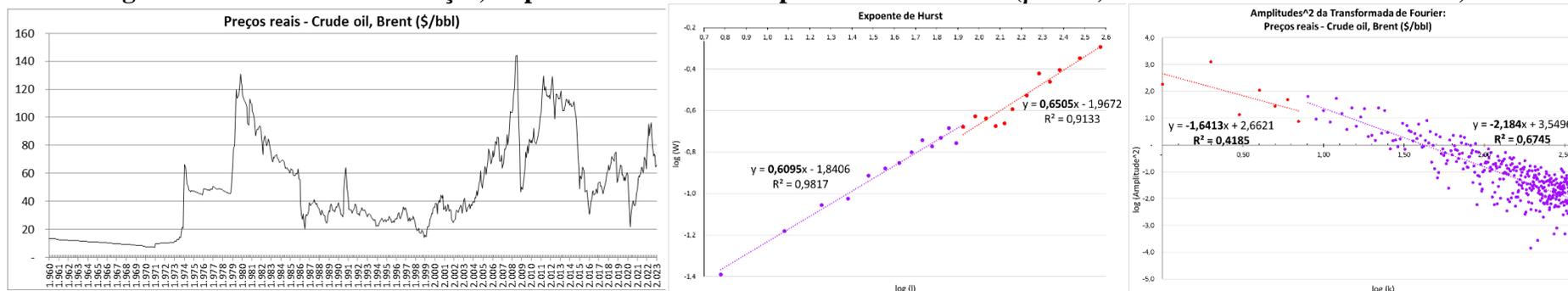
Figura AII17 – Cobre – Preços, Expoentes de Hurst e de potência de Fourier ($\beta = 2\alpha$) – World Bank – curtose = 5,73



Fonte: cálculos próprios a partir da série de preços mensais de *commodities* de 1960 a 2023 do World Bank (Pink Table).

Resultado com assinaturas de sistemas complexos.

Figura AII18 – Petróleo – Preços, Expoentes de Hurst e de potência de Fourier ($\beta = 2\alpha$) – World Bank – curtose = 176,65

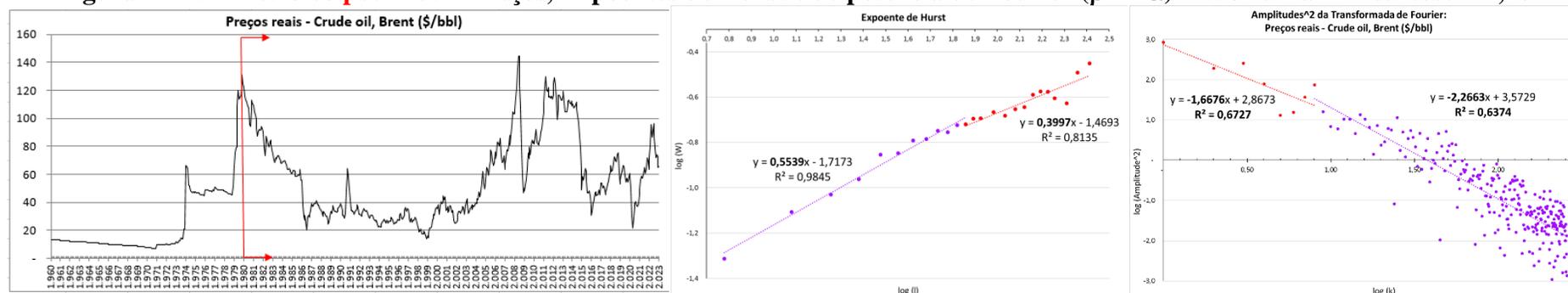


Fonte: cálculos próprios a partir da série de preços mensais de *commodities* de 1960 a 2023 do World Bank (Pink Table).

Multifractalidade não é evidente. $H_{LP} > 0,5$. R^2 do exp de Fourier de longo prazo mais baixo. Altíssima curtose.

Rugosidade de Preços até 1979 não parece ter comportamento fractal.

Figura AII19 – Petróleo **pós 1980 – Preços, Expoentes de Hurst e de potência de Fourier ($\beta = 2\alpha$) – World Bank – curtose = 7,26**

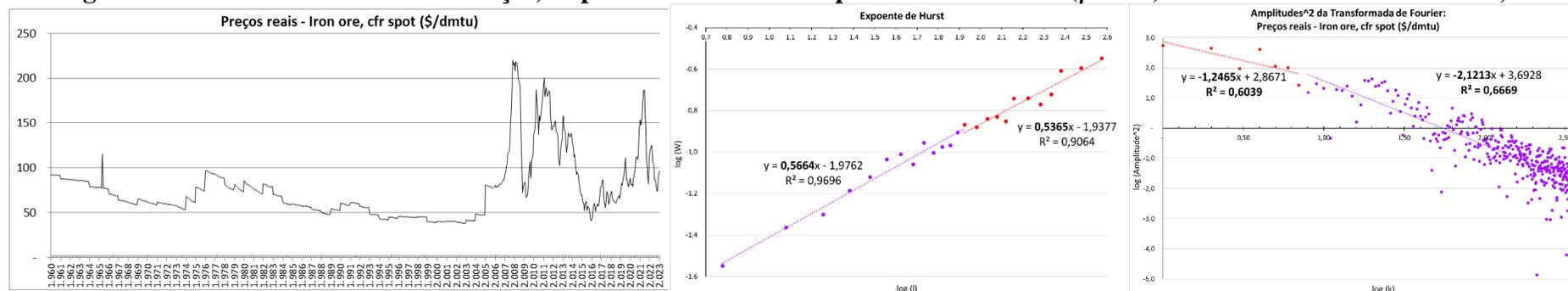


Fonte: cálculos próprios a partir da série de preços mensais de *commodities* de 1960 a 2023 do World Bank (Pink Table).

Considerando dados apenas após 1980, indicadores passam a apontar para sistema complexo: multifractalidade, $H_{LP} < 0,5$ e $\beta < 2$.

Multifractalidade com ciclo não periódico de 72 meses (6 anos).

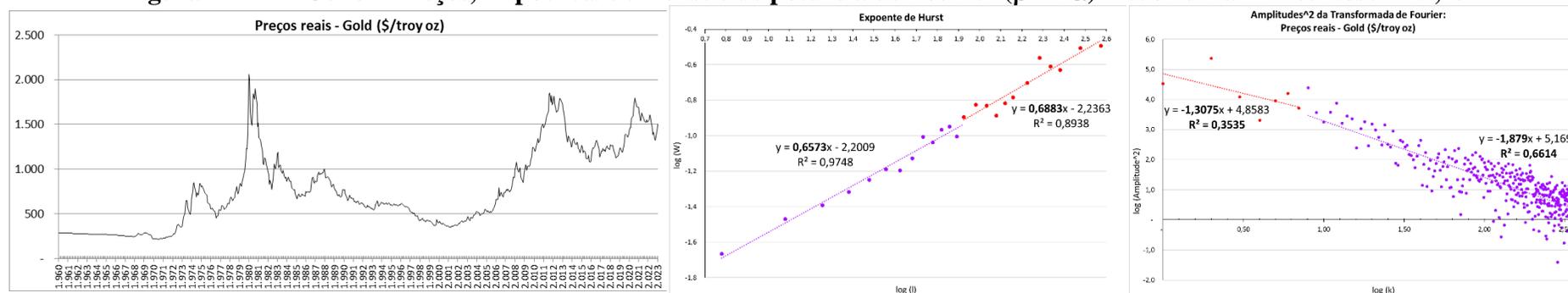
Figura AII20 – Minério de ferro – Preços, Expoentes de Hurst e de potência de Fourier ($\beta = 2\alpha$) – World Bank – curtose = 26,83



Fonte: cálculos próprios a partir da série de preços mensais de *commodities* de 1960 a 2023 do World Bank (Pink Table).

Apesar do expoente de Fourier de longo prazo ser bem menor que 2, $H_{LP} \sim 0,5$: má compatibilização mediada pela dimensão fractal. Alta curtose. Expoentes de Hurst não sugerem multifractalidade. Rugosidade de preços não parece fractal até 2005.

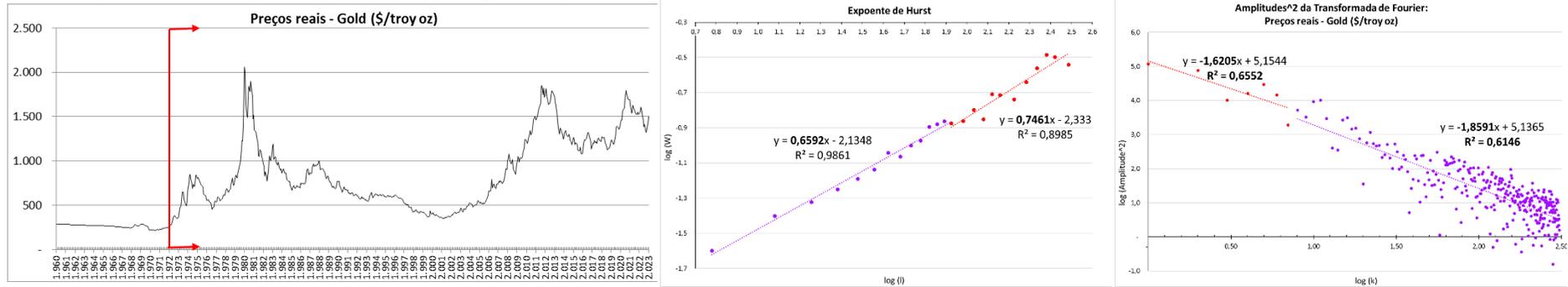
Figura AII21 – Ouro – Preços, Expoentes de Hurst e de potência de Fourier ($\beta = 2\alpha$) – World Bank – curtose = 19,23



Fonte: cálculos próprios a partir da série de preços mensais de *commodities* de 1960 a 2023 do World Bank (Pink Table).

Baixo R^2 do expoente de Fourier de longo prazo. $H_{LP} > 0,5$, com má compatibilização entre esses indicadores mediada pela dimensão fractal. Preços não parecem ter rugosidade fractal até 1973.

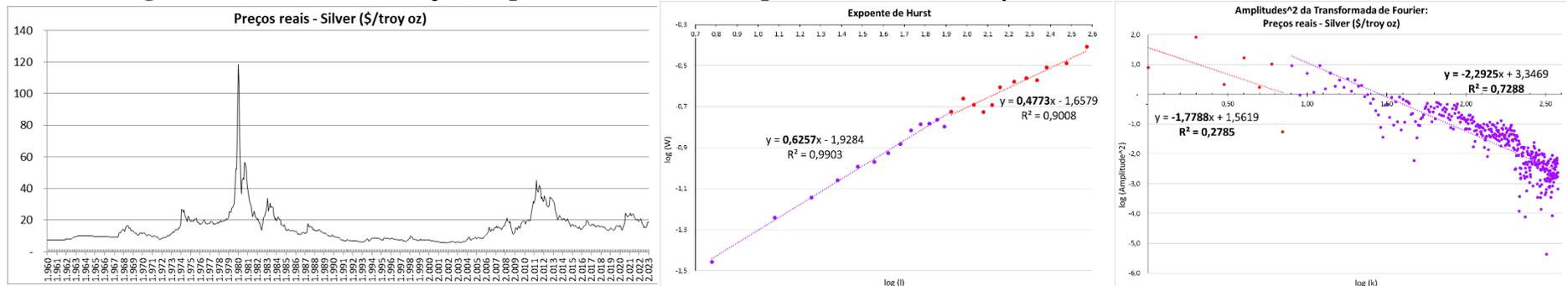
Figura AII22 – Ouro pós 1972 – Preços, Expoentes de Hurst e de potência de Fourier ($\beta = 2\alpha$) – World Bank – curtose = 16,21



Fonte: cálculos próprios a partir da série de preços mensais de *commodities* de 1960 a 2023 do World Bank (Pink Table).

Considerando apenas preços do ouro após 1972: melhoria do R^2 do exp. de Fourier de LP (espectro em lei de potência). Mas $H_{LP} > 0,5$, com persistência também no LP. Compatibilização entre os expoentes de Fourier e de Hurst no longo prazo ruim. Multifractalidade não é evidente.

Figura AII23 – Prata – Preços, Expoentes de Hurst e de potência de Fourier ($\beta = 2\alpha$) – World Bank – curtose = 18,22

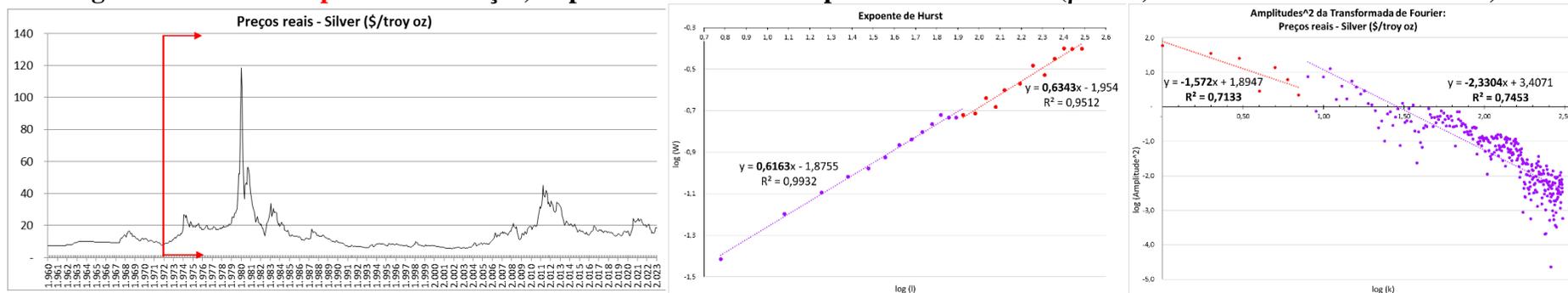


Fonte: cálculos próprios a partir da série de preços mensais de *commodities* de 1960 a 2023 do World Bank (Pink Table).

Assim como o ouro, baixo R^2 do expoente de Fourier de longo prazo. $H_{LP} \sim 0,5$.

Preços não parecem ter rugosidade fractal até 1973.

Figura AII24 – Prata pós 1972 – Preços, Expoentes de Hurst e de potência de Fourier ($\beta = 2\alpha$) – World Bank – curtose = 16,36



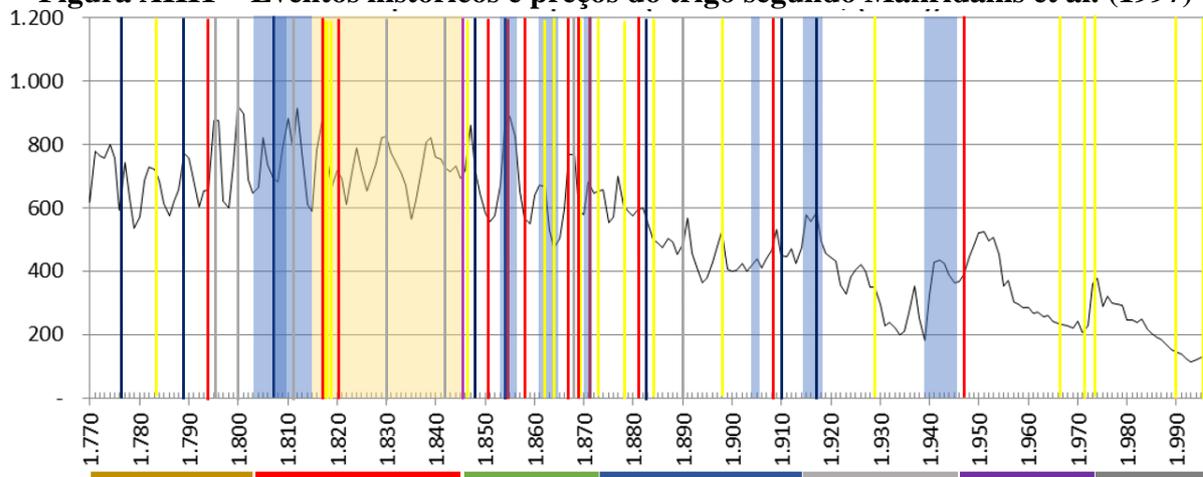
Fonte: cálculos próprios a partir da série de preços mensais de *commodities* de 1960 a 2023 do World Bank (Pink Table).

Considerando apenas preços da prata após 1972: melhoria do R^2 do exp. de Fourier de LP (espectro em lei de potência). Mas $H_{LP} > 0,5$, com persistência também no LP. Compatibilização entre os expoentes de Fourier e de Hurst no longo prazo ruim. Multifractalidade não é evidente.

Semelhante ao que ocorreu com o ouro.

APÊNDICE III – EVENTOS QUE AFETARAM OS PREÇOS DO TRIGO APÓS 1770

Figura AIII1 – Eventos históricos e preços do trigo segundo Makridakis et al. (1997)



Fonte: elaboração própria a partir das fontes citadas no estudo.

OBS: as barras na figura e os anos têm cores conforme o tipo de evento: **guerras em azul**, **inovações em vermelho**, **instituições em amarelo** e eventos naturais em cinza

Economia agrícola exportadora

- 1760s – Império Russo (Catarina II): política de comercialização internacional de grãos (Fisiocratas) – expansão
- 1776 – Independência dos EUA: influência fisiocrata (colonização agrícola do oeste, investimentos em educação e planos de exportação de grãos) – suprimento a colônias no Caribe
- 1784 – Corn Laws na Grã-Bretanha
- 1794-5 – Inverno severo resultou em baixa colheita
- 1789 – Revolução Francesa: preço do pão
- 1794 – Novo porto de Odessa usado para exportar grãos russos em grande quantidade para países europeus
- 1800 – Forte inverno em 1798-9 destruíram plantações

Restrições ao comércio

- 1803-15 – Guerras napoleônicas: portos europeus fechados para a Grã-Bretanha e dificuldades para a França transportar por água. Exceto comércio do trigo do Mar Negro: Rússia e Turquia (Estreito de Bósforo)
- 1807-09 – Guerra entre Rússia e Grã-Bretanha
- 1811 – Colheitas ruins concomitantes a restrições de fornecimento externo devido às Guerras Napoleônicas
- 1815-46 – Intensificação das Corn Laws na Grã Bretanha
- 1817-18 – Atos de Navegação dos EUA para bloquear manufaturados britânicos selecionados
- 1818 – Free Port Act da Grã Bretanha: bloqueio a navios americanos, com exceção dos canadenses
- 1819 – Pânico Americano: crise do mercado do trigo nos EUA

Abertura ao comércio internacional de grãos

- 1845 – Fungo da batata (Irlanda) forçou abertura de importação de trigo da Rússia e EUA
- 1846 – Revogação das Corn Laws
- 1848 – Revoluções europeias (pressão por eliminação das barreiras a alimentos)
- 1850 – Veleiro americano permitiu travessia do Atlântico em 2 semanas, algodão e trigo como lastro
- 1853-56 – Guerra entre impérios russo e turco, com proibição russa de exportação de grãos
- 1854 – Franceses e ingleses se uniram ao Império Otomano para derrotar os russos na Guerra da Criméia
- 1854 – Navios a vapor de mercadores privados no transporte de grãos no Mar Negro
- 1858 – Cabo telegráfico transatlântico
- 1861-65 – Guerra de Secessão nos EUA (bloqueio do Mississipi e reformas no Norte)
- 1862 – Homestead Act
- 1862 – United States Department of Agriculture (USDA) e Land Grant Colleges
- 1864 – Mercado futuro de Chicago (contratos futuros padronizados)
- 1867 – Patente da dinamite por Alfred Nobel – portos oceânicos e ferrovias (túneis)
- 1871 – Portos oceânicos em Antuérpia e Roterdã: trigo barato estadunidense em cidades portuárias na Europa
- 1873 – Pânico de 1873 – crise agrária (redução da renda de terras) e financeira (projetos de LP com crédito de CP): redução do comércio, desemprego, falências

Reestruturação do comércio internacional

1881 – Estadunidenses desenvolveram produção de farinha de alta qualidade (branca) em escala industrial
Domínio (mas não controle) da cadeia produtiva de Armazéns ABCD: financiamento, distribuição

1884 – Rússia passa a emular EUA com investimento estatal em ferrovias e empréstimos a produtores de trigo

1890 – Seca na Rússia provocou queda na produção e impediu navegação pelo Rio Volga. Armazéns ficaram esvaziados, faltando até semente para o próximo ano.

1891 – Fome na Rússia

1898 – Especulação no mercado do trigo nos EUA (corners: Joe Leiter x Phillip D. Armour)

1904-05 – Expansão Russa: Transiberiana e Guerra entre Rússia e Japão pelo controle da Manchúria

1908 a 13 – Síntese do amoníaco (Processo Haber-Bosch) – explosivos e fertilizante (N)

Intervenção estatal em tempos de crises

1914-18 – I Guerra Mundial (controle dos grãos)

1917 – Desestruturação, fome e Revolução Russa

1929 – Crise de 1929

1939-45 – II Guerra Mundial

Globalização com hegemonia Estadunidense no mundo capitalista e Guerra Fria

1947 – Nitrato de amônio: fábrica de munição no Alabama convertida para fertilizantes químicos

Políticas agrícolas estadunidenses, superprodução e *soft politics* com alimentos

1966 – International Maize and Wheat Improvement Center (CIMMYT) - México

1971 – Fim da conversibilidade do dólar em ouro (agosto)

Crises do trigo e do petróleo

1973 – Para evitar fome devido a secas, URSS compra grande quantidade de trigo a preço subsidiado dos EUA (julho)

1990 – Colapso da URSS

Globalização com Grandes Corporações

1995 – Agricultura integrada no comércio global - WTO