

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
CENTRO SÓCIO-ECONÔMICO  
DEPARTAMENTO DE ECONOMIA E RELAÇÕES INTERNACIONAIS  
CURSO DE GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS ECONÔMICAS

LUÍS GUSTAVO BORNIA

Mercado de Leilão: Uma Análise com Modelos Baseado em Agentes

Florianópolis  
2021

LUÍS GUSTAVO BORNIA

Mercado de Leilão: Uma Análise com Modelos Baseado em Agentes

Trabalho de Conclusão do Curso (TCC) de Graduação  
em Economia do Centro Socioeconômico da  
Universidade Federal de Santa Catarina para a obtenção  
do Título de Bacharel em Economia

Orientador: Prof. Dr. Helberte João França Almeida

Florianópolis  
2021

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,  
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Bornia, Luis Gustavo

Mercado de Leilão : uma análise com modelos baseado em agentes / Luis Gustavo Bornia ; orientador, Helberte João França Almeida, 2021.

43 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) -  
Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Sócio  
Econômico, Graduação em Ciências Econômicas, Florianópolis,  
2021.

Inclui referências.

1. Ciências Econômicas. 2. Modelos Baseado em Agentes.  
3. Leilão Duplo. 4. Economia Monetária. I. Almeida,  
Helberte João França. II. Universidade Federal de Santa  
Catarina. Graduação em Ciências Econômicas. III. Título.

Luís Gustavo Borna

**Mercado de Leilão: Uma análise com modelos baseado em agentes**

Florianópolis, 13 de setembro de 2021.

O presente Trabalho de Conclusão de Curso foi avaliado e aprovado pela banca examinadora composta pelos seguintes membros:

Prof. Helberte João França Almeida, Dr.  
Universidade Federal de Santa Catarina

Prof. Guilherme Valle Moura, Dr.  
Universidade Federal de Santa Catarina

Rafael Jasper Feltrin, Mestre  
Universidade Federal de Santa Catarina

Certifico que esta é a **versão original e final** do Trabalho de Conclusão de Curso que foi julgado adequado para obtenção do título de Bacharel em Economia por mim e pelos demais membros da banca examinadora.

---

Prof. Helberte João França Almeida, Dr.  
Orientador

Florianópolis, 2021.

## ***AGRADECIMENTOS***

Este trabalho só foi possível com o apoio e incentivo de família, colegas, professores e servidores da Universidade Federal de Santa Catarina. A cada um, dedico um agradecimento especial. Aos meus pais, que sempre me apoiaram em minha jornada pela vida. Agradeço aos amigos e colegas, sempre presentes, que tornaram os dias mais agradáveis. Agradeço aos professores que compartilharam seu conhecimento, e aos servidores que sempre estiveram dispostos a prestar auxílios quando necessário. Em especial, agradeço o meu orientador, Prof. Dr. Helberte João França Almeida, que me apresentou à área de modelagem baseada em agentes e acreditou em meu potencial e capacidade, mesmo nos momentos mais difíceis.

## RESUMO

Os modelos baseados em agentes são uma importante ferramenta para a área de Economia, pois estes são instrumentos que permitem implementar ou avaliar diferentes políticas econômicas. Neste contexto, os modelos baseados em agentes ajudam a diminuir a distância entre a teoria e o mundo real, fornecendo um ambiente virtual onde possam ser testadas as decisões econômicas antes destas serem efetivamente postas em prática. Diante deste contexto, o objetivo deste trabalho é construir um modelo baseado em agentes para representar o comportamento dos agentes em um mercado de leilão duplo. Os resultados encontrados apontam que o modelo é compatível com a teoria de leilões. De forma mais precisa, os resultados apontam que os resultados obtidos atingem um equilíbrio dinâmico nas expectativas de preços dos agentes presentes no modelo.

**Palavras-chave:** Modelos Baseado em Agentes; Leilão Duplo; Economia Monetária.

## **ABSTRACT**

Agent-based models are an important tool for Economics because they allow us to implement or to evaluate different economic policies. In that context, agent-based model can help to reduce the gap between theory and real-world applications by offering a virtual world where economical decisions can be tested before they are effectively put on practice. On that note, the main objective of this work is to build an agent-based model to simulate the behaviour of agents in a double-auction market. The results indicate that the model is compatible with auction theories. In a more precise manner, the results show that the model reach a dynamical equilibrium on the price expectation of the agents present in it.

**Keywords:** Agent-Based Models; Double-Auction; Monetary Economics

## ***LISTA DE FIGURAS***

FIGURA 1: ÁRVORE DECISÓRIA PARA AGENTES COM STATUS COMPRADOR .....	25
FIGURA 2: ÁRVORE DECISÓRIA PARA AGENTES COM STATUS VENDEDOR .....	25
FIGURA 3: ÁRVORE DE DECISÃO PARA AJUSTE DE PREÇO DOS AGENTES .....	26
FIGURA 4: EXPECTATIVA DE PREÇO MÉDIO POR PERÍODO. ....	27
FIGURA 5: SOMA DA UTILIDADE DOS AGENTES POR PERÍODO. ....	28
FIGURA 6: DESVIO PADRÃO DA QUANTIDADE DE PRODUTO DOS AGENTES POR PERÍODO .....	29
FIGURA 7: EXPECTATIVA DE PREÇO MÉDIO COM N=500 AGENTES .....	30
FIGURA 8: EXPECTATIVA DE PREÇO MÉDIO COM N=100 AGENTES .....	30
FIGURA 9: EXPECTATIVA DE PREÇO MÉDIO COM N=50 AGENTES .....	31
FIGURA 10: EXPECTATIVA DE PREÇO MÉDIO COM VALOR ENTRE 50 E 60 .....	32
FIGURA 11: EXPECTATIVA DE PREÇO MÉDIO COM VALOR ENTRE 30 E 80 .....	33
FIGURA 12: EXPECTATIVA DE PREÇO MÉDIO COM QUANTIDADE INICIAL DE PRODUTO ENTRE 150 E 250 .....	34
FIGURA 13: EXPECTATIVA DE PREÇO MÉDIO COM QUANTIDADE INICIAL DE PRODUTO = 200.....	35
FIGURA 14: EXPECTATIVA DE PREÇO MÉDIO COM DINHEIRO INICIAL = 5000 .....	36
FIGURA 15: EXPECTATIVA DE PREÇO MÉDIO COM DINHEIRO = 50000 UNIDADES .....	37
FIGURA 16: EXPECTATIVA DE PREÇO MÉDIO COM EXPOENTE DE AÇÕES = 3/4.....	38
FIGURA 17: EXPECTATIVA DE PREÇO MÉDIO COM EXPOENTE DE DINHEIRO = 3/4 .....	39



## LISTA DE SIGLAS

ACE – *Agent-based Computational Economics*

ABM – *Agent-Based Modelling*

RT – *Real Time*

DA – *Day Ahead*

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>13</b>
1.1 TEMA E PROBLEMA DE PESQUISA .....	13
1.2 OBJETIVOS.....	15
<b>1.2.1 Objetivo geral.....</b>	<b>15</b>
<b>1.2.2 Objetivos específicos.....</b>	<b>15</b>
1.3 JUSTIFICATIVA .....	15
<b>2 REFERENCIAL TEÓRICO .....</b>	<b>17</b>
2.1 LEILÕES.....	17
2.2 MODELAGEM BASEADA EM AGENTES .....	18
<b>3 MODELO E FUNCIONAMENTO.....</b>	<b>22</b>
3.1 ALGUMAS CONSIDERAÇÕES INICIAIS .....	22
3.2 APRESENTAÇÃO DO FUNCIONAMENTO DO CÓDIGO.....	23
<b>4 RESULTADOS .....</b>	<b>27</b>
4.1 RESULTADOS INICIAIS .....	27
4.2 TESTES DE CONSISTÊNCIAS .....	29
<b>4.2.1 Alteração do número de agentes .....</b>	<b>29</b>
<b>4.2.2 Alteração da expectativa de preço .....</b>	<b>31</b>
<b>4.2.3 Alteração da quantidade inicial de produtos .....</b>	<b>33</b>
<b>4.2.4 Alteração da quantidade de dinheiro .....</b>	<b>35</b>
<b>4.2.5 Alteração nos expoentes da função utilidade .....</b>	<b>37</b>
<b>5. CONCLUSÃO.....</b>	<b>40</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>42</b>

# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 TEMA E PROBLEMA DE PESQUISA

A Economia é a ciência que estuda como pessoas interagem com coisas de valor. Em especial, a produção, distribuição e consumo de bens e serviços. Esta interação é dada baseada nas preferências individuais de cada consumidor, visando a aumentar a sua utilidade. Diante disto, cada consumidor escolhe racionalmente quais bens e suas quantidades irá consumir, limitado a uma quantidade de dinheiro disponível para ele em determinado momento do tempo.

Há anos, existe uma tentativa por parte dos economistas em encontrar fórmulas e modelos matemáticos que possam descrever e, até certo ponto, prever, não apenas as preferências de cada indivíduo, como também entender a forma como estas interações ocorrem e o que determina a escolha de cada indivíduo.

Neste contexto, no século 20, economistas, filósofos, matemáticos e estatísticos desenvolveram a teoria da racionalidade, que é a teoria aceita de forma geral pelo *mainstream* econômico (MARIN; FERNANDEZ; DE VASCONCELOS, 2020). Em resumo, a teoria da racionalidade diz que as decisões tomadas no meio econômico são feitas de forma racional, avaliando as vantagens e desvantagens de cada opção, escolhendo, ao final do processo, a que trará o maior ganho pessoal.

Entretanto, decisões econômicas não são comumente tomadas a partir de um conhecimento completamente racional. Segundo Marin e Fernandez (2018), nos últimos 50 anos, diversas evidências empíricas apontam para um desvio sistemático, por parte dos agentes, à teoria da racionalidade. Nas palavras das autoras:

Nesta lista, podemos identificar situações nas quais os agentes: (i) nem sempre tentam maximizar sua utilidade, (ii) escolhem formas de ação baseadas em estimativas probabilísticas incorretas, (iii) comportam-se como se acreditassem em contradições, (iv) não agem como sabem que deveriam ou (v) não fazem o que sabem que deveriam. (MARIN; FERNANDEZ, 2018), tradução nossa).

Com o crescimento exponencial do poder computacional, surgiu uma nova área na Economia, conhecida como *Computational Economics* (Economia Computacional), ganhando força especialmente nos últimos 20 anos (MARIN; FERNANDEZ; VASCONCELOS, 2020). A Economia Computacional pode servir como uma possível ponte entre os modelos econômicos teóricos e o “mundo real”, criando uma possibilidade de adicionar complexidades e imperfeições ao sistema em um nível maior do que anteriormente possível.

Amman (1997) define o termo Economia Computacional como “uma metodologia para resolver problemas econômicos utilizando equipamentos computacionais”. Assim, economia computacional pode ser entendida como um conjunto de técnicas que utilizam o poder computacional para solucionar problemas econômicos diversos.

Dentre as diversas abordagens dentro do escopo da Economia Computacional, encontra-se a abordagem baseada em agentes, também conhecida como ABM, da qual deriva a ACE, *Agent-based Computational Economics* (Economia Computacional baseada em Agentes). Desta forma, ACE é o estudo de modelos econômicos modelados computacionalmente como sistemas baseados em agentes (TESFATSION, 2006). Cabe ressaltar que esta técnica oferece uma boa alternativa aos modelos tradicionais, por possibilitar que os agentes evoluam de forma semiautônoma. Dadas as maneiras como eles devem interagir entre si, o maior foco na interação dos agentes do que em uma fórmula matemática específica possibilita que seja criado um modelo mais dinâmico, que, dadas as observações empíricas que indicam um comportamento não racional, são difíceis de formular.

A técnica de modelagem baseada em agentes será utilizada para estudar um mercado de leilão duplo. Desta forma, vendedores determinam seus preços de acordo com as ofertas dos compradores e de seus concorrentes, buscando o maior lucro possível dadas as condições naquele momento. O tipo mais simples de leilão é onde os potenciais compradores dão ofertas de preço, constantemente competindo pelo valor mais alto e o comprador será o último a desistir de aumentar o preço, isto é, o último participante a não desistir do leilão. Esta forma de leilão é conhecida como *leilão inglês* (KLEMPERER, 1999). Outra forma simples de leilão seria a maneira inversa, onde o vendedor dá uma oferta inicial de preço e vai gradualmente diminuindo até o primeiro comprador fechar negócio. Este tipo de negociação é conhecido como *leilão holandês*. Um bom exemplo de leilões sendo utilizados para definir os preços são as bolsas de ações, onde compradores e vendedores estão a todo momento ofertando preços de compra e venda de ações que se encontram no ponto de equilíbrio do mercado naquele momento. Os mercados de ações são conhecidos como mercados de leilões duplo (ofertas de preços de compradores e ofertas de preços de vendedores). Em um mercado de leilão duplo, os possíveis compradores ofertam preços pelo qual teriam interesse em comprar o produto e os vendedores ofertam preços pelos quais estariam dispostos a vender. Os preços são organizados em ordem ascendente e, quando os compradores(vendedores) ofertam um preço igual ou maior(igual ou menor), o negócio é fechado pelo preço do vendedor(comprador) e os preços são

disponibilizados para todos os indivíduos que os utilizam como referência para suas expectativas de preços.

## 1.2 OBJETIVOS

Os objetivos são divididos em geral e específicos. Precisamente:

### 1.2.1 Objetivo geral

Elaborar um modelo baseado em agentes para analisar o comportamento dos agentes em um leilão duplo.

### 1.2.2 Objetivos específicos

- i) Mostrar a literatura de mercado de leilões duplo e de modelos baseados em Agentes;
- ii) Apresentar a metodologia empregada;
- iii) Discorrer sobre os resultados obtidos.

## 1.3 JUSTIFICATIVA

Economias reais são sistemas dinâmicos complexos (TESFATSION, 2006) devido à grande quantidade de agentes que interagem constantemente. Em um primeiro momento, pode-se utilizar o comportamento econômico esperado como uma aproximação do comportamento individual de cada agente para ser um método eficiente de pensar as interações entre estes agentes. Contudo, como salientado por Marin e Fernandez (2018), comportamentos teóricos não correspondem ao observado empiricamente, observando-se um desvio sistemático do comportamento real dos agentes. Com uma abordagem baseada em agentes, pode-se superar algumas dificuldades que um modelo estático possa apresentar, resultando em interações mais próximas do comportamento real, na qual podem ser testados diversos choques econômicos.

Ao contrário de modelos puramente matemáticos, que dificilmente conseguem representar a complexidade das decisões humanas, a economia computacional pode, a partir de diferentes estratégias, preencher esta dificuldade. Dentre as estratégias mais comuns dentro do escopo da ACE, a que adota-se neste estudo, será a modelagem baseada em agentes. A modelagem baseada em agentes foi escolhida porque, para o objetivo proposto, esta metodologia apresenta bons resultados, com flexibilidade e com capacidade de observar fenômenos emergentes e permitir a observação de suas etapas.

## 1.4 ESTRUTURA

A presente monografia encontra-se estruturada da seguinte forma, além desta parte introdutória. O capítulo 2 traz a literatura de leilões duplos, bem como a abordagem de modelagem baseada em agentes. Por sua vez, o capítulo 3 apresenta o modelo utilizado. Na sequência, o capítulo 4 mostra os resultados encontrados, bem como uma discussão dos mesmos. Por fim, o capítulo 5 apresenta as considerações finais e recomendações para futuros estudos.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 LEILÕES

Leilões são importantes formas de negociação em economia. Diversos mercados apresentam comportamentos em formas similares a leilões. De acordo com Klemperer (1999), este mercado é formado por três fatores principais, a saber: i) leilões são definidores de preço; ii) leilões são excelentes meios para testes de teorias econômicas em especial na área de teoria dos jogos; iii) leilões são a base para muitos trabalhos fundamentais; Ademais, o autor descreve os principais e mais simples modelos encontrados em leilões, cita-se: Ofertas ascendentes, ofertas descendentes, primeiro preço de oferta selada, segundo preço de oferta selada.

Leilões de ofertas ascendentes são os leilões clássicos conhecidos. Os participantes dão ofertas ascendentes de preço até que reste apenas um participante disposto a pagar o valor ofertado. Este participante restante, idealmente, é o agente disposto a pagar o maior valor pelo produto, maximizando o lucro do vendedor. Estes leilões também são chamados de leilões ingleses ou leilões do modo inglês (KLEMPERER, 1999).

Leilões de ofertas descendentes funcionam de maneira similar ao leilão de oferta ascendente, com a diferença que as ofertas para o produto começam em um preço máximo e, com o passar do tempo, são gradualmente reduzidos até um potencial comprador aceitar pagar o preço pedido. Estes leilões são conhecidos como leilões do tipo holandês por causa da sua extensa utilização no mercado holandês de flores (KLEMPERER, 1999).

No mercado de oferta selada, ambos os leilões funcionam de forma similar. Precisamente, os agentes dão sua oferta de maneira selada (secreta) e, em sua abertura, o agente que deu a maior oferta ganha o direito de comprar o bem. A diferença entre as duas é apenas referente ao valor pago: Em leilões de primeira oferta selada, o valor pago é o valor ofertado pelo comprador que obteve o direito de compra, enquanto nos leilões de segunda oferta selada o valor pago pelo comprador é igual à segunda maior oferta dada pelo item (KLEMPERER, 1999).

Leilões conhecidos como leilões duplos funcionam de maneira similar aos leilões ascendentes e descendentes, porém, ambos compradores e vendedores ofertam seus preços e estes são ordenados. Quando um comprador e um vendedor acertam um preço (ofertam o mesmo valor), ocorre um negócio e o produto em questão é vendido ao comprador. Leilões duplos em que os agentes participantes do leilão ofertam preços de compra e venda em tempo real durante todo o funcionamento do leilão são chamados leilões duplos contínuos. Leilões duplos são prevalentes em bolsas de valores por causa da sua simplicidade operacional,

eficiência e capacidade de se adaptarem rapidamente a mudanças (GJERSTAD; DICKHAUT, 1998). Mercados de leilões duplos também têm alta eficiência alocativa (ganhos reais relativos aos ganhos potenciais), estando próximo de 100% (GODE; SUNDER, 1997). Pela sua característica de ser descentralizado, mesmo quando observam-se casos onde choques de oferta e/ou demanda ocorrem, leilões duplos funcionam de forma eficiente para atingir rapidamente e efetivamente um novo equilíbrio. Pelo mesmo motivo, leilões duplos possuem uma estrutura robusta e sólida, reduzindo impactos econômicos (VYTELINGUM; CLIFF; JENNINGS, 2008).

Leilões duplos vêm sendo utilizados para explicar negociações de produtos usados pela internet (ÖZER, 2019), utilização de capacidade computacional em nuvem (PATEL *et al.*, 2021), gerenciamento de recursos de *mobile edge computing* (LI *et al.*, 2020) e alocação de banda de internet (NAVEEN; SUNDARESAN, 2021) e para o mercado de compra e venda de eletricidade (WU; WU, 2020).

Naveen e Sundaresan (2021) consideram a relação entre consumidores de sistemas computacionais em nuvem e seus provedores como similar a um leilão duplo no qual o objetivo seria a maximização da utilidade fornecida pela infraestrutura existente. Quando considerada desta maneira, os autores propõem um modelo de leilão duplo para a alocação mais eficiente dos recursos, dadas as demandas computacionais dos usuários.

Similarmente, Wu e Wu (2020) utilizam o modelo de leilão duplo para explicar o funcionamento de mercados de compra e venda de eletricidade nos Estados Unidos. Segundo os autores, o mercado americano, mesmo dividido em dois grandes grupos de negociações – DA (*day-ahead*) e RT (*real-time*) – operam como um único mercado de leilões, onde os efeitos observados no mercado afetam as previsões do mercado. Ademais, os autores utilizam o equilíbrio geral walrasiano e conceitos de loterias para encontrar o resultado de que, no caso do mercado americano, o que se observa empiricamente é um mercado com alguns compradores e vendedores que monopolizam o mercado, o que afeta o equilíbrio considerado ideal de mercado.

## 2.2 MODELAGEM BASEADA EM AGENTES

A modelagem baseada em agentes vem ganhando espaço nos últimos 20 anos (MARIN; FERNANDEZ; DE VASCONCELOS, 2020). Por este motivo, vários trabalhos vêm sendo elaborados adotando esta metodologia. Bonabeau (2002) descreve a modelagem baseada em agentes como sendo algo mais próximo de uma mentalidade com a qual deve-se abordar o



problema do que propriamente uma técnica. Isto deve-se à maneira específica de abordar a definição do problema, a qual requer uma descrição do estado inicial dos agentes e de como estes agentes percebem e interagem com o mundo ao seu entorno. Além disso, o autor aponta como principal benefício da modelagem baseada em agentes, quando comparada com outras técnicas de modelagem, sua habilidade de capturar fenômenos emergentes e, como derivada desta, a descrição natural dos fenômenos envolvidos e a flexibilidade da técnica.

Um fato a se destacar é que quando a modelagem baseada em agentes é utilizada dentro da área da Economia, ela é denominada “*Agent Based Computational Economics*” (Economia Computacional Baseada em Agentes) ou ACE. Esta denominação foi criada por Leigh Tesfatsion em 1996 e desde então é utilizada para diferenciar a utilização de modelos baseados em agentes dentro da economia de trabalhos envolvendo outras áreas (TESFATSION, 2021). Tesfatsion também aponta que, com o tempo, a área de ACE diferenciou-se da ABM utilizada em outras áreas do conhecimento em pontos centrais e, como orientação geral aos trabalhos desenvolvidos em ACE.

Ademais, Tesfatsion (2017, 2021) aponta sete princípios básicos para uma boa modelagem em agentes dentro da área econômica. São estes: i) **Definição de Agente:** Um agente é uma entidade existente dentro de um mundo virtualmente construído capaz de agir a partir de seu próprio estado; ii) **Escopo do Agente:** Um agente pode ser a representação de uma pessoa, um grupo de pessoas, instituições, entidades biológicas e/ou entidades físicas; iii) **Construtividade local do Agente:** A ação do agente em determinado instante deve ser resultado de uma função baseada em seu próprio estado naquele determinado instante; iv) **Autonomia do Agente:** A coordenação das interações entre agentes não pode ser imposta externamente por meios que limitem as flutuações causadas; v) **Construtividade do Sistema:** O estado do sistema em qualquer instante é determinado pelo conjunto de agentes presentes no sistema naquele instante; e vi) **Historicidade do Sistema:** Dadas as configurações iniciais do sistema, toda alteração deve ocorrer somente pelas ações e interações dos agentes existentes; vii) **Modelo como um “meio de cultura”:** A função do modelador restringe-se a apenas determinar as condições iniciais do sistema e, a partir de então, ser um observador passivo, não perturbando o sistema de maneira alguma.

Coletivamente, estes princípios incorporam a ideia de que o modelo é um laboratório computacional que permite o usuário experimentar diferentes medidas econômicas, em um processo análogo a experimentos biológicos em placas de Petri (TESFATSION, 2017).

A modelagem baseada em agentes é um método eficiente quando o comportamento dos indivíduos é complexo e em situações onde as ações dos agentes exibem características de estocasticidade (BONABEAU, 2002). Estas características são encontradas nos mercados de ações, onde a interação entre agentes é melhor compreendida quando pensada de uma maneira *bottom-up*, como em situações combinadas com teorias de finanças comportamentais, que entendem as ações dos indivíduos como mais voltadas à satisfação pessoal ao invés da busca pela maximização da utilidade do indivíduo (OLSEN, 1998).

Atualmente, a teoria clássica financeira está fortemente ligada à hipótese dos mercados eficientes (VAN DEN BERGH *et al.*, 2002), que assume que o comportamento do mercado é baseado em escolhas racionais dos seus participantes, que tentam maximizar sua utilidade. Esta hipótese considera, também, que os mercados não possuem dinâmicas internas. Entretanto, esta é uma suposição ideal, pois evidências empíricas sugerem que o mercado possui, de fato, dinâmicas internas (VAN DEN BERGH *et al.*, 2002). A hipótese dos mercados eficientes também possui outras imperfeições, quando comparada a observações da realidade. Van Den Bergh *et al.* (2002) consideram a hipótese de eficiência de mercado como um caso ideal, que deve ser buscado, mas não deve ser usado como referência, dadas as diversas dificuldades em atingi-lo, especialmente a dificuldade em definir características humanas como, por exemplo, racionalidade.

Uma solução encontrada foi considerar eficiência do mercado em termos relativos (FARMER; LO, 1999). Neste cenário, isto significa comparar a eficiência do mercado em questão a outro mercado equivalente e, a partir desta comparação, determinar se o mercado é mais ou menos eficiente do que o referencial. Esta estratégia é comumente utilizada em outras áreas, como a física, onde é comum haver comparações de máquinas em termos de energia convertida em trabalho útil. O desejo de criar modelos com melhores capacidades preditivas levou ao surgimento de diversas novas abordagens, incluindo abordagens com foco no processo psicológico de decisão dos agentes. Para estes casos, modelos baseados em agentes são ideais.

In particular, psychological models of financial markets focus on the manner in which human psychology influences the economic decision making process as an explanation of apparent departures from rationality. Evolutionary game theory studies the evolution and steady-state equilibria of populations of competing strategies in highly idealized settings. Agent-based models are meant to capture complex learning behavior and dynamics in financial markets using more realistic markets, strategies, and information structures. (FARMER; LO, 1999, p. 4)

Aplicações de ABMs podem ser encontradas em áreas como formação de expectativas (ALMEIDA; SILVEIRA, 2017); mercados consumidores de água para irrigação de plantações

(AGHAIE; ALIZADEH; AFSHAR, 2020); inovação e aprendizado (ALMEIDA *et al.*, 2019) e teoria dos jogos evolucionária (ALMEIDA; CHACHA, 2014); difusão de novas tecnologias na pandemia da covid-19 ( GIOVANINI;ALMEIDA, 2020).

Almeida e Silveira (2017) utilizam ABM para avaliar a evolução da distribuição de escolha de preditores de inflação com custos heterogêneos de formação de expectativa. Os autores encontram o resultado que corrobora com a teoria proposta por Brock e Hommes (1997) de escolha dinâmica dos agentes pelos preditores com menor custo de formação de expectativa. Ademais, os autores encontram a existência de heterogeneidade nos preditores e esta é persistente no longo prazo.

Aghaie, Alizadeh e Afshar (2020) utilizam um modelo baseado em agentes para avaliar as diferenças em consumo de água e ganhos econômicos entre diferentes tipos de leilões. O estudo simula uma região do Irã como espaço experimental e utiliza negociações utilizando três tipos de agentes: empresas, fazendeiros e governo. Cada um com seu comportamento, utilidade e objetivos diferentes. Os autores concluem que leilões duplos com preços discriminatórios são a maneira economicamente e hidrológicamente mais eficiente de negociação.

Almeida *et al* (2019) apresentam um modelo baseado em agentes para observar o comportamento de firmas do setor têxtil e de máquinas relativo ao incentivo à inovação, dado pelo esforço de aprendizado. Os autores apontam que firmas do setor têxtil têm índices elevados para os parâmetros internos, enquanto firmas do setor de máquinas possuem altos índices nos parâmetros externos.

Almeida e Chacha (2014) utilizam ABM para verificar, em diversos cenários, quais estratégias podem ser consideradas estratégias evolucionariamente estáveis (estratégias que, uma vez adotadas por toda a população, não podem ser invadida por um mutante através de seleção natural). Os autores concluíram que estratégias que cooperam entre si e punem mutantes ou cooperam entre si e não cooperam com mutantes são estratégias que podem ser consideradas estratégias evolucionariamente estáveis.

Giovanini e Almeida (2020) utilizam ABM para avaliar as consequências do isolamento social causado pela disseminação do vírus Covid-19 sobre o avanço das plataformas de *delivery*. Os autores encontram que pequenos choques não eram suficientes para causar o avanço das plataformas, ou seja, era necessário haver alguma persistência (políticas de isolamento social por longo período).

### 3 MODELO E FUNCIONAMENTO

#### 3.1 ALGUMAS CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Eric Bonabeau (2002) explica que modelagem baseada em agentes é mais uma mentalidade do que uma tecnologia. Assim, o autor discorre que esta metodologia é uma forma de raciocinar o problema como um resultado da interação entre agentes que procuram cumprir com seus próprios objetivos individuais, ao invés de agir seguindo uma fórmula geral. Ademais, Bonabeau (2002) divide a aplicação desta metodologia em quatro áreas, a saber: i) **Fluxos:** evacuação; tráfego; gerenciamento de fluxo de clientes; ii) **Mercados:** mercados de ações; robôs de compra e *software agents*; simulação estratégica; iii) **Organizações:** risco operacional; design de organizações; e iv) **Difusão:** difusão da inovação; dinâmicas de adoção

O presente trabalho, o foco será a área de mercados, mas deve-se reforçar que o modelo pode, com um pouco de adaptação, servir como base para qualquer uma das outras áreas. Por fim, o modelo foi desenvolvido em Julia, utilizando o pacote Agents.jl (BEZANSON *et al.*, 2017, 2018; ZAPPA NARDELLI *et al.*, 2018).

O funcionamento do modelo se dá pela interação dos agentes em um mercado computacional de leilão duplo, no qual estes agentes compram e vendem produtos. Para decidir como agir, os agentes olham para sua expectativa de preço (preço pelo qual os agentes estão dispostos a comprar/vender) para o produto, para as expectativas de preços dos vendedores de produtos, para sua utilidade atual e para a sua utilidade com o produto adicional. Desta maneira, se o agente valoriza o produto igual ou acima do preço dos vendedores no mercado e sua utilidade com o produto adicional é maior do que sua utilidade no momento atual, o agente decide comprar um produto. Se o seu preço atribuído ao produto for menor do que o preço atribuído pelos vendedores do produto no mercado, a negociação não é efetuada e nada acontece. Caso não haja comprador no mercado (todos os agentes desejam vender produto), todos os agentes têm sua expectativa de preço reduzida em 1 unidade, pois não há compradores no mercado. Caso não haja nenhum agente desejando vender produtos, todos os agentes aumentam sua expectativa de preço em 1 unidade e, em último caso, caso o agente não consiga, por qualquer motivo, comprar(vender) um produto por um longo período de tempo, o agente tem sua expectativa de preço ajustada em uma unidade para mais (menos)

Após uma rodada de negociações, todos os agentes ajustam suas expectativas de preços de acordo as regras listadas anteriormente. Além disso, todos os agentes possuem as mesmas características no período inicial, precisamente: Preço pelo qual o agente está disposto a

comprar/vender o produto; Quantidade de produtos que o agente possui; Status do agente (B quando o agente é um comprador e S quando o agente é vendedor); Utilidade do agente, baseada na quantidade de produto e dinheiro que ele possui.

Posteriormente, nas demais rodadas de interação, todos os agentes buscam maximizar sua utilidade. Esta é dada de acordo com a seguinte fórmula:

$$Utilidade = \left( (QtdeProduto \times PreçoProduto)^{\frac{1}{2}} \times (QtdeDinheiro)^{\frac{1}{2}} \right)$$

Sendo:

QtdeProduto: quantidade de produtos do agente.

PreçoProduto: expectativa de preço do agente.

QtdeDinheiro: dinheiro em posse do agente.

Os expoentes  $\frac{1}{2}$  indicam que o agente dá pesos iguais para ações e para dinheiro. O agente, por causa desta escolha, tende a dividir seu total de recursos igualmente entre dinheiro e ações, mantendo um nível de valor aproximadamente igual em ações *versus* valor em dinheiro.

Ademais, a quantidade de produtos é finita e limitada à soma das quantidades possuídas por cada agente na iniciação do modelo. A quantidade de produtos por agentes é um valor randômico entre 100 e 300. A expectativa de preço no período inicial é um valor aleatório entre 10 e 100. O dinheiro inicial é um valor aleatório entre 5000 e 10000 unidades. A quantidade de períodos na simulação foi definida em 2000. Por fim, o número de agentes foi definido em 1000.

### 3.2 APRESENTAÇÃO DO FUNCIONAMENTO DO CÓDIGO

O código inicia com a definição de quais pacotes serão utilizados. No presente estudo, utiliza-se o pacote *Agents.jl*, *DataFrames.jl*, *CSV.jl*, *Plots.jl* e *Statistics.jl*. O pacote *Agents* é o principal pacote que irá se utilizar pois ele fornece a estrutura principal ligada à modelagem baseada em agentes. O pacote *DataFrames* oferece uma forma simples de interagir com os resultados obtidos pelo nosso sistema. Por sua vez, o pacote *CSV* fornecerá a forma de exportar o arquivo para *.csv* para possíveis análises em outros softwares. O pacote *Plots* permitirá a criação dos gráficos diretamente pelo nosso *script*, possibilitando uma observação rápida dos resultados obtidos com o programa. Por fim, o pacote *Statistics* fornece funções estatísticas que, no presente trabalho, apenas limitam-se a média dos valores de expectativa de preço e desvio padrão da expectativa de preço dos agentes em cada período.

Em seguida, definem-se os agentes do modelo. Estes apresentarão as seguintes características:

- Id – número (inteiro) único para cada agente, facilitando a identificação de cada agente pertencente ao sistema.
- Qtde – quantidade de produtos que o agente possui. Este número será obrigatoriamente um número inteiro.
- Cash – Quantidade de dinheiro que o agente tem. Inicialmente, definida como 1000.
- Preço – Valor pelo qual o agente está disposto a comprar/vender produto.
- Util – Utilidade do agente.
- Status – Status do agente. B quando o agente quiser comprar produto (*buyer*), S quando o agente quiser vender produto (*seller*).
- Sold – Indica se o agente já vendeu um produto nesta rodada de compras (*true*) ou não (*false*).
- Runs – variável para controlar a quantidade de rodadas que o agente não fechou nenhum negócio e determinará se o agente decide aumentar o preço que ele está disposto a pagar ou diminuir o preço pelo qual está disposto a vender.

Na sequência, foram criadas duas funções, a saber: uma para obter os vendedores de determinado momento e outra, para obter os compradores. As duas funcionam de maneira similar, diferindo apenas em qual tipo de agente é obtido (compradores vs vendedores) e, no caso dos agentes vendedores, os agentes que já fizeram uma venda na rodada (*sold = true*) não são alocados nesta lista.

Para o cálculo de utilidade com a compra de um produto, é criada uma função que, dado um agente, calcula a utilidade atual dele e a utilidade que o agente teria com a compra de uma nova unidade de produto. Caso o resultado seja positivo (há aumento da utilidade percebida pelo agente), a função retorna *true*. Em caso negativo, a função retorna *false*.

Posteriormente, é definido a função de movimento do agente. Em cada movimento, o agente primeiro observa se há vendedores no mercado. Em caso negativo, ele ajusta sua expectativa de acordo com a regra definida que será apresentada posteriormente. Caso haja vendedores, o agente age de acordo com seu *status*. A figura 1 apresenta o comportamento caso o agente seja comprador.

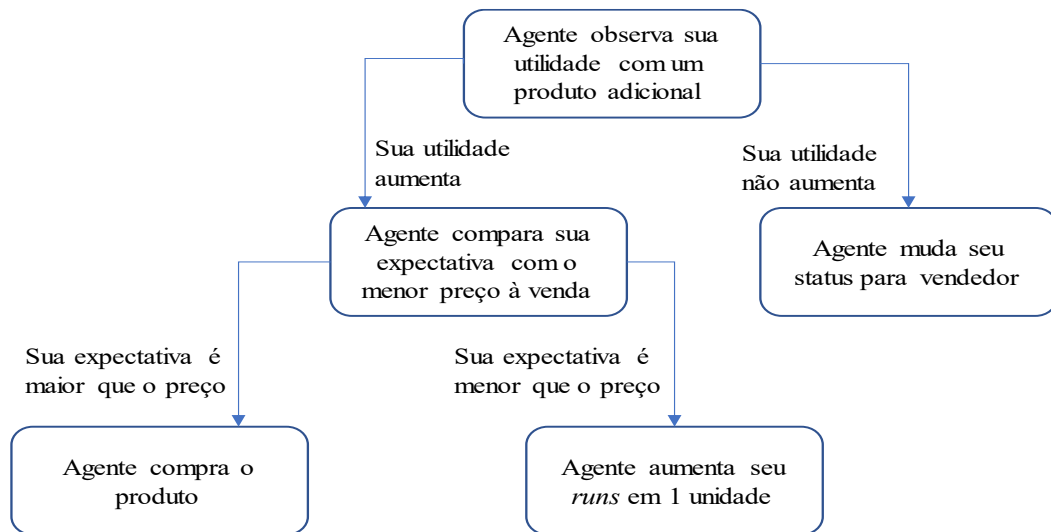


Figura 1: *Árvore decisória para agentes com status comprador*

Assim, caso o agente possua expectativa de preço maior do que o agente vendedor, o agente compra o produto, pelo valor pedido pelo vendedor. Contudo, caso a utilidade do agente comprador seja menor do que a utilidade atual, o agente passa a ser um vendedor.

Por sua vez, a figura 2 apresenta o comportamento caso o agente seja vendedor:

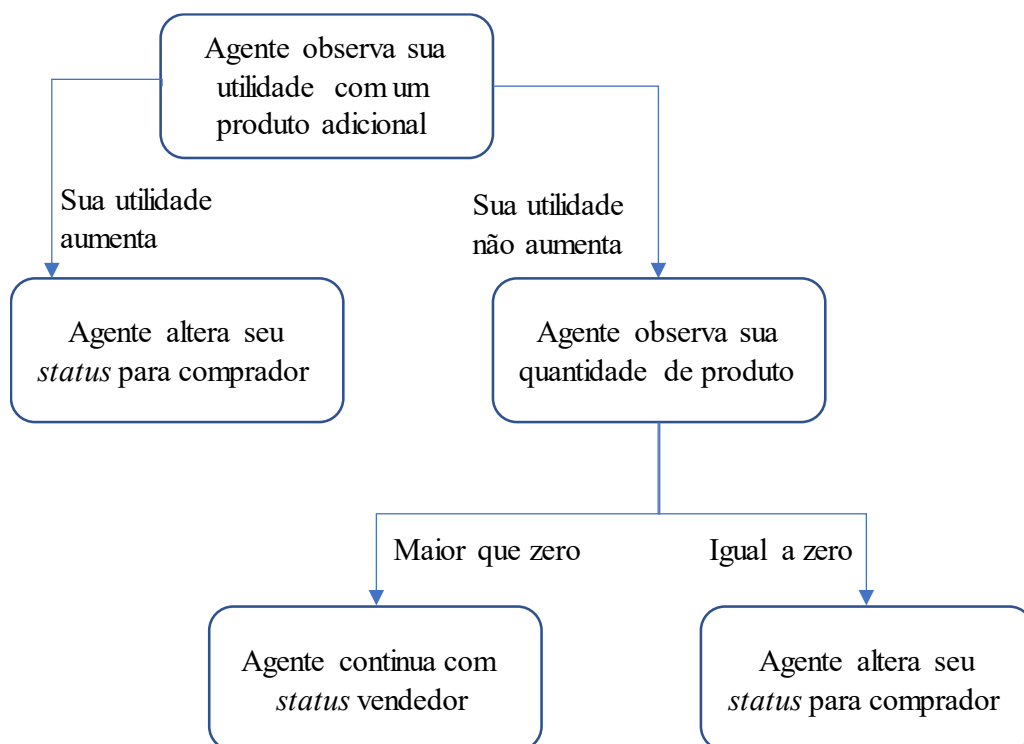


Figura 2: *Árvore Decisória para agentes com status vendedor*

Observa-se, na figura 2, que, caso a utilidade do agente com um produto adicional (a valor de mercado) seja maior do que a utilidade atual, seu status é alterado para comprador. No

entanto, se a nova utilidade não aumentar, o agente continua com o status de vendedor, a não ser que sua quantidade de produto seja zero, situação na qual ele torna-se comprador.

A função de ajuste de preços funciona da seguinte maneira:

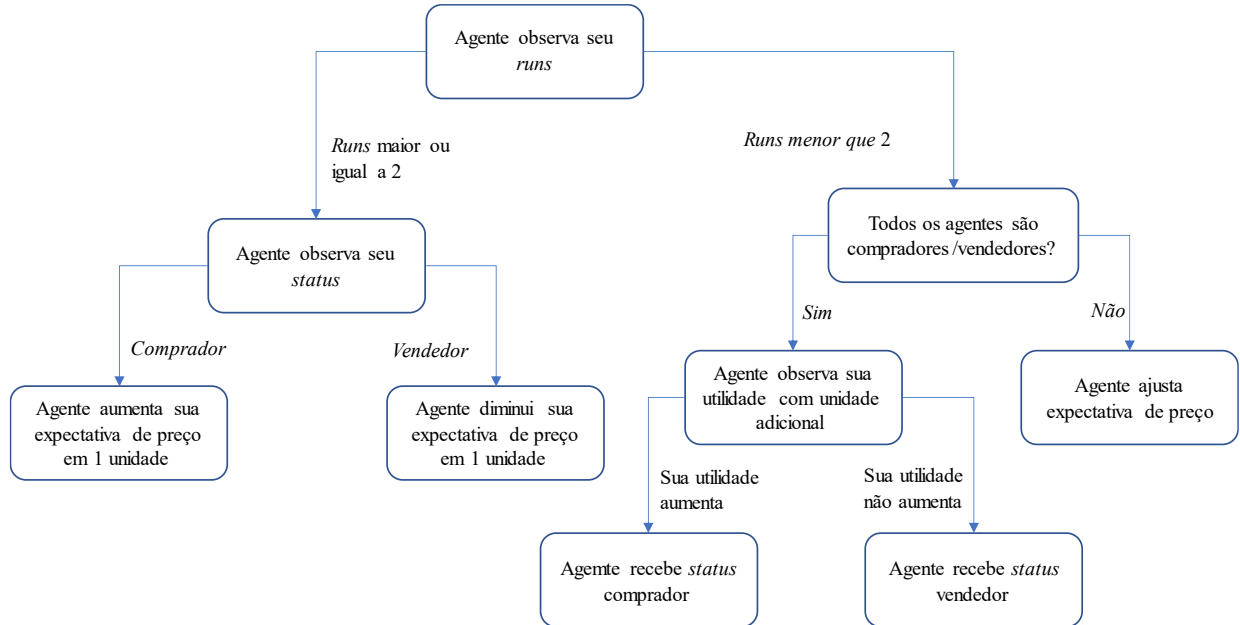


Figura 3: Árvore de decisão para ajuste de preço dos agentes

O agente observa o seu valor *runs*. Caso este valor seja igual ou maior a 2, o agente ajusta seu preço de acordo com seu *status*: Se o agente for vendedor, ele diminui sua expectativa de preço em uma unidade. Por sua vez, se o agente for comprador, ele aumenta sua expectativa de preço em uma unidade. Caso o agente tenha valor de *runs* menor que 2, o agente olha para o mercado e vê se todos os agentes são compradores ou vendedores. Se esta situação for verdadeira, o agente observa sua utilidade com uma unidade adicional. Caso sua utilidade aumente, o agente decide virar comprador. Caso não aumente, o agente vira vendedor. Em casos em que há compradores e vendedores no mercado, o agente decide ajustar seu preço. Após este processo, os agentes podem novamente vender produtos no mercado (*sold = false*). Após todos os agentes fazerem seu movimento, o modelo como um todo é atualizado.



## 4 RESULTADOS

### 4.1 RESULTADOS INICIAIS

Conforme informado na seção 3.1, a quantidade de produtos por agentes foi definida como um valor aleatório entre 100 e 300. A expectativa de preço no período inicial é um valor aleatório entre 10 e 100. A quantidade inicial de dinheiro é um valor aleatório entre 5000 e 10000 unidades. A quantidade de períodos na simulação foi definida em 2000. O número de agentes foi definido em 1000.

Neste contexto, a figura 4 mostra a evolução do preço médio do produto no decorrer dos períodos.

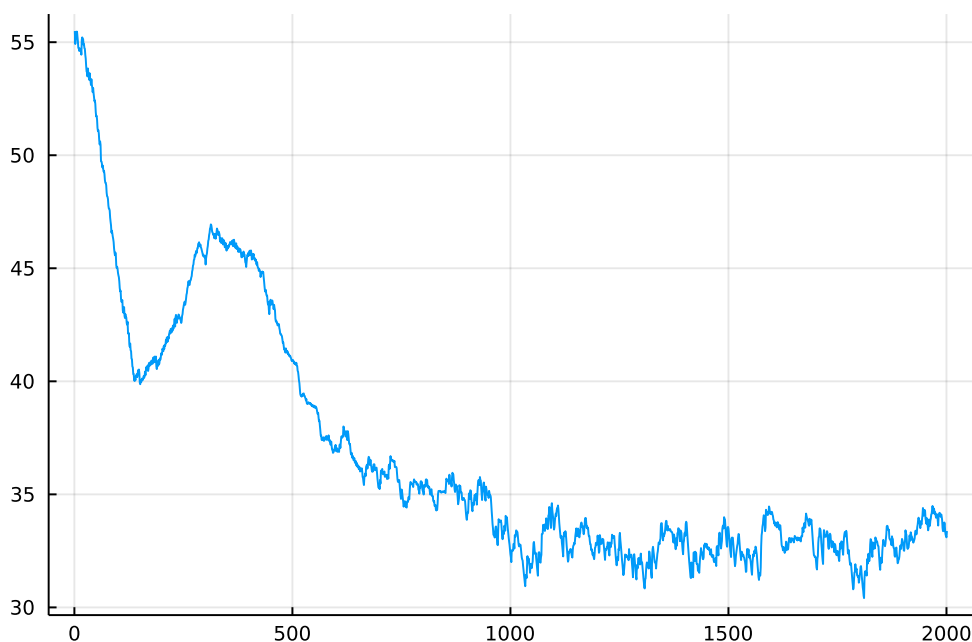
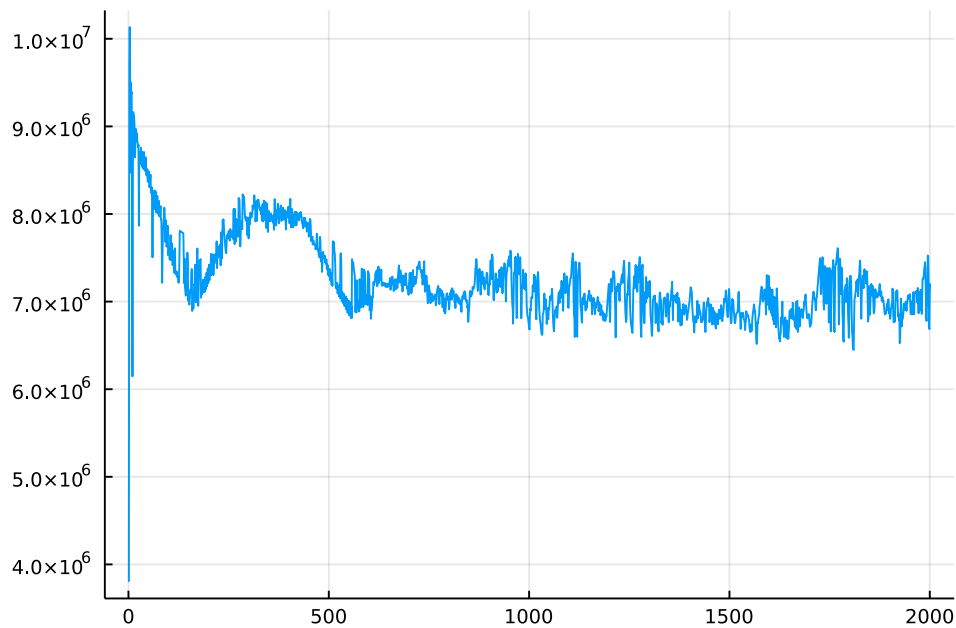


Figura 4: Expectativa de preço médio por período.

Como observa-se na figura 4, o preço médio atinge um equilíbrio dinâmico a partir do período 1000 e, então, mantém-se esse equilíbrio. Este resultado aponta que a expectativa de preço oscila em torno de um valor médio no longo prazo.

Por sua vez, a figura 5 apresenta a utilidade total, que é a soma das utilidades de todos os agentes.

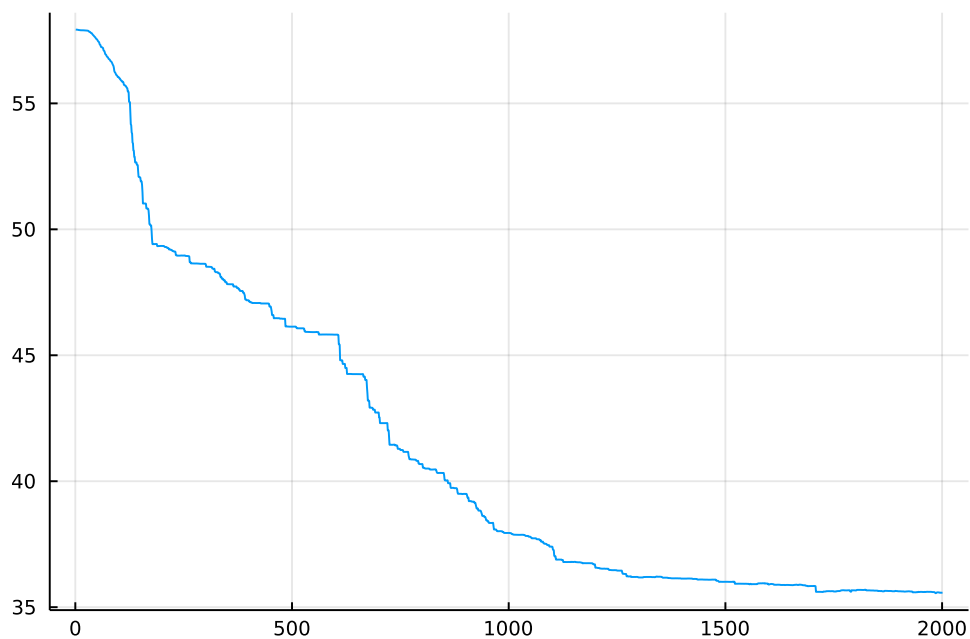


*Figura 5: Soma da utilidade dos agentes por período.*

Assim, verifica-se na figura 5, que o sistema atinge um equilíbrio dinâmico. Este equilíbrio ocorre e, assim que é atingido, em torno do período 550, mantém-se consistente durante os períodos subsequentes.

Em suma, o somatório da utilidade de todos os agentes do sistema apresenta, comportamento similar ao comportamento das expectativas de preços dos agentes, por ser um valor dependente das mesmas. Ao contrário do comportamento dos preços, que possuem uma queda maior entre os preços nos primeiros períodos quando comparados aos períodos mais à frente, o somatório das utilidades de todos os agentes apresenta um equilíbrio que é atingido mais rapidamente. Este resultado sugere que os agentes estão atingindo uma situação ótima no sentido de Pareto e mantendo-se nesta situação nos períodos subsequentes.

O desvio padrão das quantidades de produto dos agentes é mostrado na figura 6.



*Figura 6: Desvio padrão da quantidade de produto dos agentes por período*

Desta forma, a figura 6 indica que o desvio padrão da quantidade de produtos dos agentes vai diminuindo, indicando que as quantidades de produtos dos agentes vão se tornando iguais. Este resultado sugere que no longo prazo, ocorre uma melhor distribuição dos produtos, e trocas são cada vez menores (converge para um equilíbrio de Pareto).

## 4.2 TESTES DE CONSISTÊNCIAS

### 4.2.1 Alteração do número de agentes

O primeiro teste realizado é alteração do número de agentes. Assim, para analisar o impacto da alteração do número de agentes, considera-se 50, 100 e 500 agentes em processo de interação no modelo.

A figura 7 apresenta a expectativa de preço média dos agentes do modelo quando o modelo possui 500 agentes.

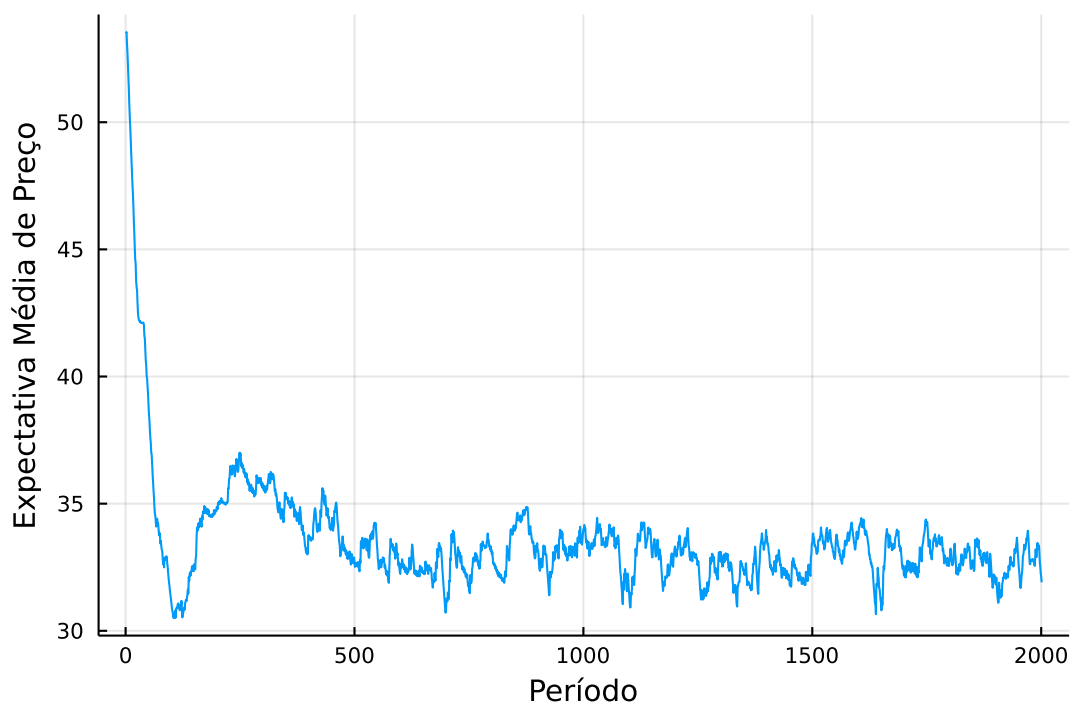


Figura 7: Expectativa de preço médio com  $n=500$  agentes

Com a redução da quantidade de agentes para 500, a expectativa média de preço comporta-se de forma similar ao observado com 1000 agentes. Desta forma, o modelo exhibe um equilíbrio dinâmico que, a partir de então, mantém-se em uma faixa entre 37 e 33 unidades monetárias.

Por sua vez, a figura 8 apresenta a expectativa de preço quando o modelo é iniciado com 100 agentes.

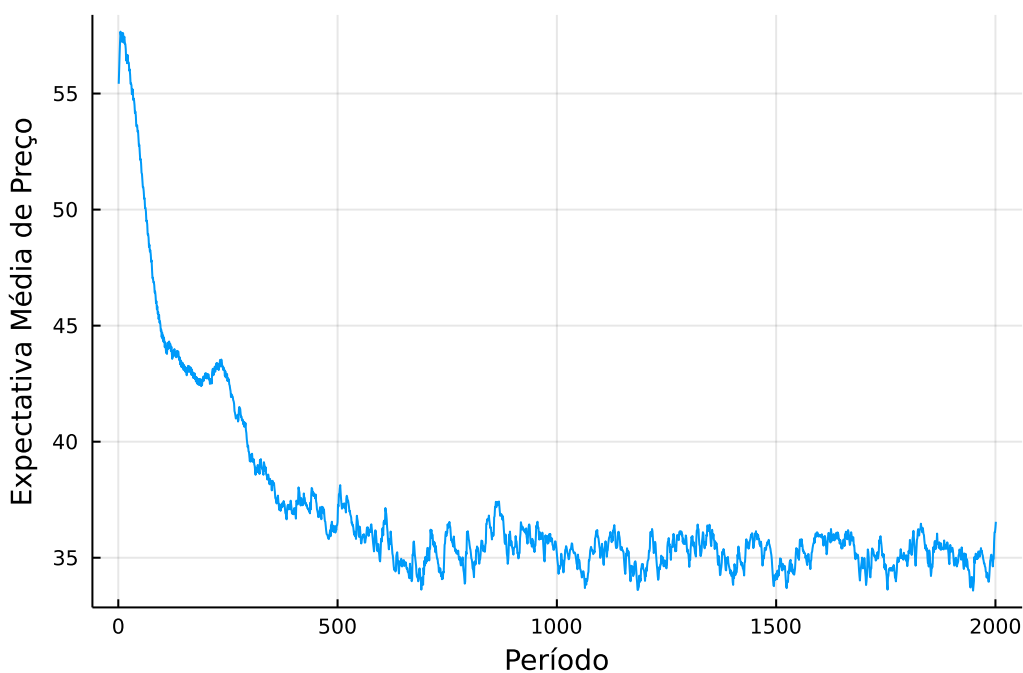
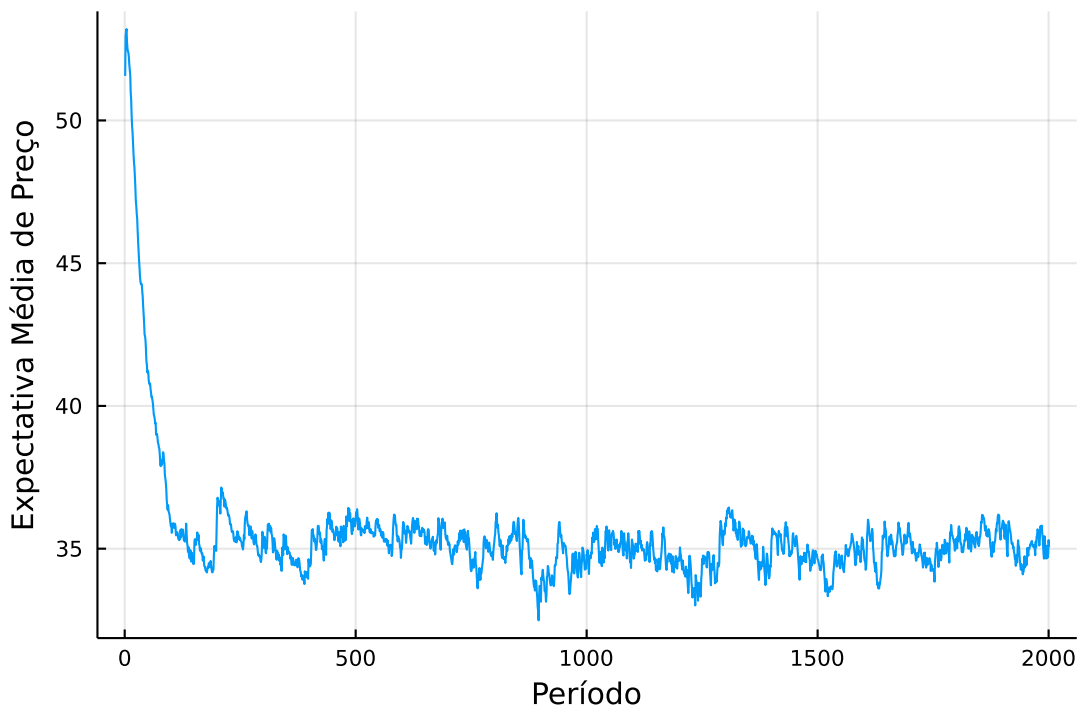


Figura 8: Expectativa de preço médio com  $n=100$  agentes

Os preços comportam-se de maneira similar ao observado anteriormente, conforme mostra a figura 8. No entanto, com uma diminuição na quantidade de agentes presentes no modelo, observa-se um período de tempo maior para atingir o equilíbrio.



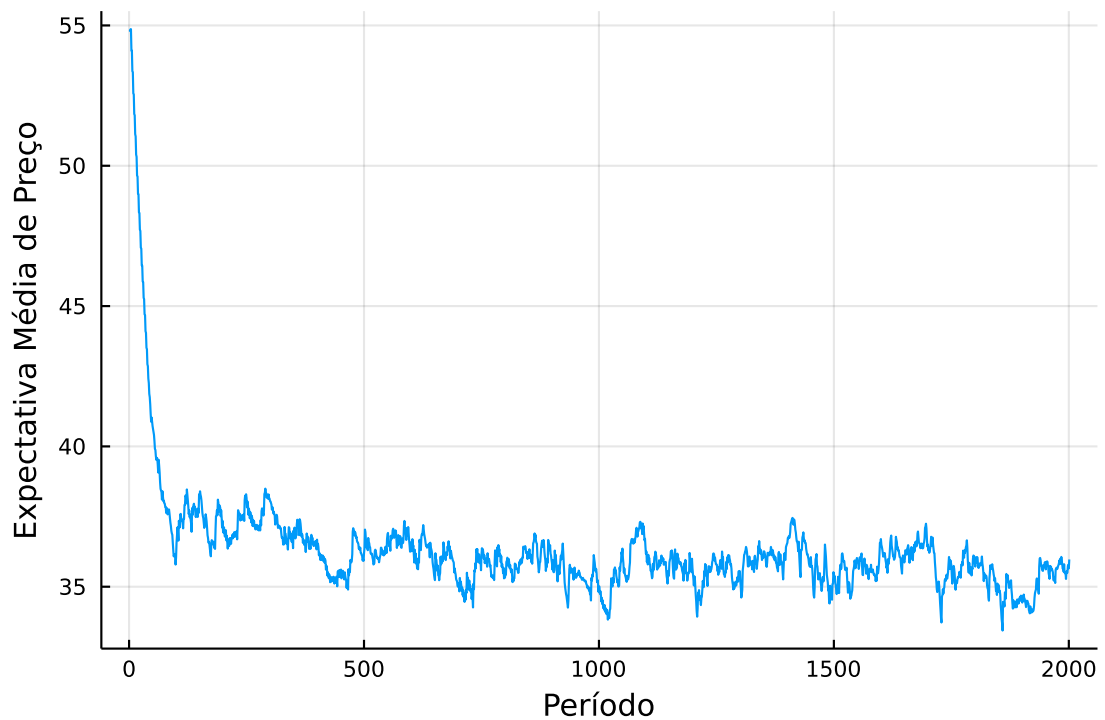
*Figura 9: Expectativa de preço médio com n=50 agentes*

Por fim, com 50 agentes, observa-se a continuidade do comportamento observado anteriormente, conforme mostra a figura 9. Ao contrário do observado com 100 agentes, o equilíbrio é atingido rapidamente de maneira similar ao que ocorreu com 500 agentes. O nível de preços continua o mesmo e parece haver a mesma variabilidade nos preços com todos os parâmetros. Em suma, os resultados encontrados apontam que o comportamento do sistema não é afetado de forma relevante pela redução do número de agentes.

#### **4.2.2 Alteração da expectativa de preço**

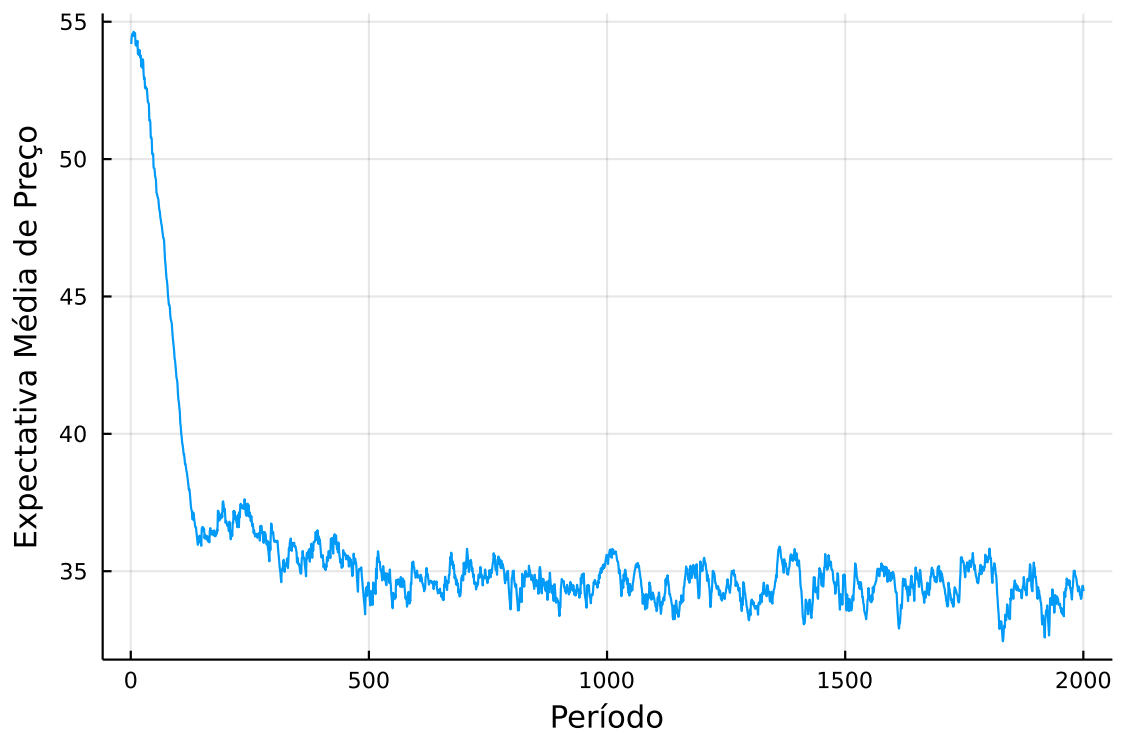
Em função do tempo demandado para a execução do modelo com 1000 e 500 agentes, e considerando que a redução do número de agentes não alterou o comportamento do sistema, optou-se por considerar 100 agentes para analisar a influência de alteração na expectativa inicial de preço nos resultados do modelo. Assim, mudou-se a expectativa inicial para um valor aleatório entre 50 e 60 e, depois, entre 30 e 80.

A figura 10 apresenta a progressão quando a expectativa de preço dos agentes inicia em um valor aleatório entre 50 e 60.



*Figura 10: Expectativa de preço médio com valor entre 50 e 60*

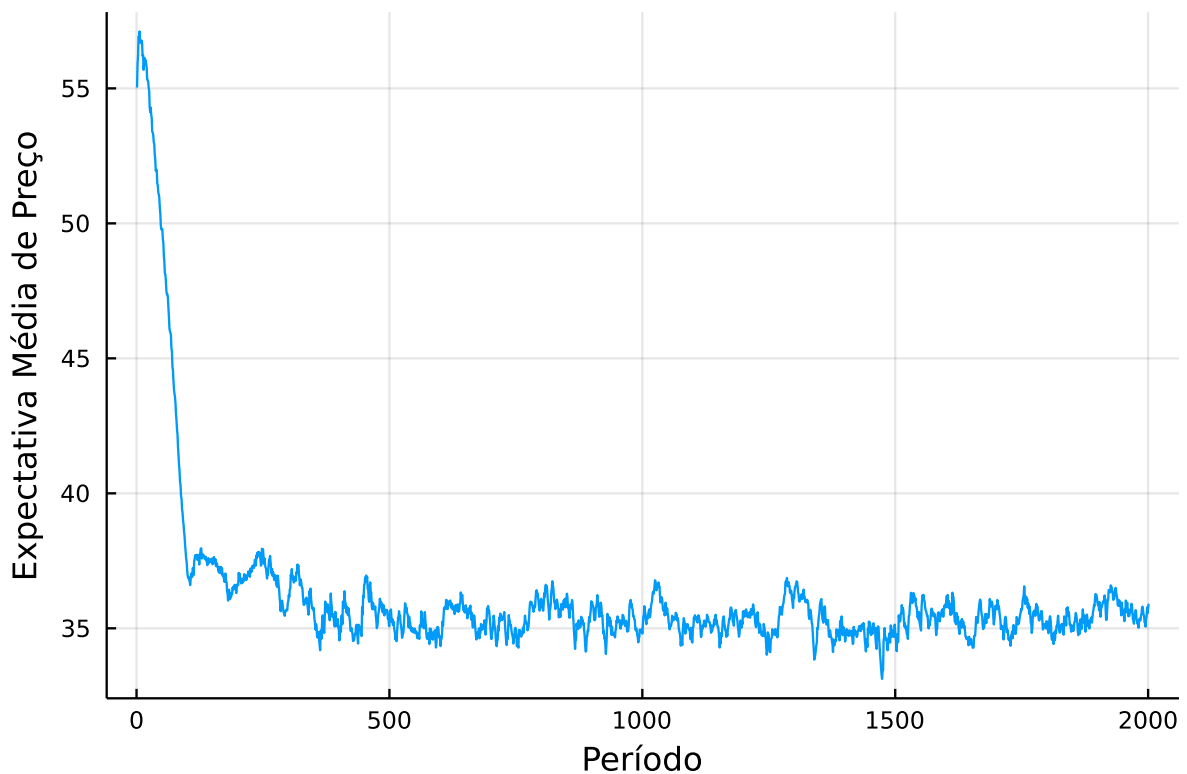
Conforme mostrado na figura 10, o comportamento dos agentes mantém-se o mesmo quando inicializado com a expectativa de preço entre 10 e 100. Por sua vez, a figura 11 também aponta que a expectativa de preço se mantém inalterada quando a expectativa de preço inicial pode variar entre 30 e 80. Assim, o preço se mantém próximo a 35 unidades, com uma pequena variação. Os resultados obtidos nestes testes, apontam que a alteração da expectativa de preço inicial não ocasiona grandes mudanças nas propriedades do modelo.



*Figura 11: Expectativa de preço médio com valor entre 30 e 80*

#### **4.2.3 Alteração da quantidade inicial de produtos**

Para analisar o impacto da alteração da quantidade inicial de produtos nos resultados do sistema, realizaram-se duas rodadas considerando-se valor aleatório entre 150 e 250 na primeira e um valor fixado em 200 na segunda execução. A figura 12 apresenta a evolução da expectativa média de preço considerando-se o valor aleatório entre 150 e 250 produtos iniciais.

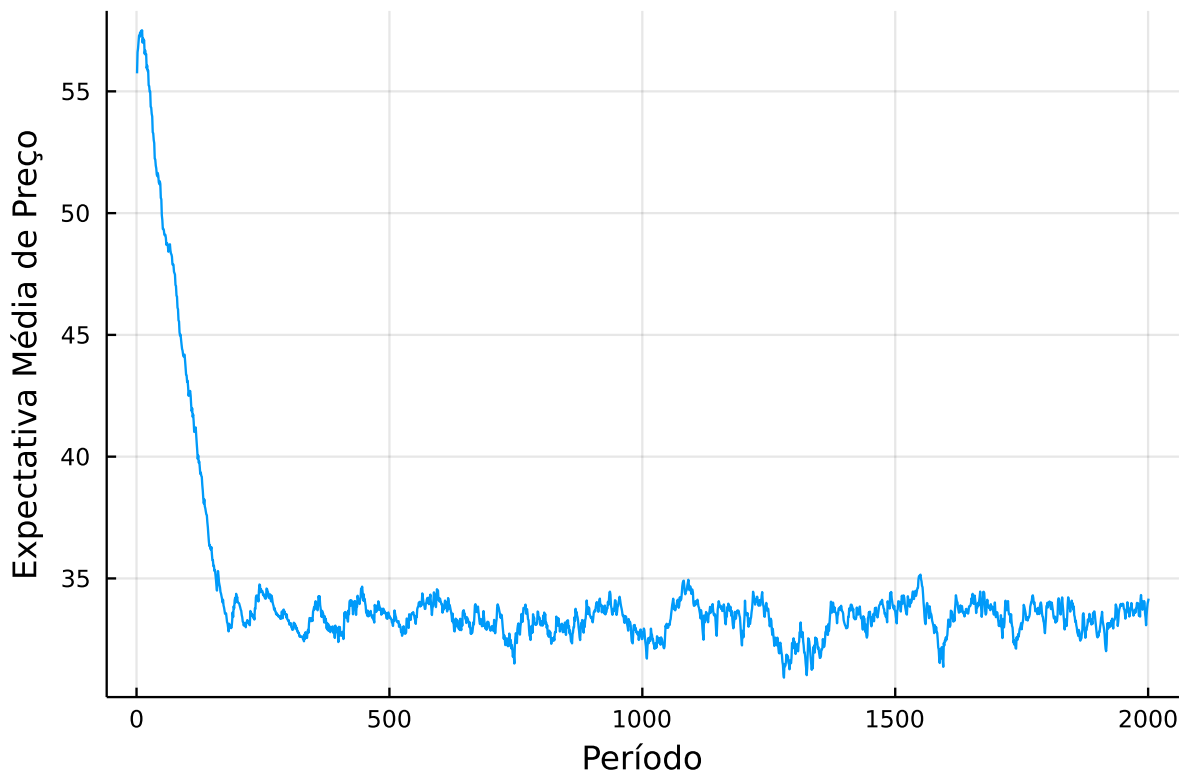


*Figura 12: Expectativa de preço médio com quantidade inicial de produto entre 150 e 250*

Conforme observado na figura 12, o comportamento do modelo para quantidade inicial de 150 a 250 continua similar àquele observado com a quantidade inicial de produto definida entre 100 e 300. Desta maneira, o modelo atinge o equilíbrio dinâmico e mantém-se entre 37 e 33 unidades durante a execução. Pelo período observado, uma vez atingido o equilíbrio, este se mantém durante todos os períodos subsequentes.

A figura 13 apresenta o comportamento da expectativa de preço média dos agentes do modelo quando a quantidade inicial de produto é definida em 200 unidades.



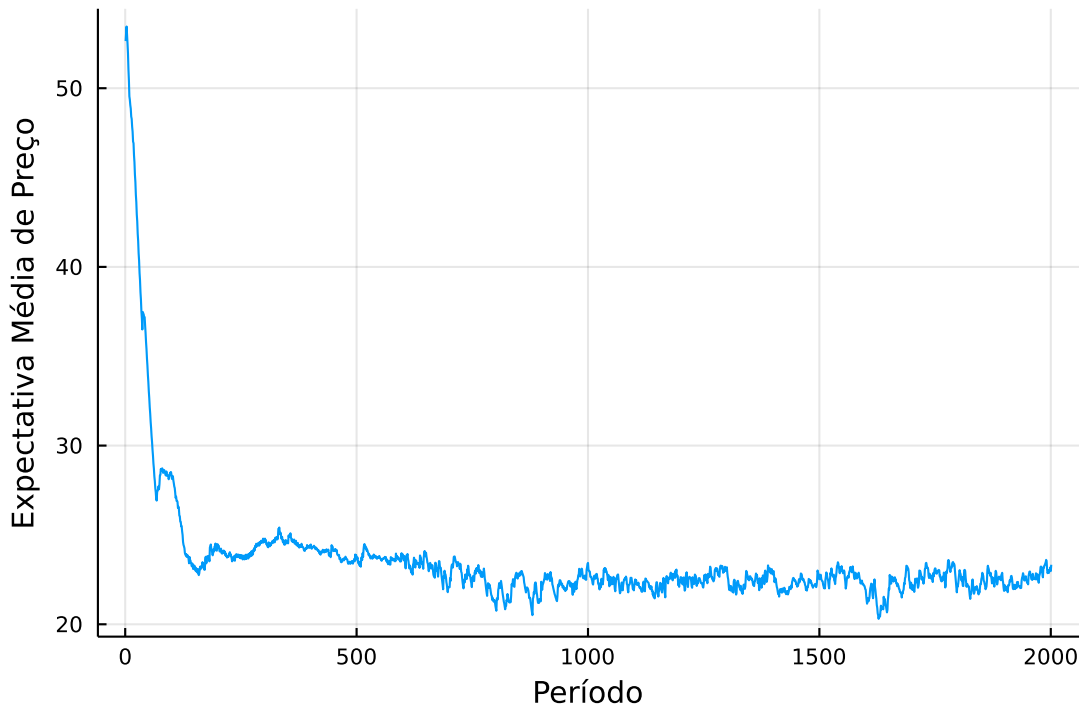


*Figura 13: Expectativa de preço médio com quantidade inicial de produto = 200*

O comportamento observado é consistente com as alterações feitas na quantidade inicial de produto, com uma pequena redução no preço de equilíbrio dos agentes. Portanto, os resultados obtidos mostram que não houve alteração relevante no comportamento dos agentes.

#### **4.2.4 Alteração da quantidade de dinheiro**

A figura 14 mostra o comportamento do modelo quando o dinheiro inicial é definido em 5000 unidades.



*Figura 14: Expectativa de preço médio com dinheiro inicial = 5000*

Conforme observado, a expectativa de preço média caminha rapidamente para um nível próximo de 25 unidades e mantém-se em torno deste nível pelos períodos subsequentes. O comportamento observado é consistente com o modelo iniciado com valores aleatórios entre 5000 e 10000 unidades de dinheiro, entretanto o equilíbrio com 5000 unidades de dinheiro por agente está em um nível de preços inferior ao observado quando o modelo é iniciado com um valor aleatório entre 5000 e 10000 unidades de dinheiro.

A figura 15 mostra o comportamento do modelo quando este é iniciado com dinheiro definido em 50000 unidades.

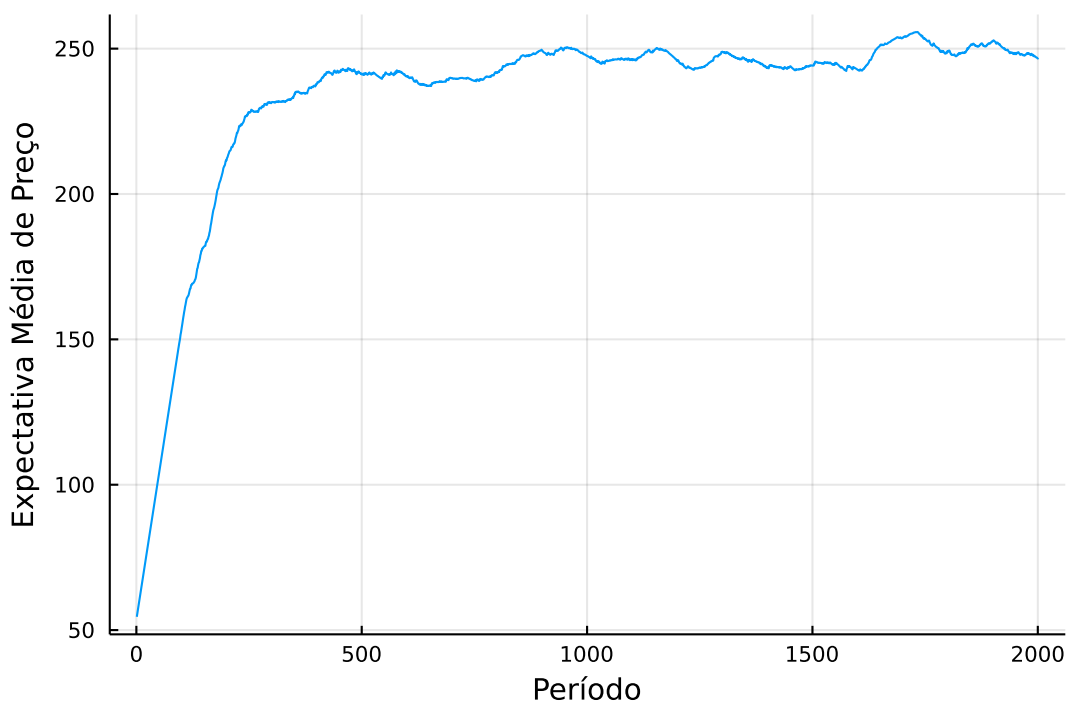


Figura 15: Expectativa de preço médio com dinheiro = 50000 unidades

Conforme observado, o comportamento atinge um equilíbrio em torno de 250 unidades de preço por produto e se mantém neste nível pelos períodos subsequentes. O resultado difere do observado em testes anteriores, mas, assim como nos referidos testes, também atinge um equilíbrio dinâmico. Os resultados sinalizam que uma alteração na quantidade total de dinheiro dos agentes influencia o nível de preços do modelo. Resultado que é consistente com o esperado teoricamente.

#### 4.2.5 Alteração nos expoentes da função utilidade

Para funções Cobb-Douglas, os expoentes da função representam as elasticidades relativas do capital e do trabalho. De forma análoga, neste estudo, os expoentes da função utilidade representam as importâncias relativas do produto e do dinheiro para o agente em questão. Se o agente possui  $\frac{1}{2}$  para ações e dinheiro, significa que o agente considera indiferente possuir seus bens em dinheiro ou ações, porém como o número de ações não é igual ao número de dinheiro, o valor destas ações é aumentado a fim de igualar o valor do dinheiro. Para investigar o efeito de uma alteração nos expoentes, realizaram-se duas análises, alterando os valores para simular preferência dos agentes por dinheiro ou produto. A figura 16 mostra a expectativa de preço média quando a função utilidade é utilizada com expoentes para ações e dinheiro  $\frac{3}{4}$  e  $\frac{1}{4}$ , respectivamente.

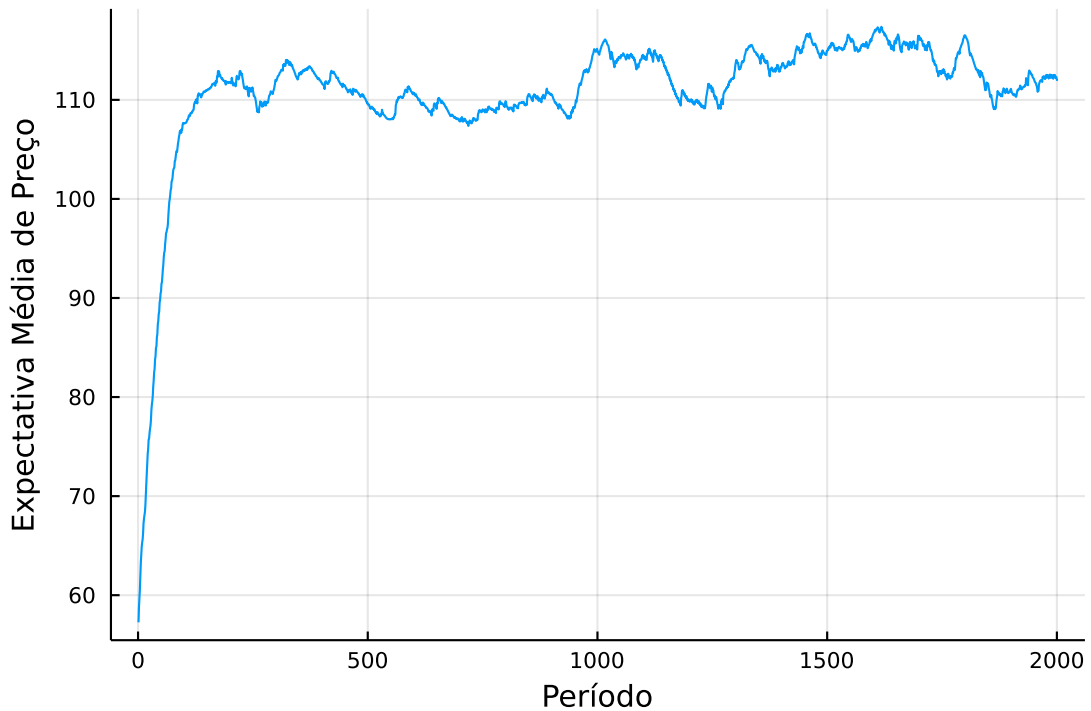


Figura 16: Expectativa de preço médio com expoente de ações = 3/4

Como pode ser observado, o comportamento dos agentes no modelo é consistente com a situação encontrada anteriormente; porém o nível no qual o sistema encontra equilíbrio é diferente. Isto deve-se ao fato de, quando o expoente para ações na função utilidade é maior do que o expoente do dinheiro, os agentes preferem manter uma maior parte dos seus recursos em forma de ações. Sendo assim, o valor dado pelos agentes para a ação é maior e, conseqüentemente, o preço pelo qual os agentes estariam dispostos a trocar ação por dinheiro (expectativa de preço dos agentes) é mais alto.

De forma análoga, a figura 17 mostra a expectativa de preço média quando a função utilidade é utilizada com expoentes 1/4 e 3/4, respectivamente. Neste caso, os agentes dão mais valor a possuir seus recursos na forma de dinheiro e, por este motivo, valorizam as ações a um preço mais baixo do que no observado quando os expoentes eram iguais a  $\frac{1}{2}$ .

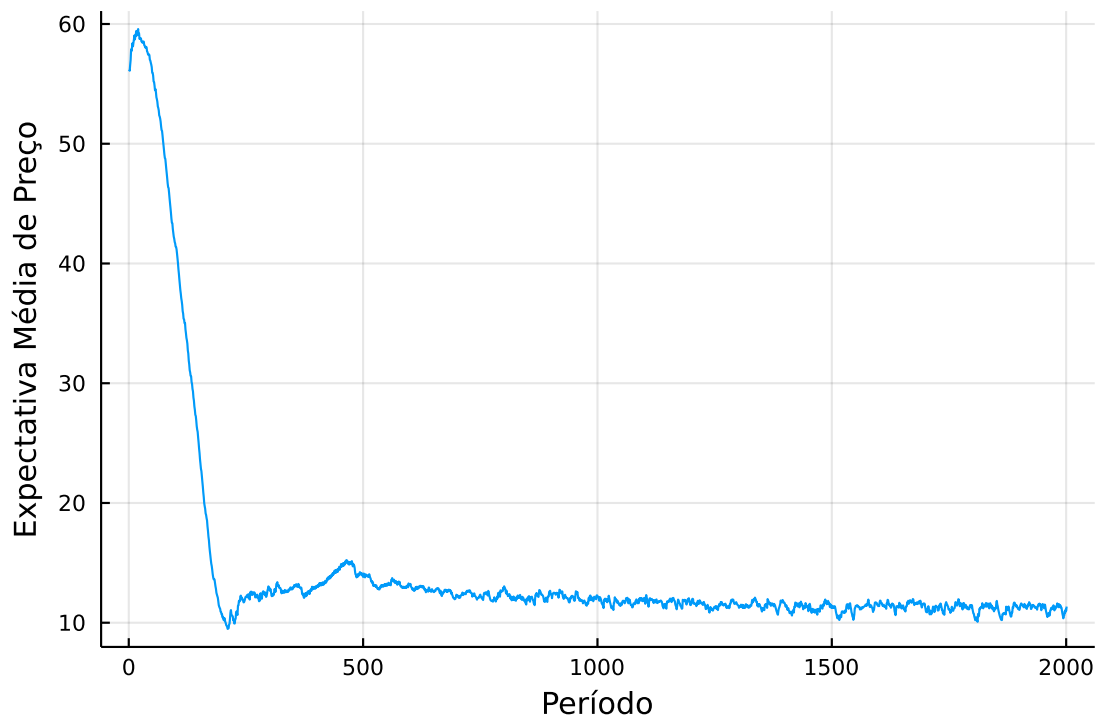


Figura 17: Expectativa de preço médio com expoente de dinheiro =  $3/4$

Com a alteração dos expoentes na função utilidade, é vista uma alteração no mesmo sentido no equilíbrio entre ações e seu preço. Caso o agente valorize mais seu dinheiro do que ações, os agentes estarão dispostos a vender suas ações mais barato para conseguir mais dinheiro e, conseqüentemente, fazem com que o preço das ações atinja um equilíbrio em um nível menor que o anterior. Da mesma forma, caso o agente valorize ação mais do que valoriza dinheiro, ele estará disposto a pagar um valor maior por cada ação e o equilíbrio se dará em um nível maior do que o nível em que o equilíbrio ocorre quando os dois valores são iguais, como pode ser observado na figura 8.

## 5. CONCLUSÃO

O presente estudo buscou avaliar o comportamento dos agentes em um mercado de leilão duplos. Para tanto, utilizou-se da abordagem de modelo baseado em agentes. Ademais, a monografia foi definida em 3 objetivos específicos, precisamente.

O primeiro objetivo específico foi mostrar a literatura de mercado de leilões duplo e de modelos baseados em Agentes. Este objetivo foi atingido no capítulo 2, no qual foram apresentados os principais conceitos e alguns trabalhos sobre os temas.

O segundo objetivo específico foi apresentar a metodologia empregada. Este tópico foi discutido no capítulo 3, sendo apresentado o modelo, discutido suas principais características e explicado seu funcionamento.

Finalmente, o terceiro objetivo específico foi discorrer sobre os resultados obtidos. A partir de simulações com o modelo desenvolvido, pode-se observar que há consistência com o esperado teoricamente e o observado no modelo. O modelo apresenta uma caminhada ao equilíbrio, conforme a teoria de leilões, e, uma vez atingido este equilíbrio, mantém-se nele. Durante a execução do modelo, foi observado que alguns parâmetros não causam alteração no comportamento dos agentes, como quantidade de agentes presentes no modelo, enquanto outros parâmetros, como expoentes da função utilidade, causam alteração no comportamento esperado dos agentes.

O modelo é iniciado com características aleatórias e, com o passar dos períodos, vai caminhando ao equilíbrio de preços. Uma vez atingido, este equilíbrio se mantém durante os períodos subsequentes. Com o passar do tempo, o modelo aproxima-se de uma situação ótima de Pareto, no qual nenhum agente poderia melhorar sua situação sem ser observado uma piora na situação de outro agente. O modelo também não possui influência do modelador além da inserção de características do modelo, sendo assim o modelo também apresenta os princípios necessários para ser considerado um modelo baseado em agentes na área econômica. Os parâmetros ajustáveis apresentam resultados consistentes com o esperado teoricamente e indicam que o modelo não parece produzir resultados adversos à teoria. Assim, o modelo comporta-se conforme o que a teoria preconiza, o que atesta a utilidade do mesmo como elemento didático com a simulação de consequências de comportamentos no mercado frente aos fatores considerados.

Embora tenha sido obtido resultados consistentes com o esperado teoricamente, este é um modelo inicial de baixa complexidade e de funcionamento simples. Sendo assim, é possível observar que certas características do modelo não são observadas empiricamente. Para futuros trabalhos sugere-se reduzir esta distância com trabalhos que adicionem complexidade ao

sistema e que expandam o funcionamento para utilizar diferentes tipos de agentes com diferentes funções de utilidade. O código encontra-se disponível em:

<https://github.com/LuisGBornia/ACE>

## REFERÊNCIAS

- AGHAIE, V.; ALIZADEH, H.; AFSHAR, A. Agent-Based hydro-economic modelling for analysis of groundwater-based irrigation Water Market mechanisms. **Agricultural Water Management**, v. 234, p. 106140, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/J.AGWAT.2020.106140>
- ALMEIDA, H. F.; CHACHA, L. A. Dilema do Prisioneiro Iterado e Estratégia Evolucionariamente Estável: Uma Abordagem Econômica. **Revista de Economia**, v. 40, n. 1, p. 35–53, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.5380/RE.V40I1.32404>. Acesso em: 27 jul. 2021.
- ALMEIDA, H. J. F.; GIOVANINI, A.; PEREIRA, W. M.; COELHO, A. R. A. Inovação E Aprendizado Em Um Ambiente De Racionalidade Limitada E Sujeito A Externalidades De Rede: Uma Abordagem De Escolha Discreta. **Análise Econômica**, v. 37, n. 73, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.22456/2176-5456.73622>. Acesso em: 27 jul. 2021.
- ALMEIDA, H. J. F.; SILVEIRA, J. J. da. Formação De Expectativas De Inflação Em Um Ambiente De Racionalidade Limitada: Uma Abordagem De Escolha Discreta. **Estudos Econômicos (São Paulo)**, v. 47, n. 3, p. 465–486, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/0101-41614731HAJ>. Acesso em: 27 jul. 2021.
- BEZANSON, J.; CHEN, J.; CHUNG, B.; KARPINSKI, S.; SHAH, V. B.; VITEK, J.; ZOUBRITZKY, L. Julia: Dynamism and Performance Reconciled by Design. Proc. **ACM Program. Lang.**, New York, NY, USA, v. 2, n. OOPSLA, p. 120:1--120:23, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1145/3276490>
- BEZANSON, J.; EDELMAN, A.; KARPINSKI, S.; SHAH, V. B. Julia: A Fresh Approach To Numerical Computing. **SIAM {R}eview**, v. 59, n. 1, p. 65–98, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1137/141000671>
- BONABEAU, E. Agent-Based Modeling: Methods And Techniques For Simulating Human Systems. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 99, n. suppl 3, p. 7280 LP – 7287, 2002. Disponível em: <https://doi.org/10.1073/pnas.082080899>
- FARMER, J. D.; LO, A. W. Frontiers Of Finance: Evolution And Efficient Markets. **National Academy of Science**, 1999. Disponível em: <https://www.pnas.org/content/96/18/9991.short>. Acesso em: 16 jan. 2021.
- GJERSTAD, S.; DICKHAUT, J. Price Formation In Double Auctions. **Games And Economic Behavior**, 525 B ST, STE 1900, SAN DIEGO, CA 92101-4495 USA, v. 22, n. 1, p. 1–29, 1998. Disponível em: <https://doi.org/10.1006/game.1997.0576>
- GODE, D. K.; SUNDER, S. What Makes Markets Allocationally Efficient? **Quarterly Journal of Economics**, v. 112, n. 2, p. 603–630, 1997. Disponível em: <https://doi.org/10.1162/003355397555307>
- HANS M. AMMAN. What is Computational Economics? **Computational Economics**, v. 10, p. 103–105, 1997.



JOÃO, H.; ALMEIDA, F.; GIOVANINI, A. Isolamento Social Do Covid-19 E Suas Influências Para Consumidores, Restaurantes E Aplicativos: Uma Análise Com Modelo Baseado Em Agentes. **XXIII Encontro de Economia da Região Sul**, v. 1, n. 1, 2020.

KLEMPERER, P. Auction Theory: A Guide To The Literature. **Journal of Economic Surveys**, v. 13, n. 3, p. 227–286, 1999. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/1467-6419.00083>

LI, Q.; YAO, H.; MAI, T.; JIANG, C.; ZHANG, Y. Reinforcement-Learning-and Belief-Learning-Based Double Auction Mechanism for Edge Computing Resource Allocation. **IEEE Internet of Things Journal**, v. 7, n. 7, p. 5976–5985, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/JIOT.2019.2953108>

MARIN, S. R.; FERNANDEZ, B. P. M.; DE VASCONCELOS, D. S. Agent Based Models And Complex Individuals: An Epistemological Analysis. **OEconomia**, v. 10, n. 2, p. 231–256, 2020. Acesso em: 25 nov. 2020.

MARIN, S. R.; FERNANDEZ, B. P. M. Rethinking Economic Methodology: Complexity, Agent-based models (ABMs) and Individuals. **XXI ENCONTRO DE ECONOMIA DA REGIÃO SUL**. 2018.

NAVEEN, K. P.; SUNDARESAN, R. Double-Auction Mechanisms for Resource Trading Markets. **IEEE/ACM TRANSACTIONS ON NETWORKING**, v. 29, n. 3, p. 1210–1223, 2021.

OLSEN, R. A. Behavioral Finance And Its Implications For Stock-Price Volatility. **Financial Analysts Journal**, v. 54, n. 2, p. 10–18, 1998. Disponível em: <https://doi.org/10.2469/faj.v54.n2.2161>. Acesso em: 25 nov. 2020.

ÖZER, A. H. A Double Auction Based Mathematical Market Model And Heuristics For Internet-Based Secondhand Durable Good Markets. **Computers & Operations Research**, v. 111, p. 116–129, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/J.COR.2019.06.005>

PATEL, Y. S.; MALWI, Z.; NIGHOJKAR, A.; MISRA, R. Truthful Online Double Auction Based Dynamic Resource Provisioning For Multi-Objective Trade-Offs In IaaS Clouds. **Cluster Computing**, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10586-020-03225-9>

TESFATSION, L. Agent-Based Computational Economics: A Constructive Approach to Economic Theory: **Staff General Research Papers Archive**. [S. l.]: **Iowa State University, Department of Economics**, 2006. Disponível em: <https://econpapers.repec.org/RePEc:isu:genres:12514>.

TESFATSION, L. Agent-Based Computational Economics: Overview and Brief History. **Economics Working Papers**, 2021. Disponível em: [https://lib.dr.iastate.edu/econ\\_workingpapers/126](https://lib.dr.iastate.edu/econ_workingpapers/126). Acesso em: 28 jul. 2021.

TESFATSION, L. Modeling Economic Systems As Locally-Constructive Sequential Games. **Journal of Economic Methodology**, v. 24, n. 4, p. 384–409, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/1350178X.2017.1382068>

VAN DEN BERGH, W. M.; BOER, K.; DE BRUIN, A.; KAYMAK, U.; SPRONK, J. On Intelligent-Agent Based Analysis Of Financial Markets. **Erasmus University Working Paper**, 2002.

VYTELINGUM, P.; CLIFF, D.; JENNINGS, N. R. Strategic Bidding In Continuous Double Auctions. **Artificial Intelligence**, v. 172, n. 14, p. 1700–1729, 2008. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.artint.2008.06.001>

WU, J.; WU, C. On the Double Auction Mechanism Design for Electricity Market. In: 2020, **IEEE International Conference on Communications, Control, and Computing Technologies for Smart Grids**. [S. l.: s. n.]

ZAPPA NARDELLI, F.; BELYAKOVA, J.; PELENITSYN, A.; CHUNG, B.; BEZANSON, J.; VITEK, J. Julia Subtyping: A Rational Reconstruction. **Proc. ACM Program. Lang.**, New York, NY, USA, v. 2, n. OOPSLA, p. 113:1--113:27, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1145/3276483>

