

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE PONTA GROSSA – UEPG
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ECONOMIA**

MATHEUS ALMEIDA HEREMAN

**UM MODELO BASEADO EM AGENTE DE CICLO ECONÔMICO COM REDES DE
PRODUÇÃO, REDES FINANCEIRAS E MERCADO DE TRABALHO: A
PANDEMIA DE COVID-19 E A ECONOMIA DOS EUA**

PONTA GROSSA

2024

MATHEUS ALMEIDA HEREMAN

**UM MODELO BASEADO EM AGENTE DE CICLO ECONÔMICO COM REDES DE
PRODUÇÃO, REDES FINANCEIRAS E MERCADO DE TRABALHO: A
PANDEMIA DE COVID-19 E A ECONOMIA DOS EUA**

Dissertação apresentada como requisito parcial
para obtenção do título de Mestre em Economia,
pelo Programa de Pós-Graduação em Economia
da Universidade Estadual de Ponta Grossa –
UEPG.

Orientador: Prof. Dr. Hermes Yukio Higashi.

PONTA GROSSA

2024

H542 Hereman, Matheus Almeida
Um modelo baseado em agente de ciclo econômico com redes de produção, redes financeiras e mercado de trabalho: a pandemia de Covid-19 e a economia dos EUA / Matheus Almeida Hereman. Ponta Grossa, 2024.
65 f.

Dissertação (Mestrado em Economia - Área de Concentração: Economia),
Universidade Estadual de Ponta Grossa.

Orientador: Prof. Dr. Hermes Higachi.

1. Covid-19 - pandemia. 2. Modelo macroeconômico - agentes. 3. Redes - produção. 4. Redes financeiras. 5. Economia americana - dinâmica. I. Higachi, Hermes. II. Universidade Estadual de Ponta Grossa. Economia. III.T.

CDD: 330.1



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE PONTA GROSSA
Av. General Carlos Cavalcanti, 4748 - Bairro Uvaranas - CEP 84030-900 - Ponta Grossa -
PR - <https://uepg.br>

TERMO DE APROVAÇÃO

MATHEUS ALMEIDA HEREMAN

UM MODELO BASEADO EM AGENTE DE CICLO ECONÔMICO COM REDES DE PRODUÇÃO, REDES FINANCEIRAS E MERCADO DE TRABALHO: A PANDEMIA DE COVID-19 E A ECONOMIA DOS EUA

Dissertação apresentada como requisito parcial
para obtenção do título de Mestre em Economia,
pelo Programa de Pós-Graduação em Economia
da Universidade Estadual de Ponta Grossa –
UEPG.

Ponta Grossa, 21 de dezembro de 2022

Professor Dr. Hermes Yukio Higachi
Universidade Estadual de Ponta Grossa

Professora Dra Adriana Sbicca Fernandes
Universidade Federal do Paraná

Professora Dra Luma de Oliveira
Universidade Estadual de Ponta Grossa



Documento assinado eletronicamente por **Hermes Yukio Higachi, Professor(a)**, em 21/12/2022, às 17:09, conforme Resolução UEPG CA 114/2018 e art. 1º, III, "b", da Lei 11.419/2006.



Documento assinado eletronicamente por **Luma de Oliveira, Professor(a)**, em 21/12/2022, às 17:43, conforme Resolução UEPG CA 114/2018 e art. 1º, III, "b", da Lei 11.419/2006.



Documento assinado eletronicamente por **Adriana Sbicca Fernandes, Usuário Externo**, em 27/12/2022, às 13:50, conforme Resolução UEPG CA 114/2018 e art. 1º, III, "b", da Lei 11.419/2006.



A autenticidade do documento pode ser conferida no site <https://sei.uepg.br/autenticidade> informando o código verificador **1219207** e o código CRC **639AF7A2**.

AGRADECIMENTOS

Eu agradeço Anderson Mazziero, meu namorado, pela companhia durante estes dois anos. Agradeço por sempre me apoiar, sempre me ouvir, e sempre estar do meu lado quando precisei. Foram muitas noites sem dormir e mais noites ainda que achei que tudo daria errado e agradeço muito por você sempre estar lá por mim.

Agradeço meu orientador Prof. Dr. Hermes Yukio Higashi por acreditar nos meus sonhos de pesquisa e em nenhum momento desacreditar em mim apesar de ter tido ideias que hoje vejo como eram mirabolantes. E agradeço ainda mais por apontar estas ideias mirabolantes e me fazer crescer como pesquisador.

Agradeço a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal do Ensino Superior (CAPES) pela providencia da bolsa de estudos por estes dois anos. Sem esta bolso tenho certeza que não teria conseguido me empenhar da forma que me empenhei para realizar o mestrado.

Agradeço a todos os professores que tive que me ensinaram não apenas lições de matéria, mas também lições que levei para o resto da vida. Hoje tenho honra poder ser professor e agradeço a todos vocês por isso.

Agradeço também aos funcionários que mantêm a Universidade Estadual de Ponta Grossa, pois sempre que precisei deles sempre fui bem recebido e muito bem tratado.

RESUMO

A questão de pesquisa desta dissertação são os efeitos diretos e indiretos da Pandemia de COVID-19 sobre a dinâmica da economia americana, quais os mecanismos de transmissão destes efeitos e qual a eficácia de políticas fiscais e monetárias expansionistas sobre estes efeitos. O objetivo é formular um modelo macroeconômico baseado em agentes para analisar os efeitos diretos e indiretos da Pandemia de COVID-19 sobre a dinâmica da economia americana, no período de março de 2020 a dezembro de 2021. Houveram duas contribuições teóricas em relação aos modelos baseados em agentes anteriores que abordaram a questão de pesquisa: primeiro, a proposta de um modelo macroeconômico baseado em agentes com redes de produção, redes financeiras e mercado de trabalho que seja capaz de analisar qualitativamente os efeitos diretos e indiretos da pandemia sobre o PIB e a taxa de desemprego; e segundo, a aplicação do MABM para analisar qualitativamente a eficácia das políticas públicas no período. As propriedades emergentes do MABM são exploradas por meio de 3 cenários: no cenário 1, ou cenário neutro, as simulações são realizadas supondo ausência de choques de oferta e de demanda exógenas; no cenário 2, as simulações são realizadas para avaliar os choques negativos e simultâneos de oferta, como as interrupções nas cadeias produtivas globais e as restrições no mercado de trabalho, e choques de demanda exógenos, como a queda na propensão marginal a consumir; e no cenário 3, as simulações são realizadas acrescentando aos choques do cenário 2 os choques positivos de política monetária e fiscal expansionista. Comparando-se os resultados das simulações do cenário 2 em relação ao do cenário 1, verifica-se que apesar dos choques de curto prazo realizarem uma queda do produto, o modelo demonstra uma recuperação a patamares normais de produção após aproximadamente 50 períodos. Comparando-se os resultados do cenário 3 em relação ao do cenário 2, observa-se que a rápida recuperação do PIB da economia americana é causada pelos choques positivos de políticas públicas. É encontrado que redes integradas de produção com estoques maiores que o nível eficiente amortizam os choques advindos das cadeias de produção, e também é verificado que políticas fiscais e monetárias, mesmo quando operadas simultaneamente aos choques epidemiológicos, não conseguem prevenir a queda do produto no curto prazo.

Palavras-chave: A Pandemia de Covid-19; Dinâmica da Economia Americana; Um Modelo Macroeconômico Baseado em Agentes com Redes de Produção; Redes Financeiras e Mercado de Trabalho.

ABSTRACT

This dissertation seeks to determine what the direct and indirect effects of the COVID-19 pandemic on the dynamics of the American economy are, as well as the transmission mechanisms of these effects and the efficacy of expansionary fiscal and monetary policies. The objective of this dissertation is to analyze these direct and indirect effects on the dynamics of the American economy during the period of March 2020 to December 2021 through the use of a macroeconomic agent-based model. Two main theoretical contributions that differ this dissertation's model from previous ones were made by this research: first, the implementation of production networks, financial networks and a labor market that is capable of qualitatively analyzing the direct and indirect effects of the economic shocks from the pandemic on the country's GDP and unemployment rate; and second, the application of a macroeconomic agent-based model on the analysis of the efficacy of public policies during the period being evaluated. The emerging properties of the model were explored through the simulation of 3 different scenarios: in the first scenario, the simulations were carried out assuming the absence of exogenous shocks on supply and demand; in the second scenario, the simulations seek to assess simultaneous negative shocks on supply, such as interruptions in global production chains and restrictions in the labor market, and exogenous shocks on demand, such as a drop in marginal propensity to consume; in the third scenario, positive shocks of expansionary monetary and fiscal policies are added to the shocks from the second scenario. By comparing the results of the second and third scenarios, it was concluded that the rapid recovery of the US economy's GDP can be attributed to the positive shocks caused by the public policies implemented at the time. Other findings are that integrated production networks with stocks larger than the efficient level amortize shocks arising from the production chains, and that fiscal and monetary policies, even when implemented simultaneously with the epidemiological shocks, cannot prevent a short-term drop of the GDP.

Keywords: The Covid-19 Pandemic; Dynamics of the American Economy; A Macroeconomic Model Based on Agents with Production Networks; Financial Networks and Labor Market.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Produto interno bruto - Estados Unidos.....	29
Figura 2 – Consumo de bens não duráveis - Estados Unidos.....	29
Figura 3 – Investimento interno privado bruto - Estados Unidos.....	30
Figura 4 – Poupança - Estados Unidos.....	30
Figura 5 – Índice de entregas de fornecedores PMI para o mercado de serviço Estados Unidos.....	- 31
Figura 6 – Taxa de desemprego - Estados Unidos.....	32
Figura 7 – Índice de preço ao consumir - Estados Unidos.....	33
Figura 8 – A interação entre os agentes do modelo.....	34
Figura 9 – Os 5 momentos em cada período.....	37
Figura 10 – Cenário 1 - Curva de Okun.....	50
Figura 11 – Cenário 1 - Desemprego.....	50
Figura 12 – Cenário 1 - Entrada de novas firmas.....	50
Figura 13 – Cenário 1 - Fragilidade financeira.....	51
Figura 14 – Cenário 1 - Logaritmo do PIB real.....	51
Figura 15 – Cenário 1 - Produção.....	52
Figura 16 – Cenário 1 - Quantidade Vendida.....	52
Figura 17 – Cenário 2 - Dinâmica da pandemia.....	53
Figura 18 – Cenário 2 - Estoque de capital.....	53
Figura 19 – Cenário 2 - Produção.....	53
Figura 20 – Cenário 2 - Desemprego.....	54
Figura 21 – Cenário 2 - Fragilidade financeira.....	54
Figura 22 – Cenário 2 - Logaritmo do PIB real.....	55
Figura 23 – Cenário 3 - Desemprego.....	56
Figura 24 – Cenário 3 - Entrada de novas firmas.....	56
Figura 25 – Cenário 3 - Fragilidade financeira.....	56
Figura 26 – Cenário 3 - Logaritmo do PIB real.....	57
Figura 27 – Cenário 3 - Produção.....	57

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	9
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	11
2.1 MODELOS MACROECONÔMICOS.....	14
2.1.1 Crise sanitária e modelos macroeconômicos.....	22
2.2 CADEIAS PRODUTIVAS INTEGRADAS	26
3 DADOS	28
4 METODOLOGIA	34
4.1 MODELO	36
4.1.1 Famílias	38
4.1.2 Firms de bens de Consumo (firma-C)	39
4.1.3 Firms de bens de Capital (firma-K).....	44
4.1.4 Banco	44
4.1.5 Modelo SIR	45
5 RESULTADOS	48
5.1 CENÁRIO 1	50
5.2 CENÁRIO 2	52
5.3 CENÁRIO 3	55
6 DISCUSSÃO	58
7 CONCLUSÃO	61
REFERÊNCIAS	62

1 INTRODUÇÃO

No início de 2020 o mundo passou por uma crise sanitária, a pandemia de COVID-19. Esta crise acarretou disrupção das cadeias globais de valor, em medidas governamentais que influenciaram fortemente a demanda das famílias, e na diminuição e engessamento da força de trabalho. A disrupção das cadeias globais de valor foram causadas por conta das medidas de *lockdown* implementadas assincronamente e sem um padrão, estas medidas "engessaram" o mercado de trabalho. Impossibilitando a livre entrada e saída do mercado além de diminuir a renda disponível pelas famílias. Para tentar conter a queda da demanda, do produto interno bruto e das cadeias globais de valor causada pelo engessamento do mercado de trabalho, diversos governos utilizaram de medidas fiscais e monetárias expansionistas, ajudando diversas famílias a não passarem fome, contudo causando um aumento da poupança das famílias de classe média para cima, criando uma demanda "represada". A COVID-19 matou e restringiu a locomoção de diversas pessoas, proporcionando a diminuição da força de trabalho e, por conta das medidas de segurança pública, houve o engessamento do mercado de trabalho americano.

Estes choques econômicos tiveram efeitos adversos sobre as variáveis macroeconômicas, sobre principalmente o produto interno bruto dos Estados Unidos, que apresentou uma queda abrupta seguida de uma rápida recuperação.¹

O comportamento do produto interno bruto pode ser explicado pelos choques adversos na demanda e oferta agregada advindos da crise sanitária e das medidas governamentais em resposta à crise. A demanda por bens e serviços foi estimulada com medidas fiscais e monetárias, contudo a incerteza e a falta de bens e serviços fez com que esta demanda se mantivesse contida, criando uma demanda "represada". Além dos efeitos sobre as famílias, os choques sanitários afetaram as estruturas produtivas, causando choques na estrutura de custo e produção das firmas.

Logo após o começo da pandemia, muitos pesquisadores buscou adaptar modelos macroeconômicos já estabelecidos para a nova situação em que a economia se encontrava. Entre os modelos adaptados, o modelo DSGE com adaptações epidemiológicas se destaca pela quantidade de trabalho realizado envolta dele. Entretanto, neste processo de adaptação de modelos, muitos pesquisadores não deram a devida atenção à natureza dos choques que ocorreram durante a crise sanitária, que fez com que as cadeias produtivas interligadas não necessariamente apresentassem as mesmas qualidades que antes. Estas apresentam, agora, os efeitos de *Bullwhip* e *Ripples* sobre sua rede (Inoue; Murase; Todo, 2021; Dolgui; Ivanov; Sokolov, 2018).

¹ De acordo com: <https://fred.stlouisfed.org/series/GDPCI>.

Estes tipos de interação não são capturados pela epistemologia do modelo DSGE, pois esta pressupõe a existência de um equilíbrio único e de racionalidade ilimitada, o que é incompatível com os desencontros da oferta e da demanda causados pelos períodos de adaptação e mudança em variáveis estruturais dos mercados por conta da crise sanitária. (Tsfatsion, 2006; Gatti; Reissl, 2020)

Por conta da natureza da economia americana entre 2020 e 2021, se recorre à utilização de MABM (*Macroeconomics Agent Based Models*). MABM são modelos macroeconômicos baseados em agentes, e estes agentes têm suas ações fundamentadas em heurísticas. O objetivo deste trabalho é formular um MABM para estudar os efeitos diretos e indiretos da interrupção de cadeias globais de valor, do engessamento do mercado de trabalho e dos choques adversos sobre a demanda de bens e serviços. Na seção de metodologia é desenvolvido um modelo que considera: o processo de contágio da COVID-19 e seus efeitos econômicos, os desencontros da oferta e da demanda causados pelos períodos de adaptação dos mercados às políticas sanitárias, a exposição da economia aos choques nas cadeias globais de valor (redes produtivas), a exposição da economia aos choques bancários (redes financeiras), e a exposição das famílias a estes choques através do mercado de trabalho.

A literatura de MABM de ciclo no período da pandemia estuda separadamente a dinâmica das redes de produção, e os efeitos sobre as famílias e firmas na pandemia. Este modelo, inspirado na dinâmica de redes de produção Gatti e Grugni (2021), e nos efeitos da pandemia sobre as famílias e as firmas de Sharma et al. (2021), Gatti e Reissl (2020) busca preencher esta lacuna da literatura provendo um modelo único que consiga analisar ambos os efeitos.

Foi verificada através do modelo a importância da robustez das cadeias produtivas interligadas, ou seja, uma vez que as firmas mantêm um estoque maior que o eficiente de bens de capitais e insumos, é observada uma minimização dos choques advindos das cadeias produtivas integradas. Também é vista a dificuldade de políticas econômicas tradicionais em mitigar, no curto prazo, choques epidemiológicos que limitam e retiram famílias do mercado de trabalho, pois estes choques criam inelasticidade na oferta de trabalho que, por sua vez, acaba gerando inelasticidade da oferta dos demais bens da economia, criando um *feedback* positivo.

Este trabalho se organiza em: Revisão bibliográfica, na qual o problema de pesquisa é fundamentado e a metodologia escolhida é justificada em maiores detalhes. Dados, seção que caracteriza o mercado macroeconômico americano entre janeiro de 2020 a fevereiro de 2022. Metodologia, onde é descrito o modelo teórico proposto por este trabalho. Resultados, seção na qual 3 cenários econômicos são testados: o cenário 1, ou cenário neutro; o cenário 2, que adiciona choques negativos advindos da dinâmica epidemiológica e das cadeias produtivas, e o cenário 3, que contém os choques do cenário 2, mas com a adição de políticas monetárias e fiscais expansionistas. Discussão, parte na qual é anexada as conclusões deste trabalho a rede de conclusões desta literatura; e Conclusão.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A dinâmica macroeconômica não é uma problemática nova no campo da economia, onde muitos pesquisadores já se debruçaram sobre a temática, criando modelos importantes para investigá-la. Estes modelos macroeconômicos caem em 2 grandes categorias: Modelos de equilíbrio, que exigem agentes com racionalidade ilimitada; e modelos baseados em agentes, que pressupõem racionalidade limitada. Modelos de equilíbrio utilizam da hipótese de *market clearing*² enquanto modelos baseados em agentes utilizam do processo de mercado³. Estas diferenças epistemológicas dão origem a resultados e metodologias completamente diferentes entre os modelos. Para a análise de qual categoria de modelo seria melhor para investigar a dinâmica macroeconômica americana entre 2020 e 2022 é levado em conta primeiramente uma revisão sobre a economia americana e as medidas sanitárias implementadas durante a pandemia.

A economia americana se encontra em uma posição privilegiada das demais economias mundiais tanto pelo volume de transações, como pela força de sua moeda. Por conta desta estabilidade e do poder de compra gerados por esta posição privilegiada, a economia americana é composta tanto por firmas *upstream* e *downstream*, ou seja, firmas mais ao topo das cadeias produtivas integradas e firmas mais ao final das cadeias produtivas integradas respectivamente. Esta composição mista de firmas ao longo da cadeia produtiva faz com que o país seja facilmente atingido por choques nestas cadeias e, também, transmita estes choques facilmente. Durante o período pandêmico da COVID-19, houve diversas medidas sanitárias que acabaram impactando as cadeias produtivas integradas, principalmente as medidas de *lockdown*³, fazendo com que diversas firmas intermediárias limitassem ou cessassem por um tempo sua oferta de bens e serviços, causando um *Ripple effect*. O *Ripple effect*, de acordo com Dolgui, Ivanov e Sokolov (2018), é quando ocorre um choque na estrutura de uma firma intermediária, por exemplo, uma firma explodir, causando impactos sobre toda a cadeia produtiva e afetando o *design* da rede e os parâmetros de planejamento das firmas. Este efeito acabou afetando não somente os mercados de importação e exportações de bens e serviços, mas também todo o mercado de trabalho americano já que com menores níveis de insumos e preços maiores nos insumos houvera incentivos para que as firmas adotassem uma menor quantidade de empregados.

Contudo o *ripple effect* não é o único efeito que recaiu sobre as redes integradas de produção mundiais durante a crise sanitária de 2020. Por conta da incerteza do período e dos *lockdowns*, houve

² Não existe um consenso sobre um único processo de mercado na literatura (DAWID; GATTI, 2018).

³ *Lockdown* neste texto é tido como a impossibilidade parcial ou total de se produzir ou trabalhar em uma determinada região.

também o *Bullwhip effect*. O *Bullwhip effect*, de acordo com Dolgui, Ivanov e Sokolov (2018), é quando ocorre um choque na incerteza dos agentes, advindo principalmente de flutuações da demanda, fazendo com que os inventários de firmas de bens intermediários e bens finais se descoordenem. Este efeito solidifica o papel dos preços dos insumos, dos choques dos mercados exteriores aos mercados nacionais e das cadeias de produção para a análise da dinâmica macroeconômica no contexto da COVID-19. Na seção de Metodologia, capítulo 4, a modelagem incorpora estas características da economia via choques no preço e quantidade nas firmas *upstream*, afetando as firmas *downstream* que estão nos Estados Unidos.

O *Ripple effect* e o *Bullwhip effect* são choques que proporcionam o desencontro da oferta e da demanda ao longo da rede produtiva. Estes desencontros podem advir da descoordenação dos inventários entre firmas de bens finais e intermediários, ou também podem advir do efeito do *lockdown* sobre o mercado de trabalho, impossibilitando que o excesso de oferta de uma empresa seja suprido por um excesso de demanda de um trabalhador.

As medidas de *lockdown* não afetaram apenas mercados externos causando gargalos logísticos, como também afetaram o mercado de trabalho, através do "engessamento" deste mercado. Se entende como "engessamento" a mudança local da oferta de um mercado para uma forma mais inelástica, ou seja, apesar de poder haver uma variação dos preços no mercado a oferta não reage tanto quanto anteriormente reagia. Este "engessamento" é causado pela limitação ou retirada de famílias do mercado de trabalho, causando uma queda brusca no consumo discutida em maior profundidade na seção de dados. Por conta da diminuição das receitas das firmas advinda da diminuição do consumo durante o período⁴, há uma diminuição na demanda por trabalho das mesmas, fazendo com que os funcionários contratados aumentem seu poder de barganha, aumentando a probabilidade de um aumento de salário substancial, que por sua vez aumentaria os custos das firmas. Por fim, este aumento de custos causaria um aumento no preço dos produtos da firma, aumentando o nível de preços da economia. (Beckmann et al., 2021) Este "engessamento" é causado principalmente pela dinâmica epidemiológica mais discutida no capítulo 2.1.1, que é modelado através do modelo SIR.

Outra consequência dos *lockdowns* foi um aumento da incerteza entre os agentes. Ar-mantier et al. (2021) encontra uma relação significativa entre a poupança precaucionaria e o aumento da incerteza da inflação. Como foi verificado um aumento da poupança geral entre os agentes no período da análise⁵, pode-se assumir que parte deste aumento da poupança geral é motivado pelo aumento da incerteza da inflação no período, sugerindo um aumento na poupança precaucionaria.

Este aumento da poupança precaucionaria junto as medidas fiscais de transferência de renda

⁴ De acordo com <https://fred.stlouisfed.org/series/PCEC>.

⁵ De acordo com <https://fred.stlouisfed.org/series/PSAVERT>.

durante a COVID-19 fez com que muitos consumidores aumentassem a proporção de poupança de sua renda⁶, entretanto eles tinham intenção de utilizar desta poupança assim que o período de isolamento terminasse, assim criando uma demanda contida ("represada") que, com o término do isolamento, se tornou um choque de demanda (Beckmann et al., 2021).

As medidas de estímulo fiscal dada pelos Estados Unidos foram concebidas com a ideia de manter o nível de consumo das famílias e evitar que mais famílias entrassem na linha da pobreza (Ferrando et al., 2021).

Esta política fiscal com o isolamento social fez com que muitos consumidores mudassem seu padrão de consumo no período do isolamento, dando mais preferência a bens do que serviços, aumentando drasticamente a demanda por bens e fazendo com que os estoques destes produtos diminuíssem. Este resultado não foi esperado pelas firmas (Ferrando et al., 2021). Contudo, este fenômeno não continuou por muito tempo: após o final do isolamento social, os hábitos de consumo anteriores voltaram a ocorrer (Kantur; Özcan, 2021).

Mesmo com o gradual fim da pandemia e a retirada parcial ou total dos *lockdowns* os choques destas medidas foram transmitidos globalmente através das cadeias de produção. Auer e Mehrotra (2014) argumenta que países que participam de cadeias produtivas altamente integradas são afetados por qualquer choque no custo de produção dos demais países na cadeia produtiva ou na taxa de juros. Assim, qualquer choque de ofertas nos portos da China afetaria a inflação dos demais países que estão altamente integrados a sua cadeia de produção. Este comportamento decorre da priorização da eficiência e não da resiliência das cadeias de suprimentos, algo que advém da estruturação de estoque "*Just in time*"⁷ (Rees; Rungcharoenkitkul, 2021).

There is a mechanical link between foreign consumer price inflation and home inflation, and this link is stronger the more open the home economy is to trade (Auer; Mehrotra, 2014).

Durante estes desencontros de oferta e demanda, as empresas no final da linha produtiva tentariam diversificar seus fornecedores de insumos ou trocar sua tecnologia de produção para evitar o uso dos insumos de firmas mais sensíveis a choques na cadeia produtiva, já que por conta da sua estrutura de estoques "*Just in time*" não há estoque extra para estes tipos de choques econômicos. Entretanto, existem insumos indispensáveis para algumas indústrias, e por conta da pandemia se dificultou encontrar novos fornecedores de insumos (Cavallo, 2021; Pichler et al., 2020). Enquanto a empresa

⁶ De acordo com <https://fred.stlouisfed.org/series/PSAVERT>.

⁷ A estruturação de estoque "*Just in time*" prioriza eficiência e imediatividade, assim as firmas que utilizam desta estrutura buscam ter o menor estoque possível e fazer pedidos a fornecedores de acordo com sua demanda.

precisa lidar com a falta de insumos e incapacidade de adaptação, sua situação financeira se deteriora por conta do aumento dos custos de produção advindo do aumento dos preços internacionais por conta da crise sanitária, podendo causar uma crise financeira (Beckmann et al., 2021).

Como pode ser visto, a dinâmica macroeconômica americana é afetada por diversos fatores. O presente trabalho busca construir um modelo baseado em agentes caracterizado por redes de produção, redes financeiras, mercado de trabalho, desencontros de oferta e demanda, processo de contágio da COVID-19, e as medidas econômicas criadas para lidar com a crise sanitária. Ou seja, modelar a dinâmica macroeconômica dos Estados Unidos durante a crise sanitária da COVID-19. Para isto, a presente revisão bibliográfica se divide em dois grandes tópicos: Modelos Macroeconômicos e Cadeias produtivas integradas, sendo que o primeiro tópico inclui uma seção que retrata a relação entre a crise sanitária de 2020 e os modelos macroeconômicos.

2.1 MODELOS MACROECONÔMICOS

A ciência econômica se divide em escolas, cada qual com um conjunto de axiomas. Este trabalho busca analisar a economia americana durante a pandemia através da ótica da economia complexa, que utiliza da metodologia de modelos baseados em agentes (ABM)⁸. A escolha desta metodologia é dada por ela ter ferramentas para lidar com cadeias produtivas e para lidar com os desencontros de oferta e demanda. Esta escolha também é apoiada no arcabouço teórico e empírico de Fagiolo e Roventini (2017) que explicita a necessidade de novos modelos econômicos para a dinâmica macroeconômica, pois o modelo mais utilizado pela literatura (NK-DSGE)⁹ não apresenta todas as ferramentas necessárias para lidar com o fenômeno.

Com o passar do tempo, houve a incorporação de choques específicos da pandemia no modelo NK-DSGE, como choques sobre a poupança das famílias, e oferta de trabalho. Foi encontrado que estes choques específicos aumentam a capacidade do modelo de explicar, e prever o período (Cardani et al., 2022). Apesar da incorporação destes choques, o modelo não incorpora todas as características marcantes do período, como choques nas cadeias produtivas e o desencontro da oferta e demanda nos mercados por conta dos choques nestas cadeias e dos lockdowns assíncronos. Por conta da necessidade de modelar um maior número das características marcantes do período, foi escolhida a escola da economia complexa para se estudar o fenômeno.

Os axiomas da economia complexa não são de origem econômica, mas sim de origem

⁸ ABM é a sigla para *Agent based model*, ou Modelo Baseado em Agente.

⁹ NK-DSGE é a abreviação de *New Keynesian Dynamic stochastic general equilibrium* ou um modelo de Equilíbrio Geral Dinâmico Estocástico Novo-Keynesiano em tradução livre.

metodológica, propondo o estudo de fenômenos dinâmicos mediante modelos baseados em agentes. Esta diferença, apesar de sutil, implica mudanças radicais em relação às metodologias tradicionais na economia. Entre as grandes mudanças metodológicas está a falta de necessidade de supor: a existência de um equilíbrio único; racionalidade ilimitada; e a condição de market cleaning. Nos modelos complexos, supõe-se que existe a emergência de um padrão no modelo, ou seja, durante a análise qualitativa e quantitativa dos dados do modelo é possível extrair um padrão de comportamento do sistema. Apesar dos axiomas da escola complexa modificarem muito como montamos modelos econômicos, ela não tem nenhuma limitação sobre a teoria econômica, ou seja, abrange uma grande quantidade de teorias econômicas.

Ao evitar as suposições descritas no parágrafo acima, os modelos baseados em agentes têm capacidade de retratar mercados caracterizados pelo desencontro da oferta e demanda, no qual os agentes têm limitações cognitivas, e não existe um mecanismo exógeno ao mercado que faça com que a demanda e a oferta de mercado entrem em equilíbrio. Assim, esta metodologia consegue replicar os desbalanceamentos de oferta e demanda encontrados nos mercados durante o período da pandemia.

De acordo com Wilensky e Rand (2015), a economia complexa é uma escola econômica em que o modelo baseado em agentes é uma solução para um problema quando o problema conter: heterogeneidade entre os agentes, interações locais e não globais, um ambiente complexo, a adaptação dos agentes, a passagem do tempo, e um número médio de agentes.¹⁰ As interações no modelo são locais não tendo um mecanismo centralizador para supor um preço que atinja o *market clearing*. O ambiente da economia americana na pandemia como visto no início da revisão bibliográfica é caracterizado por redes, redes de produção entre empresas, redes de financiamento entre bancos e empresas e entre empresas e empresas. A economia americana no período preenche todos os requisitos para se utilizar um modelo baseado em agentes.

Além de ser uma metodologia pertinente ao tema do trabalho, o modelo baseado em agentes apresenta uma nova forma de modelagem que permite visualizar a temática por um novo ângulo, podendo apresentar novas visões para a literatura. Esta nova modelagem não é dedutiva ou indutiva, ela começa com hipóteses dedutivas, mas ao invés de criar generalizações, estas deduções são usadas para criar um modelo baseado em agentes, que por sua vez é usado para a criação de dados, os quais serão usados em métodos indutivos (Wilensky; Rand, 2015).

Este método é chamado de Generativo (*Generative*). Ele satisfaz o entendimento inte-

¹⁰ O conceito de número médio de agentes vem da ideia que, se houver poucos participantes, o problema pode ser resolvido com *game theory*, e se houver muitos participantes o problema pode ser resolvido com a teoria do campo médio (Wilensky; Rand, 2015).

grativo e diferencial do problema em questão. O entendimento integrativo é o entendimento no qual é conhecido as regras a nível individual e se quer determinar o padrão agregado, e o entendimento diferencial é o entendimento no qual o padrão agregado é conhecido e se deseja determinar as regras a nível individual (Wilensky; Rand, 2015).

Modelos baseados em agentes tem mais facilidade para trabalharem com grafos, sendo grafos a forma mais usual na literatura de se representar cadeias produtivas integradas, como pode ser visto nos trabalhos de Gatti e Reissl (2020). Estes modelos obrigam que todos os agentes sigam regras de decisão locais e que o pesquisador defina em que capacidade o ambiente influencia estas interações locais. Em um modelo baseado em agentes a introdução de um grafo como um elemento do ambiente é metodologicamente fácil de se justificar, pois o grafo contém informações sobre o ambiente do agente.

Este tipo de modelagem é flexível e tem uma ontologia compatível com o contexto apresentado pela pandemia de COVID-19. Diferentemente dos ABMs, o modelo NK-DSGE apresenta uma incompatibilidade com a dinâmica macroeconômica do período, que advém de seus axiomas, os quais determinam que os agentes do modelo: sejam racionais, sejam homogêneos, tenham expectativas racionais, tenham comportamento maximizador, e que a todo o tempo o mercado esteja em equilíbrio, ou seja, o preço dos produtos serão calculados de tal forma que não haja excedente de oferta ou de demanda em um mercado. Existem problemas ontológicos, matemáticos, e empíricos com estas afirmações. De acordo com Dawid e Gatti (2018), Kirman em 1992 demonstrou que o agregado de comportamentos de agentes maximizadores heterogêneos não pode ser interpretado como um equilíbrio de um agente representativo (homogêneo), Kirman em 2016, demonstrou que em hipóteses modestas sobre o conjunto de informação do agente não há um processo de ajustamento que garanta que uma convergência ao equilíbrio possa ser construída. Howitt em 2012, propõe que a hipótese de coordenação de todos os agentes em um equilíbrio não é uma hipótese útil, pois evita a questão de problemas com a coordenação de agentes que é algo essencial para o entendimento de fenômenos econômicos como crises financeiras e o impacto de políticas públicas. Carroll em 2003 e Hommes em 2005, não encontraram evidências empíricas sobre a hipótese de expectativas racionais, Dawid e Gatti (2018) propõe que transformações de aproximação local próximo do equilíbrio não capturam toda a dinâmica do fenômeno, e o mesmo autor propõe que como todos os choques do modelo são exógenos o modelo funciona mais como uma forma de estudar a propagação dos choques do que explicar os mecanismos dos choques.

Apesar destas críticas ao modelo NK-DSGE o modelo é ainda muito usado, principalmente por sua capacidade preditiva e por ser uma síntese muito educativa das teorias da escola tradicional econômica. Contudo, não necessariamente as metodologias discutidas são incompatíveis

entre si. Como proposto por Tesfatsion (2006) pode ser que ambos os modelos não sejam substitutos, mas sim complementares, ou seja, podem ser usados conjuntamente para entender um fenômeno. Vriend (2006) verifica mais semelhanças do que a primeira vista entre ambos os modelos.

With standard mathematical modeling in economics one typically specifies a certain micropattern (primitives and rules of possible interaction) and then considers a macropattern as an equilibrium of the thus specified model. In this traditional view, if a certain macropattern is not an equilibrium of such a microspecification, then it is not explained. [...] ABM/ACE do the same if a certain macropattern is not an emergence (instead of equilibrium) of such microspecification, then it is not explained (Vriend, 2006).

A metodologia de modelo baseados em agentes também apresentam limitações, como o fato de necessitarem a construção completa da dinâmica do modelo, a qual requer um conjunto de parâmetros iniciais específicos, assim como uma especificação concreta de instituições, comportamentos, estruturas e atributos dos agentes. O modelo é sensível a qualquer uma destas alterações (Tesfatsion, 2006). Mesmo que as alterações sejam pequenas, pode haver uma dependência grande das condições iniciais e da forma que o pesquisador decidiu modelar o fenômeno em questão. Dado o funcionamento epistemológico de um modelo baseado em agentes, a revisão bibliográfica agora se focará em explorar os modelos macroeconômicos baseados em agentes.

Existem diferentes formas de modelagem na metodologia de modelos baseado em agente, e esta liberdade acaba sendo uma faca de dois gumes, pois por conta de se haver tantas formas de modelar um mesmo fenômeno, não há um modelo cânone da literatura. Entretanto, existem algumas famílias de modelos que se tornaram as principais da literatura de modelos macroeconômicos baseados em agentes. Utilizando a classificação de Dawid e Gatti (2018) temos as seguintes famílias: AGH, desenvolvido por Ashraf, Gershman, e Howitt; CATS, desenvolvido por Gallegati e coautores; EUBI, desenvolvido por Dawid e coautores; EUGE, desenvolvido por Cincotti e coautores; JAMEL, desenvolvido por Salle e Seppecher; KS, desenvolvido por Dosi, Fagiolo, Roventini, e coautores; e LAGOM, desenvolvido por Jaeger e coautores.

Todas as famílias de modelos utilizam de heurísticas¹¹ fundamentadas em questionários para famílias e firmas sobre seu comportamento, fatos estilizados, experimentos econômicos da escola da economia comportamental, e hipóteses simplificadoras. Estas heurísticas são utilizadas no lugar das hipóteses como: a existência de um equilíbrio único, racionalidade ilimitada, e a condição de *market clearing*.

¹¹ Heurísticas são definidas como estratégias que ignoram parte da informação visando realizar as decisões mais rapidamente, com menos informação, e mais precisão que métodos mais complexos (Dosi et al., 2020).

O modelo AGH tem como seu diferencial que as expectativas dos agentes são ingênuas, os preços são calculados via uma regra de *markup*, a decisão de compra das famílias é dada por uma maximização da utilidade dado um orçamento e as famílias são qualitativamente heterogêneas em relação ao tipo de trabalho que podem exercer. O modelo JAMEL apresenta as mesmas expectativas que o modelo AGH, mas se difere nos seguintes pontos: o preço dos salários é baseado na taxa de desemprego, e existe possibilidade do banco se tornar insolvente, acarretando o efeito de contágio através das redes financeiras do modelo. O modelo KS tem as mesmas expectativas que o modelo AGH e JAMEL, contudo é diferente nos seguintes aspectos: o preço é dado por *markup* baseado na participação no mercado da empresa, as famílias gastam toda a renda recebida, o modelo apresenta bens heterogêneos, e o salário no modelo é o mesmo para todas as famílias sendo determinado pela produtividade média, inflação média e desemprego médio (Dawid; Gatti, 2018).

O modelo EUBI tem como seu diferencial que as expectativas dos agentes são extrapolações lineares, o modelo apresenta uma estrutura espacial, os produtos apresentam diferentes graus de qualidade, a produção da firma é dada pela heurística *newsboy*¹², e o consumo das famílias é dado pela heurística *piecewise linear*¹³. O modelo EUGE é bem parecido com o modelo EUBI, contudo tem como seu diferencial que as expectativas são adaptativas, e o preço das firmas é dado por um *markup* fixo (Dawid; Gatti, 2018).

Assim como EUBI e EUGE, o modelo LAGOM realiza as expectativas dos agentes através da extrapolação linear, mas se difere por apresentar múltiplos bens de consumo divididos em setores, o preço das firmas é dado por um *markup* que leva em conta dinâmicas evolucionárias, as famílias escolhem seu orçamento de consumo via regra de Deaton¹⁴, e o mercado de bens de capitais é composto por bens de capitais heterogêneos (Dawid; Gatti, 2018).

A família de modelos Mark-0 busca estudar a economia a partir da ótica do diagrama de fases, buscando classificar os vetores do espaço de parâmetros em fases da economia. No estudo realizado por Sharma et al. (2021) o espaço de parâmetros é classificado em 4 fases de retorno econômico: retorno econômico em forma de V-, U-, L- ou W-. Contudo, para este efeito, o modelo simplifica a heterogeneidade dos agentes, supondo que todos os agentes tenham as mesmas variáveis macroeconômicas.

¹² Newsboy é uma heurística criada por Nahmias e Schmidt (1984) feita para compreender melhor a decisão da firma em relação ao problema de produção.

¹³ Carroll (1997) propõe que consumidores planejam o crescimento de seu consumo conforme o crescimento de seu salário, independente dos gostos pessoais.

¹⁴ Dawid e Gatti (2018) expõe uma heurística para os consumidores de tal forma que o modelo replique o fato estilizado de consumo constante. A heurística diz que o consumidor poupa caso seu salário for maior que o salário esperado.

O modelo CATS é parecido com o modelo AGH no que se refere a formação do orçamento de consumo das famílias, dado por uma fração da renda, e pela demanda das firmas no mercado de trabalho, dada pela expectativa de demanda do produto. As expectativas do modelo são adaptativas, os bens são diferenciados, não há uma função de tecnologia específica, a regra de preço dos bens e serviços é dada pela dinâmica de inventário da empresa e pela comparação do preço do bem com o resto dos preços na economia. As empresas produzem de acordo com suas expectativas de demanda. A decisão de compra é determinada via *Procurement processes*¹⁵. O modelo pode apresentar bens de capital diferenciados, o preço destes bens segue o mesmo modelo de precificação que os demais bens da economia. O mercado de trabalho é feito por contratos entre trabalhadores e firmas, no qual o trabalho é contratado por i períodos, portanto os salários tem um certo nível de rigidez e o valor do contrato é escolhido de acordo com se a firma precisa de trabalhadores ou não. Caso não necessite, a firma propõe o salário no valor do contrato anterior ou do valor do salário mínimo da economia. Caso a empresa necessite, o salário anterior recebe um choque positivo. O modelo não apresenta diferenciação entre trabalhadores. O mercado financeiro é caracterizado por bancos e firmas, no qual a firma busca fundos quando seu lucro está negativo, a taxa de juros e a quantidade do empréstimo desta operação é dada conforme a fragilidade financeira da firma (Dawid; Gatti, 2018).

Estes modelos são validados através da validação de resultado e validação estrutural. A validação de resultado compara os resultados do modelo à realidade, e a validação estrutural compara a simulação com o modelo teórico anterior a ela. É comum como validação de resultado fazer uma média das simulações com os mesmos parâmetros e utilizar do método de Montecarlo para gerar uma distribuição para cada estatística, assim permitindo que se faça a comparação com o mundo real. A validação estrutural se mantém simples, dependendo apenas de se a simulação consegue replicar alguns dos fatos estilizados macroeconômicos (Fagiolo et al., 2019).

Os parâmetros da simulação podem ser estimados ou calibrados. É comum na literatura o método da inferência indireta, a qual pode se utilizar dos momentos gerados via Monte Carlo junto de uma técnica econométrica, como o método dos momentos simulados, como ferramenta para medir a distância entre o modelo simulado e a realidade (Fagiolo et al., 2019). Este trabalho, assim como outros, utiliza da inferência indireta, mais precisamente se utiliza de calibração indireta, na qual o modelo é calibrado mediante valores previamente calculados.

¹⁵ Tesfatsion (2006) define *Procurement processes* como processos nos quais os agentes determinam suas trocas. No modelo CATS o *Procurement processes* é caracterizado pelo seguinte processo: primeiro o agente demandante no mercado calcula seu orçamento de consumo, após o cálculo o agente explora um grupo aleatório de agentes ofertantes no mercado, nos quais irá tentar gastar todo seu orçamento começando pelo agente que oferecer o menor preço encontrado.

Os modelos apresentados acima são alguns de diversos modelos macroeconômicos baseados em agentes. Estes modelos podem ser estendidos, por exemplo, pode se estender o modelo CATS para acomodar um modelo epistemológico como feito por Gatti e Reissl (2020), ou para acomodar uma complexa interação da formação e mudança nas redes de produção integrada, como feito por Gatti e Grugni (2021). As extensões dos modelos os tornam menos genéricos para acomodar situações mais econômicas mais específicas. A metodologia, capítulo 4, deste trabalho utiliza o modelo CATS como base e o estende adicionando choques nos preço e quantidade de firmas *upstream*, dinâmica epidemiológica, choque negativos sobre o orçamento para consumo, e choques expansionistas de políticas fiscais e monetárias.

Exploradas as diversas famílias de modelos macroeconômicos baseados em agentes, vale especificar que a revisão bibliográfica do trabalho se foca especificamente na família de modelos CATS. Por se tratar de um modelo de ciclos econômicos de fenômenos de curto prazo, assim como por conta da ampliar a literatura em torno deste modelo e em torno do *Procurement processes* deste modelo. A natureza de possibilitar desencontros entre oferta e demanda foi um dos fatores decisivos para a escolha deste modelo, contudo é importante notar que por conta de sua natureza ser de curto prazo e o modelo ser estruturado para se autorregular rapidamente faz com que choques neste modelo não necessariamente afetem o caminho de longo prazo das variáveis macroeconômicas.

A família de modelo CATS apresenta uma literatura vasta. Todos os modelos desta família apresentam o modelo de processo de mercado no qual o agente-A realiza uma busca incompleta no mercado, por conta de custos de informação, assim escolhendo aleatoriamente as firmas que visita e ordenando os demais agentes conforme o preço oferecido por eles. Outra semelhança entre todos os modelos desta família é a heurística utilizada pelas firmas para calcularem sua quantidade esperada de produção e preço. No começo do período, a firma compara seu preço à média de preços da economia e verifica se no período anterior houvera estoques. A partir destas informações, a firma decide se irá alterar sua quantidade esperada de produção ou o preço de seu produto no período. (Gatti; Reissl, 2020; Assenza; Gatti; Grazzini, 2014; Gatti; Desiderio; Cirillo, 2011; Gatti; Grugni, 2021).

Apesar de terem estas duas características, as modelagens não poderiam ser mais distintas. Gatti, Desiderio e Cirillo (2011) apresenta um modelo mais genérico no qual as firmas têm apenas um insumo (mão de obra) e as firmas não são capazes de ter estoque de seus produtos. O modelo apresenta o consumo marginal das famílias baseado na distância entre as poupanças das famílias. Assim, uma família com uma poupança menor que a média teria um consumo marginal mais alto.

As hipóteses de consumo marginal do modelo e de tempo de contrato de trabalho das famílias com as firmas serem limitados realizadas por Gatti, Desiderio e Cirillo (2011) não são seguidas pelos demais modelos CATS, sendo suplantada por outras hipóteses. A hipótese de

consumo marginal foi suplantada por uma heurística mais compatível com a teoria da renda permanente, na qual as famílias tendem a manter seu consumo constante ao longo do tempo, e a hipótese do tempo de contrato das famílias foi suplantada pela heurística de que as firmas podem escolher livremente sem penalidade econômica o número de famílias contratadas e demitidas a cada período. Estas heurísticas de modelagem de orçamento de consumo e contrato das famílias pode ser visto em Gatti e Reissl (2020), Gatti e Grugni (2021), Assenza, Gatti e Grazzini (2014).

A hipótese de apenas haver apenas um insumo também é relaxada nos demais modelos da família. Sendo que os modelos Gatti e Reissl (2020), Gatti e Grugni (2021), Assenza, Gatti e Grazzini (2014) incorporam capital, assim necessitando modelar o mercado de capitais. Apesar dos modelos apresentarem firmas com estoque de capital, as firmas não apresentam estoques de seus produtos. Esta hipótese simplificadora é tomada para que as variáveis de excesso de demanda e estoques no final do período, seja estatisticamente relevante para a tomada da decisão da produção esperada e do preço da firma.

No modelo de Assenza, Gatti e Grazzini (2014) o mercado de capitais é caracterizado pelos custos de ajustamento do capital. Estes custos são causados por duas fontes: é custoso para as firmas de bens de consumo entrarem no mercado de capitais, então nem todas as firmas têm acesso a este mercado a todo período¹⁶ e, também, o capital demora para chegar à firma de bens de consumo, chegando apenas no final do período. Por conta das firmas não poderem ajustar seus bens de capital instantaneamente ou próximo de instantaneamente, as firmas não utilizam de estoques completamente eficientes, ou seja, usando a estrutura "*Just in time*" portanto o modelo tem uma estrutura de estoque mais robusta a choques nas redes produtivas integradas.

O modelo Gatti e Reissl (2020) adiciona um novo setor econômico de bens de saúde e um modelo epidemiológico à dinâmica macroeconômica. A introdução do setor de bens de saúde é utilizado para calcular a demanda por tratamentos e custos causados ao governo, que banca o tratamento das famílias infectadas. O modelo epidemiológico é bem realístico por capturar: a transmissão da pandemia através das redes sociais dos agentes, as diferentes reações que as famílias podem ter ao serem infectadas, podendo estarem suscetíveis, assintomáticas, com sintomas severos ou com vírus indetectado. No modelo apresentado por este trabalho na seção 4 utiliza de uma hipótese simplificadora desta dinâmica apresentando uma dinâmica epidemiológica baseada em SIR, que as famílias podem estar suscetíveis, infectadas ou recuperadas.

¹⁶ Neste modelo supõe-se que as firmas só conseguem comprar capital a cada quatro períodos, sendo um mecanismo muito parecido com o mecanismo de preço de Calvo, no qual apenas uma proporção das firmas consegue alterar seu preço a cada período.

Gatti e Grugni (2021) estuda a estrutura das cadeias produtivas, sendo as firmas de bens de capital completamente modeladas, ou seja, a firma de bens de capital também participa do mercado de trabalho e do mercado financeiro. Assim dividindo os insumos com as demais firmas da economia. Para isso, o sistema bancário apresentado pelo modelo é bem robusto, formado por dois bancos de dados com os empréstimos das firmas de bens de consumo e bens de capital dos últimos T períodos. A partir destes bancos de dados, os bancos realizam uma regressão logística para calcular qual a taxa de juros para o empréstimo. Enquanto modelos como Gatti e Reissl (2020), Assenza, Gatti e Grazzini (2014), Gatti, Desiderio e Cirillo (2011) utilizam a fragilidade financeira para calcular a taxa de juros para empréstimos para cada firma. O modelo apresentado nesta dissertação simplifica o comportamento do mercado de bens de capitais, sendo estas firmas modeladas como proto-agentes e no modelo tendo a função de propagação de choques na economia americana, enquanto ao mercado financeiro o modelo segue a literatura ao utilizar a fragilidade financeira como principal formador das taxas de juros.

Estas diferentes formas de se retratar o fenômeno podem emergir por conta das diferentes formas que podemos retratar os comportamentos humanos com heurísticas. Estas são, segundo a economia comportamental, estratégias que ignoram parte da informação com o intuito de fazer decisões mais rápidas, para utilizar menos da capacidade cognitiva do agente e ter maior precisão que métodos mais complexos. As heurísticas não necessariamente representam um comportamento sub-ótimo: elas podem representar estratégias robustas que resultam em um desempenho melhor do que as estratégias que supõem comportamento racional, principalmente quando se trata de modelar um ambiente caracterizado por incerteza tanto substancial como processual (Dosi et al., 2020).

Estas heurísticas foram desafiadas por mudanças estruturais drásticas. Do dia para noite, diversos agentes entraram em *lockdown*, causando uma onda de choques que mudou o mundo. A seguir procura identificar os principais marcos da literatura macroeconômica ao lidar com crise sanitárias.

2.1.1 Crise sanitária e modelos macroeconômicos

No início da crise, houve tentativas de utilizar os modelos tradicionais sem extensões para se compreender o fenômeno da crise econômica advinda da crise sanitária. Isso não surtiu muito progresso a medida que os modelos tradicionais não continham a modelagem de diversos mecanismos importantes para se compreender a pandemia. O mesmo foi tentado com os modelos puramente epidemiológicos. É importante que as decisões políticas e econômicas levem em conta não apenas pesquisas epidemiológicas, pois a eficácia da implementação da política depende de como as pessoas irão reagir à mesma, bem como das instituições e estruturas sociais já presentes na sociedade (Squazzoni et al., 2020).

Shamil et al. (2021) apresenta um modelo baseado em agente puramente epidemiológico que modela a propagação da doença em ambientes urbanos. Agentes têm 5 estados: saudável; Infectado, mas assintomático e não contagioso; infectado e contagioso, mas assintomático; infectado, contagioso e sintomático; e recuperado ou morto. Cada agente tem uma profissão e interage com os agentes a sua volta. Cada profissão tem um conjunto de tarefas, e durante estas tarefas os agentes podem ter as seguintes ações: espirrar, contaminar objeto, contato físico, ou lavar as mãos. Este modelo apresentado é baseado no modelo epidemiológico matemático SIR¹⁷.

Após este período inicial, foi pensado em se realizar extensões dos modelos tradicionais para acomodar as dinâmicas dos modelos epidemiológicos. Mas o sucesso destas ações depende também da qualidade dos dados que serão utilizados para calibrar o modelo e de uma suposição de que o comportamento humano representado no modelo não tenha mudanças significativas (Squazzoni et al., 2020). No ápice da pandemia, por conta da dificuldade do contato pessoal, havia muita dificuldade de se conseguir dados, muitas pesquisas e enquetes foram paralisadas e muitas coletas de dados populacionais foram adiadas. Assim, mesmo que os modelos representassem o processo gerador, não haveria dados recentes de qualidade para que se pudesse haver uma calibração precisa do modelo.

Chetty, Friedman e Stepner (2020) compôs uma base de dados própria para tentar mitigar os efeitos da falta de dados da literatura durante o período. A pesquisa cria uma nova base de dados a partir de dados de firmas privadas em conjunto a outros indicadores econômicos, trazendo também um modelo baseado em equações para analisar os efeitos heterogêneos da pandemia. Foi encontrado que indivíduos com maior renda reduziram significativamente seus gastos, particularmente em áreas de maior taxa de infecção da COVID-19 e em setores que requerem interações pessoais. Esta redução de gastos fez com que pequenas firmas demitissem seus funcionários, afetando principalmente trabalhadores de baixa renda. Enquanto os trabalhadores menos experientes vivenciam esta experiência da crise econômica, os trabalhadores com maior experiência também são afetados pela crise, embora em menor grau. Além desta análise econômica da crise, o modelo também demonstra que a reabertura da economia impactou menos que esperado os pequenos negócios. O mesmo pode ser dito dos estímulos monetários do estado a população, que aumentaram a capacidade de gasto da população, mas pouco deste gasto foi para as firmas que realmente necessitavam deles. Conforme o autor:

These results suggest that traditional macroeconomic tools – stimulating aggregate demand or providing liquidity to businesses – have diminished capacity to restore employment when consumer spending is constrained by health concerns (Chetty; Friedman; Stepner, 2020).

¹⁷ O modelo SIR é um modelo epidemiológico simples que separa a população entre Suscetível, Infectado e Recuperado.

Estas conclusões corroboram com as conclusões de Gatti e Reissl (2020) nas quais apesar das políticas públicas tradicionais serem empregada, elas não tem efeito no curtíssimo prazo sobre a economia, tendo um efeito maior na sua recuperação. Para atingir estas conclusões em um momento com dados escassos estes autores recorreram à criação de cenários nos quais verificam qualitativamente a evolução econômica. Se deparado com esta situação econômica Squazzoni et al. (2020) propõe:

When policy decisions and people's reactions depend on perceptions of the future, and scenarios are probabilistic and largely unpredictable, computer simulation models are seen as a viable method to project future states of a system from past ones in a non-trivial manner. [...] Developing probabilistic scenarios that can reliably inform policy decisions is an important goal (Squazzoni et al., 2020).

De acordo com esta forma de ver a política, pode se extrair a necessidade de testar diversos cenários e verificar como o modelo se comporta nestes cenários, pois assim como constatado por Chetty, Friedman e Stepner (2020), instrumentos de política econômica tradicionais não necessariamente têm efeito dependendo do contexto econômico e social que se está inserido.

A literatura econômica de modelos macroeconômicos sobre a crise sanitária passou por outra transformação, pois ao incorporar modelos epidemiológicos a modelos macroeconômicos houve a adição de *trade-off* de vidas vs sustento (*live vs livelihood*), ou seja, o modelo apresenta uma equação de movimento que identifica quantas vidas é preciso sacrificar para manter um “sustento” da economia, e o oposto também é válido, quanto sustento é preciso sacrificar para se salvar uma vida. (Gatti; Reissl, 2020)

Gatti e Reissl (2020) propõe um modelo para lidar com este *trade-off* no qual ele adapta a família de Modelos CATS com uma rede de conexões baseadas no modelo SIR. O modelo também é baseado na necessidade de distinguir entre produtos essenciais e não essenciais, hipótese implementada por conta da forma com a qual a pandemia atingiu de forma desigual os setores da economia. Por conta disto, o modelo contém 3 tipos de firmas, firmas de bens finais essenciais, firmas de bens finais não essenciais, e firmas de bem de capital. O *trade-off* entre vidas e sustento é representado por uma rede de conexões que ligam agentes, nos quais os agentes que interagem entre si têm uma probabilidade de adoecer, sendo esta probabilidade baseada no modelo SIR. Assim, o modelo captura esta relação via mudanças na força de trabalho, e por meio de custos para o setor público.

A necessidade de separar as firmas do modelo em essenciais e não essenciais vem da natureza do choque da pandemia e do objetivo do autor que é estudar o *trade-off*. Esta separação advém que no início da pandemia apenas os produtos e serviços considerados essenciais retomaram a atividade mais rapidamente, enquanto demais produtos classificados como essenciais demoraram para

retomar a atividade. Por conta deste efeito e por conta dos *ripple effect* e *bullwhip effect* a pandemia teve efeitos desiguais nos setores da economia (Gatti; Grugni, 2021). Diversos setores diminuíram ou cessaram sua produção por conta da falta de bens intermediários, afetando diretamente a inflação do período (Cavallo; Kryvtsov, 2021).

Outros pesquisadores buscaram entender as dinâmicas econômicas da crise sanitária pela ótica das cadeias de produção globais. Gatti e Grugni (2021) propõe um modelo no qual firmas se localizam em diferentes países com diferentes regras sanitárias. As firmas são divididas em dois tipos: firmas próximas do topo da cadeia de suprimentos em países em desenvolvimento (*Up-stream*); e firmas mais próximas do final da cadeia de suprimentos que estão em países desenvolvidos (*Down-Stream*). Firmas *Down-Stream* produzem bens finais que são divididos pela economia mundial e firmas *Up-stream* produzem bens intermediários utilizados pelas firmas de bens finais. A função de produção das firmas de bens finais é representado por uma função Leontief, ou seja, bens intermediários são essenciais para a fabricação dos bens finais, então caso haja uma falta de bens intermediários as fábricas de bens finais precisarão parar de produzir.

Cada firma intermediária pode vender para diversas firmas, entretanto cada firma de bem final apenas pode comprar de uma firma intermediária por vez, sendo os bens intermediários substitutos perfeitos. Esta interação representa as cadeias de produção global de valor, assim formando um grafo no qual cada firma é um nodo e esta dependência de produção é representado por linhas ligando estes nodos. Além desta rede de conexões, o modelo também apresenta uma rede de conexões financeiras, no qual uma firma pode depender de crédito bancário para continuar suas produções.

A modelagem utilizada é importante, pois representa uma perspectiva da literatura de redes de produção mundial. O modelo demonstra que em redes de produção mais enxutas, ou seja, sem estoques e com diversas firmas de bens finais ligados a apenas uma firma de bens intermediários, a rede apresenta fragilidade.

O estado da arte da literatura de modelagem macroeconômica da crise sanitária no *mainstream* da economia é uma extensão do modelo NK-DSGE com poupança forçada das famílias, queda de produtividade da mão de obra e investidores com restrições financeiras (Cardani et al., 2022). Contudo durante este trabalho é argumentado sobre a necessidade de se analisar os efeitos da pandemia sobre as cadeias produtivas por conta dos efeitos *Bullwhipe Ripple* e os desencontros entre oferta e demanda, assim é visto que o estado da arte desta literatura no *mainstream* da economia não é suficiente para explicar o fenômeno dos choques da pandemia sobre as variáveis macroeconômicas

Esta ligação entre a crise sanitária (*lockdowns*) e as cadeias produtivas, é a ferramenta propulsora para a crise econômica sanitária da COVID-19. As cadeias produtivas se comportam como links que acabam passando a crise econômica de uma economia a outra. A sessão a seguir descreve a

exposição das cadeias produtivas a estes choques sanitários.

2.2 CADEIAS PRODUTIVAS INTEGRADAS

As cadeias produtivas integradas globais são importantes, pois expressam o fluxo de bens e serviços na economia mundial. Os Estados Unidos tem diversas firmas down-stream fazendo com que a economia americana seja propensa a choques produtivos advindos de países com firmas up-stream. Durante a pandemia, as medidas de lockdown acabaram deturpando o fluxo de bens e serviços da economia mundial.

Os gargalos logísticos começaram logo com o começo da crise sanitária, contudo estes gargalos foram agravados por tentativas da rede produtiva de construir inventários, causando o desbalanceamento dos inventários das firmas que estão na mesma cadeia produtiva e materializando o bullwhip effect. Estes gargalos são particularmente severos em firmas up-stream provocando efeitos em cascata sobre toda a cadeia produtiva (Rees; Rungcharoenkitkul, 2021).

Esta tentativa de construir inventário, ou seja, tentar antecipar a falta de insumos ao longo de diversos estágios da cadeia produtiva, amplifica o bullwhip effect que acaba dando mais incentivo para construção de inventários (Rees; Rungcharoenkitkul, 2021).

A estrutura da rede produtiva também é importante. De acordo com Rees e Rungcharoenkitkul (2021), a maioria dos fluxos produtivos globais focam na eficiência e não na durabilidade da rede, ou seja, a rede produtiva apresenta baixos estoques. Estas mesmas estruturas, que são a virtude da metodologia toyotista just in time, são propagadoras de choques durante a pandemia, pois uma vez que há um desencontro entre oferta e demanda os efeitos bullwhip e Ripple aparecem, incentivando as empresas a construírem inventários aumentando ainda mais a demanda dos bens de capital da cadeia produtiva, além de amplificar os efeitos bullwhip e Ripple, tornando a rede produtiva de difícil reparação, pois agora a estrutura apresenta descompasso entre os estoques produtivos. Contudo, por conta da natureza destes feedbacks, uma vez reparada a diferença entre os estoques, os gargalos logísticos tendem a desaparecer (Rees; Rungcharoenkitkul, 2021).

Estas redes produtivas são desenvolvidas por um processo dinâmico. Vriend (2006) argumenta que o processo de criação da rede só deve ser considerado caso o estudo englobe um longo período de análise. Não existe modelo canônico para se lidar com mudanças nas redes das cadeias produtivas (Vriend, 2006). Por conta de ser um fenômeno de longo prazo e

No trabalho de Gatti e Grugni (2021) as transformações das cadeias produtivas são feitas pela seguinte heurística: as firmas produtoras de bens finais mudam seus fornecedores com uma probabilidade que é uma função da distância entre os preços de seu fornecedor e de seu possível fornecedor. O modelo de prêmio esperado com estrutura de limiar modela a modificação da rede de

conexão a partir de probabilidades. Estas probabilidades advêm do histórico do agente com o outro agente. Caso este histórico seja um que não passe de um limiar determinado, o agente continua aceitando jogar com o outro agente (Vriend, 2006).

A literatura econômica demonstra que o sucesso da recuperação econômica de uma região depende de se a região esta ou não em lockdown e se a mesma se encontra sozinha em lockdown ou se os demais parceiros comerciais da região também estão em lockdown. Também é demonstrado que a posição na cadeia produtiva importa, quanto mais no começo de um processo de produção, menos o lockdown afeta a região, assim como é destacado a importância do grau de substitutibilidade dos bens intermediários das firmas que cessaram ou diminuíram a produção (Inoue; Murase; Todo, 2021).

Revisados os possíveis modelos econômicos teóricos para se entender o fenômeno, o presente trabalho agora se volta aos dados empíricos do mercado americano e descreve este mercado durante a crise sanitária de 2020.

3 DADOS

A economia americana no período de 2020 a 2021 foi marcada pela crise sanitária COVID-19. Apresentando uma queda no produto agregado, um pico no desemprego, queda rápida no investimento, e, enigmáticamente, houve deflação por um curto período antes da inflação voltar a patamares anteriores. Esta sessão busca caracterizar o cenário macroeconômico em que estas variáveis se encontram, assim como fundamentar a metodologia do trabalho.

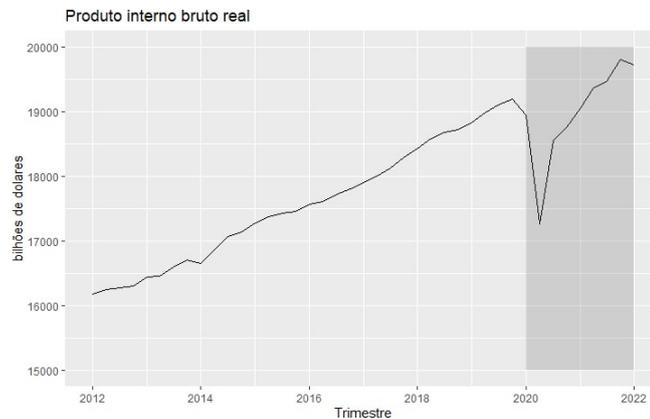
Para compreender este cenário é importante destacar o papel de algumas das medidas governamentais para lidar com a crise sanitária. As medidas de *lockdown* nos Estados Unidos que limitam a movimentação dos agentes para evitar um maior contágio da COVID-19. A transferência de renda realizada pelo governo visa compensar esta falta de movimentação criada pelo *lockdown* assim como incentivar o consumo das famílias. As medidas monetárias também foram expansionistas, com uma baixa taxa de juros ao longo do período. Houveram medidas financeiras de aumento de crédito tendo em vista a proteção de pequenas empresas no período da pandemia.

Aprofundando o modelo teórico visto no capítulo Revisão Bibliográfica, seção 2, a economia americana no início de 2020 recebeu choques epidemiológicos causando a restrição das famílias no mercado de trabalho e por consequência a restrição na importação e exportação de bens por conta deste "engessamento" do mercado de trabalho que acabou tornando a oferta das firmas da economia mais inelástica. Dentre as firmas afetadas estão as firmas de bens de capital e de insumos, as quais responderam a estes choques reduzindo sua produção. Este "engessamento" do mercado de trabalho e escassez dos bens e serviços que são insumos ou bens capitais acabaram por criar um *feedback* positivo sobre si, ou seja, a crise reforçava a si mesma. É nesta situação que as políticas públicas realizadas pelos Estados Unidos são colocadas em prática com a expansão do poder de compra das famílias e das firmas por meio de políticas de transferência de renda e políticas monetárias de juros baixos respectivamente. Os desdobramentos destas nas variáveis econômicas podem ser vistos nas figuras abaixo.

Nos Estados Unidos, a política de transferência de renda se deu através da emissão de um auxílio universal temporário. Esta medida visava impactar principalmente o consumo das famílias, contudo, de acordo com Coibion, Gorodnichenko e Weber (2020), no primeiro momento grande parte deste estímulo foi guardado ao invés de gasto. Apenas 15% dos entrevistados planejava gastar mais de 40% do total do auxílio. Além deste resultado, os autores encontraram que agentes com menor salário eram significativamente prováveis de gastar seu auxílio. Este resultado é corroborado por Chetty, Friedman e Stepner (2020). Estes resultados são corroborados pelas figuras 1 e 2. Estes resultados podem ser interpretados como o aumento da poupança precaucionaria, como mostrado pela figura 4

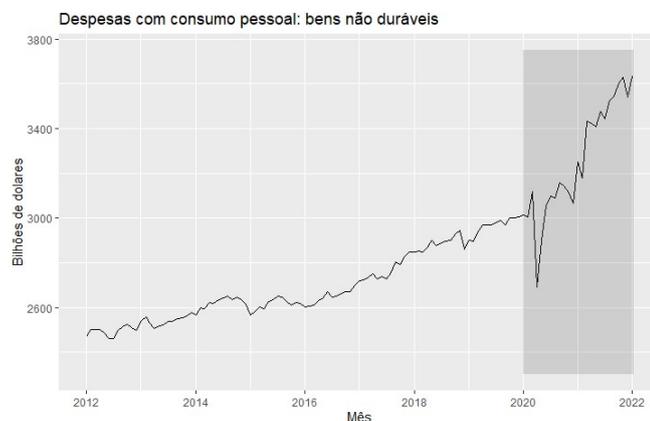
posteriormente, assim este auxílio criou uma demanda "represada", ou seja, as famílias detinham dinheiro para demanda de bens e serviços.

Figura 1 – Produto interno bruto - Estados Unidos



Fonte: <https://fred.stlouisfed.org/series/GDPC1>

Figura 2 – Consumo de bens não duráveis - Estados Unidos



Fonte: <https://fred.stlouisfed.org/series/PCEND#>

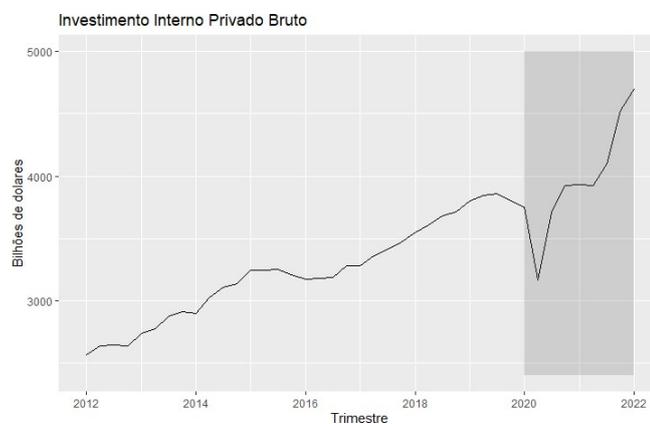
Mas por conta da incerteza no ambiente. Decidiram guardar e não investir este dinheiro, assim criando uma demanda que irá se demonstrar em um momento futuro.

Essas 2 figuras apresentam uma queda abrupta do consumo seguido de uma rápida recuperação. No caso de bens não duráveis, além da recuperação houve o aumento posterior da demanda por bens não duráveis, fato que corrobora com a ideia de uma demanda represada. Com a amenização dos choques adversos e das medidas sanitárias, ou seja, tornando o ambiente econômico menos incerto, se transformou posteriormente em um choque de demanda por bens e serviços e

instrumentos financeiros. Esta hipótese é corroborada pela figura 3 que apresenta uma queda inicialmente. O consumo rapidamente se recupera, e aumenta a patamares maiores que o anterior.

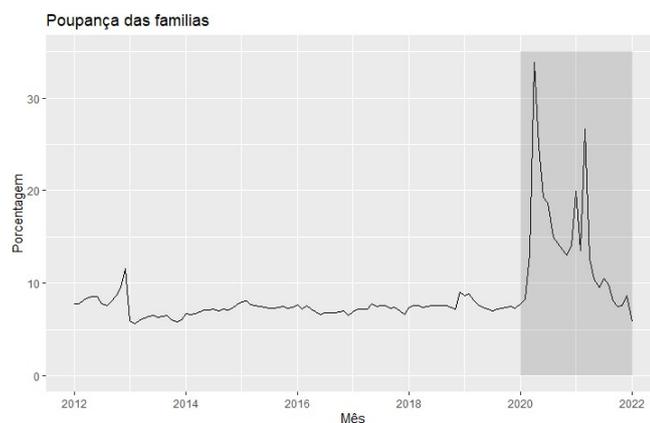
Corroborando com a queda do consumo no período é visto na figura 4 que há um aumento das poupanças das famílias, sendo que durante quase todo o período a poupança fica acima da média anterior, e apresenta dois picos. Apesar deste comportamento anormal das séries macroeconômicas, Coibion, Gorodnichenko e Weber (2020) afirmam que não se encontra evidências para suportar uma mudança na forma da tomada de decisão dos agentes no mercado de trabalho.

Figura 3 – Investimento interno privado bruto - Estados Unidos



Fonte: <https://fred.stlouisfed.org/series/GPDI>

Figura 4 – Poupança - Estados Unidos

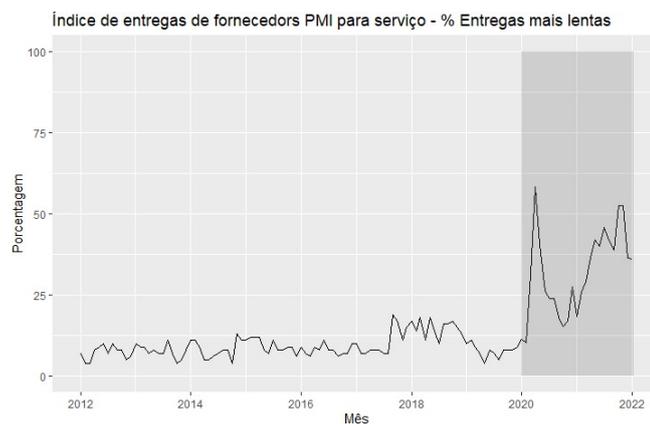


Fonte: <https://fred.stlouisfed.org/series/PSAVERT>

Celasun et al. (2022) encontra evidências que a escassez de insumos intermediários e mão de obra, conjuntamente, restringiram a oferta da economia mundial, tornando evidente a necessidade da introdução de cadeias produtivas para a compreensão deste fenômeno. O estudo demonstra que o tempo

de entrega de insumos intermediários aumentou em relação a níveis pré- pandemia, e apresenta um aumento da falta de mão de obra, destacando o papel do descompasso entre a demanda e a oferta no mercado de trabalho, pois no período da pandemia havia demanda por trabalho, via as firmas, e havia oferta de trabalho, via as famílias desempregadas, contudo o mercado não consegue atingir seu equilíbrio. A escassez de insumos intermediários não se dá só por conta da produção destes bens, mas também por conta de gargalos logísticos que dificulta a entrega dos insumos. Estes gargalos corroboram com a figura 5 que apresenta um pico seguido de um aumento do tempo de entrega das mercadorias, dando mais espaço para haver um aumento da demanda de bens de capital, causando a multiplicação dos efeitos *bullwhip* e *Ripple* sobre a rede produtiva.

Figura 5 – Índice de entregas de fornecedores PMI para o mercado de serviço – Estados Unidos

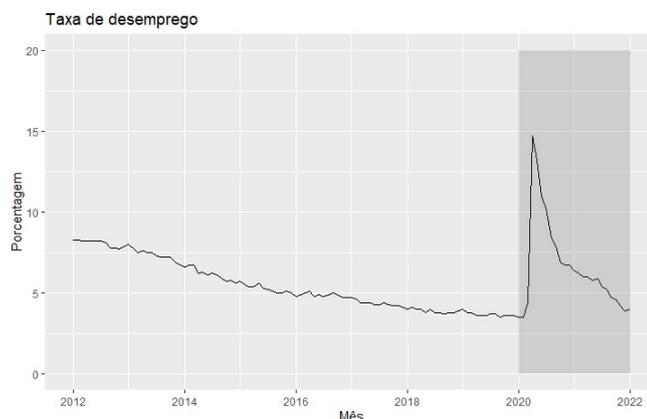


Fonte: https://data.nasdaq.com/data/ISM/NONMAN_DELIV-services-pmi-supplier-deliveries-index

Gargalos logísticos afetam a inflação através do preço do frete internacional, que aumentou fortemente com o aumento dos gargalos logísticos. O aumento do frete internacional causa o aumento do preço dos insumos que utilizam desta logística, por consequência criando um preço inflacionário por conta do aumento dos preços dos insumos na economia. Esta pressão inflacionária é importante, pois aumenta o Índice de preço do consumidor e diminui o poder de compra das famílias (Celasun et al., 2022).

O desemprego durante o período reflete as políticas sanitárias de *lockdown*, ou seja, apresenta um momento de grande desemprego seguido de uma queda lenta. Representando o primeiro momento do *lockdown* no qual apenas empregos essenciais poderiam ser exercidos e com o passar do tempo o resto dos empregos foram sendo reintroduzidos. O movimento desta variável macroeconômica está evidenciado na figura 6.

Figura 6 – Taxa de desemprego - Estados Unidos

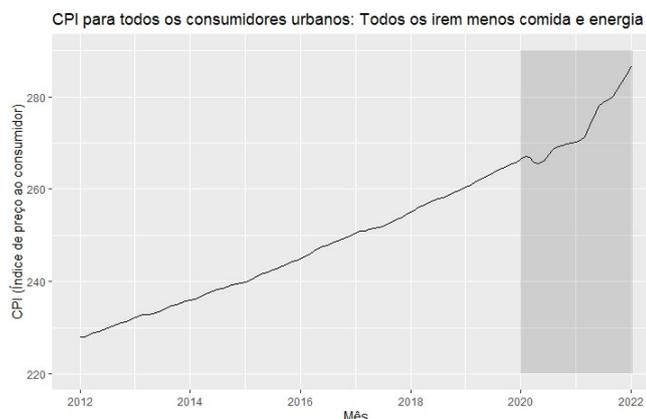


Fonte: <https://fred.stlouisfed.org/series/UNRATE/>

A contrapartida do "engessamento" do mercado de trabalho é o aumento do número de firmas que se tornaram insolúveis ao longo do período que as medidas governamentais financeiras de crédito conseguiram conter em parte. A queda do consumo das famílias ricas fez com que diversas pequenas firmas fechassem seus negócios, causando um aumento do desemprego principalmente entre os trabalhadores de baixa renda (Celasun et al., 2022).

Os efeitos dos choques da pandemia foram diferentes em relação a trabalhadores de diferentes rendas. Como colocado acima, trabalhadores de baixa renda tiveram um aumento no nível de seu desemprego, contudo mantiveram seu patamar de consumo devido a medidas de transferência de renda advindas do governo. Enquanto isso, trabalhadores de alta renda experienciaram uma queda abrupta do emprego no primeiro momento, mas logo houve um aumento compensando a queda anterior (Celasun et al., 2022). Durante todo o período, a taxa de juros esteve baixa com a ideia de incentivar o consumo e desincentivar a poupança. Contudo, por conta da incerteza do momento, pouco do orçamento da maioria das famílias foram alocados para consumo, assim a medida monetária não foi muito efetiva em relação ao resultado pretendido.

Figura 7 – Índice de preço ao consumir – Estados Unidos



Fonte: <https://fred.stlouisfed.org/series/CPILFESL>

A variável econômica mais complicada deste fenômeno é a inflação, que de acordo com a figura 7 apresenta um pequeno período de deflação seguido de um aumento maior que nos patamares anteriores. Este é um resultado anormal, inicialmente provocado por uma queda na demanda de bens e serviços maior que a queda na oferta destes bens e serviços e posteriormente provocado por uma expansão súbita da demanda de bens e serviços, acompanhada de uma expansão lenta da oferta de bens e serviços. Criando este efeito principalmente retratado pela demanda "represada".

Visto a caracterização do mercado macroeconômico americano nos períodos de 2020 a início de 2022, pode se perceber que os mercados não parecem estar se aproximando de um equilíbrio específico, fato possivelmente causado pelas políticas sanitárias. Sendo este desencontro entre demanda e oferta visível na demora do mercado de trabalho a voltar a patamares anteriores, e no aumento dos gargalos logísticos. Estes gargalos logísticos e *lockdowns* expõem a economia americana a choques advindos das cadeias globais de valor. E a lentidão no ajuste do mercado de trabalho se dá por conta da natureza deste mercado de ajuste demorado, e adicionando as medidas de *lockdown* há dificuldade maior ainda de ajustamento.

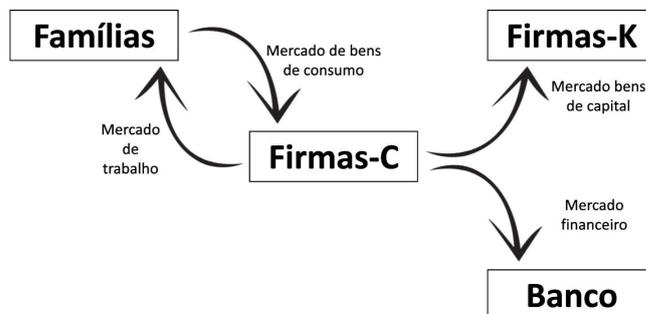
Os argumentos empíricos desta seção apontam para a necessidade do modelo deste trabalho possibilitar desencontros de oferta e demanda advindos dos *lockdowns*. Assim como é necessário possibilitar que o mercado de trabalho tenha uma certa rigidez, e possibilitar que as famílias reduzam seu consumo, para poderem replicar os fatos estilizados apresentados aqui. A seção a seguir é a descrição do modelo teórico para este fenômeno, sendo que suas características são fundamentadas neste capítulo e na revisão bibliográfica.

4 METODOLOGIA

Conforme as caracterizações feitas na seção de Dados e de Revisão Bibliográfica, é necessário que o modelo metodológico leve em conta o contágio da pandemia, o desbalanceamento entre oferta e demanda nos mercados durante o período, os choques adversos advindos das redes produtivas integradas, o "engessamento" do mercado de trabalho americano, e as medidas governamentais para conter a retração da demanda.

O modelo retrata uma economia fechada composta por famílias, firmas que produzem bens de consumo (Firma-C), firmas de bens de capital (Firma-K), e bancos, assim como um mercado de bens de consumo, mercado de trabalho, mercado de bens de capital, e mercado financeiro. As famílias podem ser detentoras de uma firma de bens de consumo ou participar do mercado de trabalho como ofertantes, em ambos os casos estes agentes participam do mercado de bens de consumo como demandantes. As firmas-C participam do mercado de bens de consumo como ofertantes, do mercado de bens de capital como demandante, do mercado de trabalho como demandante e do mercado financeiro como demandante. As firmas-K participam do mercado de bens de capital como ofertantes. Os bancos participam do mercado financeiro como ofertante de crédito, sendo que a taxa de juros da operação é dada pela fragilidade financeira da firma em questão quando avaliada pelo banco. Por simplificação, as firmas-K e os bancos são proto- agentes, ou seja, não possuem seu comportamento modelado com grande nência neste modelo. É importante ressaltar que o modelo trata bens de capital como um insumo, assim não havendo diferença entre insumos e maquinário no modelo. Durante o processo de mercado (*procurement processes*) não necessariamente o excesso de oferta ou de demanda são esterilizados.

Figura 8 – A interação entre os agentes do modelo



Fonte: Autoria própria

Esta estrutura econômica pode ser vista na figura 8 sendo que as flechas representam mercados e saem do agente demandante, apontando para o agente ofertante daquele produto ou serviço.

O setor empresarial da economia é composto pelas firmas-C e firmas-K. Por simplicidade a firma-K é única e não utiliza nenhum insumo para produzir bens de capital, supõe-se que esta firma opera em outro país. A firma-C utiliza como tecnologia a função de Leontief. Ambosos tipos de firmas operam no mercado como se tivessem um monopólio, advindo do processode mercado¹⁸. Por hipótese as firmas não sabem sua curva de demanda, portanto apesar delas desejarem otimizar seu *markup* elas não conseguem. Além de não saberem sua curva de demanda, as firmas se afastam ainda mais do ótimo de um monopólio, pois o modelo introduz uma competição de Bertrand¹⁹ implícita, fazendo com que as firmas levem em conta o preço médio do mercado para tomar suas decisões de produção e preços.

Caso a firma-C apresentar hiato financeiro, ela pode entrar no mercado de crédito. Também por simplicidade, assim como em Assenza, Gatti e Grazzini (2014), a economia virtual contém só um banco.

Supõe-se que durante o processo de mercado do mercado de bens de consumo e do mercado de trabalho nenhum dos agentes envolvidos tenham informação completa do mercado, ou seja, sobre o preço e a quantidade de todos no mercado, ou sobre os agentes do mercado. Neste processo, os agentes incorrem custos para explorar o mercado, assim eles exploram apenas uma parte do mesmo, possibilitando trocas fora do equilíbrio. Para escolher com quem realizar as trocas, os agentes listam as possíveis opções e ordenam estas opções de acordo com uma variável de interesse²⁰. O resultado deste processo de mercado são firmas em constante adaptação ao seu meio, pois em um momento pode ser que a firma subestime a demanda e produza menos bens que os demandados, causando clientes insatisfeitos, em outro momento a firma pode tersobrestimado a demanda e terminado o período com estoques. Assim como grande parte da literatura, supõe-se que as firmas no final do período consomem seus estoques sem custo²¹. Como o mercado de bens de capitais e de crédito são compostos por apenas um agente ofertante, este agente ofertante tem informação completa sobre o mercado.

Os choques da pandemia são caracterizados pelo choque de expectativas das famílias, pela

¹⁸ Os *procurement processes* fazem com que as firmas tenham poder de mercado, pois introduzem custos de transação ao modelo, que impossibilita as famílias de explorarem todo o mercado.

¹⁹ Modelo no qual as firmas escolhem seus preços mesmo tempo, fazendo com que a firma com o menor preço conquiste o mercado inteiro.

²⁰ No mercado de trabalho, a variável de interesse das famílias é o salário, então elas ordenam suas opções do maior salário para o menor. Já no mercado de bens de consumo, a variável de interesse das famílias é o preço, então elas ordenam suas opções do menor preço para o maior.

²¹ Esta hipótese simplificadora é colocada, pois ao adicionar estoques as firmas podem planejar sua produção de diversas formas e não só produzir todo período, como está sendo modelado aqui. É preciso um maior aprofundamento do tópico com pesquisas futuras sobre o impacto de estoques na família de modelos CATS.

diminuição da oferta de mão de obra e pela desorganização das redes produtivas globais. As expectativas das famílias foram alteradas, causando um aumento da poupança no primeiromomento da pandemia. Esta mudança pode ser explicada como um efeito psicológico da pandemia sobre a propensão marginal de consumo das famílias, de acordo com uma ótica keynesiana.

Conforme a pandemia se alastrou pelo país, diversas famílias ficaram infectadas pela doença e por consequência incapacitadas de voltar ao mercado de trabalho.

Os choques nas firmas-K constituem os choques advindo da desorganização das redes produtivas globais, causados pelas políticas de *lockdown*, no qual os efeitos *Bullwhip* e *Ripple* afetam a economia. Estes choques simulam a falta de bens de capital enfrentada pelo mercado americano, assim como o aumento do preço por conta da escassez deste bem. As redes de produção funcionam no modelo como uma rede de contágio, na qual a crise produtiva de uma empresa é passada para a outra. Caso estas falhas na rede produtiva não sejam resolvidas rapidamente, pode se ocorrer uma interrupção da cadeia produtiva global, causando uma queda da produção, um aumento do desemprego e um aumento de preços de firmas de bens de consumo.

Durante o período da pandemia, o governo americano fez diversas políticas de expansão do poder de compra das famílias e das firmas. Estas políticas são capturadas no modelo pela renda disponível das famílias infectadas, pela renda disponível das famílias desempregadas, e pelo aumento da quantidade de endividamento da firma de bens de consumo.

Nas seções abaixo é descrita a metodologia do modelo MABM utilizado neste trabalho, sendo este modelo inspirado na família de modelos CATS. A metodologia do modelo simulado é adaptada a partir do modelo teórico proposto acima para interpretar a economia americana no período da pandemia. É importante ressaltar que as equações apresentadas abaixo não lidam com todos os possíveis estados do modelo. Um exemplo é a equação 21, da fragilidade financeira da firma-C, que necessitaria ter uma verificação prévia de se a firma-C teria comprado capital neste período e se a firma-C tem algum funcionário. O código do modelo contém todas as alterações necessárias para as equações funcionarem em todos os estados do modelo.

4.1 MODELO

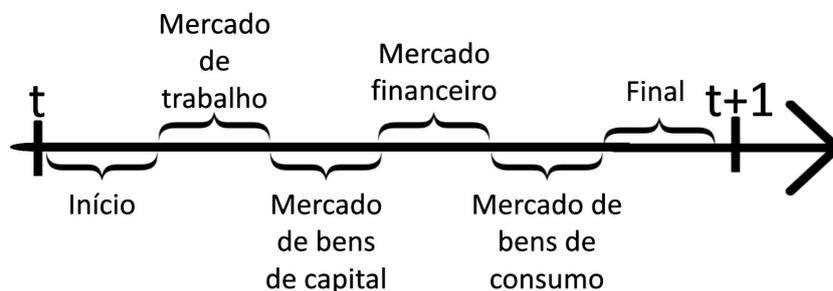
O modelo é composto por famílias, indexadas no modelo por $h = \{1, 2, 3, \dots, N_{famílias}\}$, firmas de bens de consumo, indexadas no modelo por $f = \{1, 2, 3, \dots, N_{firmas-C}\}$, firma de bens de capital, indexadas no modelo por $k = \{1\}$, e bancos, indexadas no modelo por $b = \{1\}$. A variável t no modelo indica o período, sendo $t = \{1, 2, 3, \dots, T\}$ e a variável T determina o último período da simulação²².

²² Seguindo Assenza, Gatti e Grazzini (2014) $T = 3000$ períodos.

A passagem entre um período e outro no modelo é interpretada como um mês. Para melhor compreensão o período é dividido em 5 momentos, sendo eles em ordem cronológica: início, Mercado de Trabalho, Mercado de bens de capital, mercado financeiro, mercado de bens de consumo, e Final. A figura 9 expressa a cronologia do modelo.

São usadas as seguintes hipóteses simplificadoras para representar a economia americana entre 2020 e 2021: primeiro, supõe-se que hajam 2 países, sendo os Estados Unidos populado por firmas *downstream*, enquanto o segundo país é populado por firmas *upstream*, os choques transmitidos pelas firmas mais ao topo da rede de produção são modelados como choques sobre a quantidade produzida de bens de capital e um aumento no preço destes bens; supõe-se que as famílias infectadas recebam transferência do governo no valor do salário médio da economia. As famílias desempregadas no período também recebem transferência de renda, contudo esta é uma parcela do salário médio da economia; supõe-se que as firmas apenas saiam do mercado caso atinjam uma fragilidade crítica; e por fim, a dinâmica epidemiológica do modelo é retratada pelo modelo SIR.

Figura 9 – Os 5 momentos em cada período



Fonte: Autoria própria

Assim as famílias recebem choques em seu orçamento para consumo e através do modelo epidemiológico SIR, sendo que caso estiverem infectadas irão se demitir de seu emprego e são restringidas de participar do mercado de trabalho. As firmas recebem choques advindos das cadeias produtivas integradas, além dos desdobramentos advindo dos choques nas famílias, ou seja, uma queda na demanda por bens finais por conta do aumento da incerteza no ambiente, e o "engessamento" do mercado de trabalho.

4.1.1 Famílias

No começo do período as variáveis do modelo epidemiológico são realizadas informando as famílias sobre seu estado de saúde. As famílias podem estar suscetíveis, infectadas ou recuperadas. Uma família que está infectada não participa do mercado de trabalho. No momento em que o mercado de trabalho se abre, as firmas postam suas vacâncias e o salário vigente para suas vagas.

No mercado de trabalho, é dado por um processo de mercado ao estilo da família de modelo CATS, ou seja, as famílias não visitam todas as firmas de consumo por ter um custo informacional neste processo de procura. Assim a família visita N_t firmas e ordena estas firmas segundo o salário proposto. No final deste processo, a família avisa a firma que está interessada no emprego. É importante ressaltar que a família pode demonstrar interesse em apenas uma vaga por período. Esta forma de modelar o mercado de trabalho possibilita que haja excesso de oferta e demanda no mercado, pois pode ser que haja uma firma que tenha mais famílias interessadas em suas vagas que vagas de emprego abertas e ao mesmo tempo pode ser que haja firmas sem famílias interessadas em suas vagas de emprego. Assim, ao mesmo tempo, o mercado apresenta excesso de oferta e de demanda, replicando o engessamento do mercado de trabalho.

A partir da realização do mercado de trabalho, os agentes contabilizam suas rendas disponíveis ($Y_{h,t}$) seguindo a equação 1, a qual é inspirada em Gatti e Reissl (2020). O governo paga auxílio monetário para os agentes que estão infectados e para os agentes desempregados através das variáveis B_t^{23} e $n \in (0, 1)$. $W_{h,t}$ representa o salário das famílias e $div_{f,t}$ representa os dividendos dos proprietários das firmas. A equação 1 representa este mecanismo de transferência realizado neste modelo pelo governo.

$$Y_{h,t} = \begin{cases} B_t & \text{Se agente esta infectado e não for proprietário de firma} \\ W_{h,t} & \text{Se agente esta empregado e não infectado} \\ nB_t & \text{Se agente desempregado e não infectado} \\ Div_{f,t-1} & \text{Se o agente for proprietário de firma} \end{cases} \quad (1)$$

Após o fechamento do mercado de trabalho, a família calcula seu orçamento para consumo. Da mesma forma que Gatti e Reissl (2020), Assenza, Gatti e Grazzini (2014), Gatti e Grugni (2021) o orçamento das famílias para consumo é calculado conforme as equações 2 e 3. A equação 2 representa o conceito de *human wealth* $\bar{H}_{h,t}$, sendo $\varepsilon_Y \in (0,1)$ um peso e $v_{h,t} \in (0,1)$ um choque na *human wealth*. Riqueza humana é uma média ponderada com pesos decaindo exponencialmente, ou seja, a família leva em conta todo seu histórico de renda disponível, dando maior importância para as rendas disponíveis

²³ B_t é definido como a média dos salários no período anterior.

mais recentes. A equação 3 representa o orçamento para bens de consumo daquele período da família h , sendo $\Xi \in (0, 1)$ e $S_{h,t-1}$ a poupança da família no período anterior. Por conta da definição de *human wealth* adotada, a equação do orçamento é compatível com a hipótese de renda permanente ou hipótese do ciclo de vida (Assenza; Gatti; Grazzini, 2014).

$$\bar{H}_{h,t} = (\varepsilon_H \bar{H}_{h,t-1} + (1 - \varepsilon_H) Y_{h,t}) v_{h,t} \quad (2)$$

$$C_{h,t} = \bar{H}_{h,t} + \Xi S_{h,t-1} \quad (3)$$

Concluído o cálculo do orçamento, as famílias vão ao mercado de bens e serviços. O processo de mercado é tal que as famílias visitam N_{bens} firmas e as ordenam segundo o menor preço. A partir do ordenamento os agentes escolhem a firma com menor preço e consomem até não haver estoque. As famílias repetem este comportamento até que não haja mais orçamento para consumo ou não haja mais firmas conhecidas pelo agente com estoque. Ao realizar este processo, as famílias informam as firmas sua quantidade pretendida de acordo com seu orçamento de consumo e o preço das firmas, possibilitando as firmas a calcularem seu excesso de demanda em relação a sua produção.

$$S_{h,t} = S_{h,t-1} + (Y_{h,t} - C_{h,t}) + C_{h,t}^* \quad (4)$$

Com o fechamento do mercado de bens de consumo, as famílias contabilizam suas poupanças segundo a equação 4, sendo C_{ht}^* a quantia que sobrou do orçamento após as despesas no consumo de bens. O dinheiro poupado pelas famílias não rendem juros. Este fato decorre de uma hipótese simplificadora feita com o intuito de manter a parcimônia no modelo e mantê-lo o mais simples possível, mas ainda com capacidade de responder à pergunta da pesquisa.

4.1.2 Firmas de bens de Consumo (firma-C)

A firma-C está presente em todos os mercados neste modelo. No mercado de trabalho, mercado financeiro, e no mercado de bens de capitais opera como demandante, e no mercado de bens de consumo opera como ofertante. No início do período t a firma-C calcula a produção esperada, o preço do bem de consumo, e a quantidade de vacâncias na firma. Seguindo a modelagem da família de modelos CATS, a firma ajusta o preço ou a expectativa de produção no período conforme a heurística retratada pela equação 5 e 6, sendo $P_{f,t}$ o preço da firma-C, $v_p, v_q \in (0,1)$, \bar{P}_t o preço médio das firmas-C, $\Delta_{f,t}$ o excesso de demanda encontrado pela firma-C no mercado de bens de consumo

²⁴, $U_{f,t-1}$ o custo médio da produção de bens de consumo o investimento da firma-C, $P_{k,t}$ é o preço dos bens de capital, e $I_{\gamma,f,t}$ é uma variável binária assumindo 1 se a firma tem acesso ao mercado de capitais e 0 caso contrário. A firma não pode fixar um preço menor que seu custo médio de produção de bens de consumo.

$$P_{f,t} = \begin{cases} \max(P_{f,t-1}(1+v_p), U_{f,t}) & \text{Se } \bar{P}_{t-1} > P_{f,t-1} \text{ e } \Delta_{f,t-1} \leq 0 \\ \max(P_{f,t-1}(1-v_p), U_{f,t}) & \text{Se } \bar{P}_{t-1} \leq P_{f,t-1} \text{ e } \Delta_{f,t-1} > 0 \end{cases} \quad (5)$$

$$Y_{f,t}^* = \begin{cases} Y_{f,t-1}(1+v_q(-\Delta_{f,t-1})) & \text{Se } \bar{P}_{t-1} \leq P_{f,t-1} \text{ e } \Delta_{f,t-1} \leq 0 \\ Y_{f,t-1}(1-v_q(\Delta_{f,t-1})) & \text{Se } \bar{P}_{t-1} > P_{f,t-1} \text{ e } \Delta_{f,t-1} > 0 \end{cases} \quad (6)$$

Esta trajetória de ajustamento proposta por esta heurística não garante um equilíbrio para o modelo, contudo garante estabilidade ao modelo, fazendo com que a produção e o preço da firma-C não detenham um comportamento explosivo.

Ainda no momento Início do período a firma-C calcula a utilização de seu estoque de capital ($w_{f,t}$) no período dado pela equação 7 e a vacância ($V_{f,t}$) da empresa dado pela equação 9. Sendo β a produtividade do capital, e $K_{f,t}$ é o estoque de capital da firma-C.

$$w_{f,t} = \begin{cases} \frac{Y_{f,t}^*}{\beta K_{f,t-1}} & \text{Se } \beta K_{f,t-1} \geq Y_{f,t}^* \\ 1 & \text{Se } \beta K_{f,t-1} < Y_{f,t}^* \end{cases} \quad (7)$$

A equação 7 calcula a intensidade com que a firma-C vai usar de seu estoque de capital. A intensidade do uso de capital da firma-C é determinada pela função de produção da firma-C $Y_{f,t}^* = \min(\alpha N_{f,t}, w_{f,t} \beta K_{f,t})$, $Y_{f,t}^* = w_{f,t} \beta K_{f,t}$, sendo $N_{f,t}$ a quantidade de trabalhadores da firma-C, e α a produtividade do trabalho. Primeiro é feito uma comparação entre a quantidade de capital necessária para se realizar o produto esperado, caso haja mais capital que o necessário é utilizado apenas o necessário para se atingir o nível de produção desejado (primeiro caso da equação 7), caso não haja capital suficiente é empregado todo o capital para se produzir o mais próximo do desejado possível.

A firma expressa a demanda por capital no período mediante $w_{f,t}$ ao invés de ir ao mercado de capital. Isto ocorre por 2 motivos: a firma só pode entrar no mercado de capital a cada $\frac{1}{\gamma}$ períodos, sendo $\gamma \in (0, 1)$, por conta disso a firma faz estoque de bens de capital, assim expressando sua demanda pelo insumo através desta variável (Assenza; Gatti; Grazzini, 2014).

²⁴ Durante o processo de mercado as famílias informam a quantidade desejada da compra, assim caso falte produto a firma sabe por quantos produtos faltou.

$$N_{f,t}^* = w_{f,t} K_{f,t} \frac{\beta}{\alpha} \quad (8)$$

$$V_{f,t} = N_{f,t}^* - N_{f,t-1} \quad (9)$$

Decidida a quantidade de bens de capital, a firma-C agora decide a demanda por mão de obra demonstrada na equação 8. Esta equação expressa que a demanda por mão de obra ($N_{f,t}^*$) é derivada através da igualdade $N_{f,t}^* \alpha = \beta w_{f,t} K_{f,t}$. A vacância calculada pela equação 9 é dada pela diferença entre a demanda por trabalho e o número de trabalhadores atual da firma-C. Caso esta diferença for negativa, a firma ordena uma lista com os salários de seus funcionários e demite os funcionários de maior salário até que o número de funcionários seja igual à demanda por mão de obra. Caso a diferença for positiva, a empresa vai entrar no mercado de trabalho para preencher as vagas de emprego. Caso não haja diferença, a firma não demitemem contrata funcionários. Por simplicidade e parcimônia, demissões e contratações não têm custo para nenhuma das partes.

$$w_{f,t} = \begin{cases} \max(\hat{W}_t, W_{f,t-1}) & \text{Se } V_{f,t} = 0 \\ \max(\hat{W}_t, W_{f,t-1}(1 + v_w)) & \text{Se } V_{f,t} > 0 \end{cases} \quad (10)$$

Ao final do momento Início do período a firma-C decide o salário de seus futuros trabalhadores conforme a equação 10. Sendo \hat{W}_t o salário mínimo e $v_w \in (0,1)$. No segundo momento do período é aberto o mercado de trabalho no qual as firmas-C recebem sinais dos trabalhadores sobre quais firmas escolheram para trabalhar, após receber estes sinais as firmas escolhem aleatoriamente um número de candidatos suficiente para preencher as vagas vacantes. É possível que a firma não encontre um número suficiente de trabalhadores por conta do processo de mercado possibilitar excesso de oferta e demanda nos mercados.

Ainda no segundo momento do período a firma-C contabiliza seu estoque de capital e verifica se há necessidade de investimento, para caso ela possa entrar no mercado de capitais²⁵. Para contabilizar a necessidade de investimento primeiro é calculada uma média do capital dada pela equação 11, sendo $v_k \in (0, 1)$, ou seja, uma média ponderada com pesos decaindo exponencialmente assim como a 2.

$$\bar{K}_{f,t-1} = v_k \bar{K}_{f,t-2} + (1 - v_k) \frac{Y_{f,t-1}}{\beta} \quad (11)$$

$$I_{f,t}^* = \frac{\bar{K}_{f,t-1}}{\bar{w}} - K_{f,t} + \frac{\delta}{\gamma} \bar{K}_{f,t-1} \quad (12)$$

Ao concluir a média do capital do último período, a firma decide a quantidade que vai

²⁵ Assim como em Assenza, Gatti e Grazzini (2014) a firma-C não tem acesso ao mercado de capitais a qualquer momento. Sendo que a cada 1 γ períodos as firmas têm acesso ao mercado de capitais.

adicionar de capital aos seus estoques sabendo destes custos de ajustamento do produto. A equação 12 define a quantidade esperada de capital a ser adicionado ($I_{f,t}^*$), sendo \bar{w} a taxa de utilização de capital desejada, e δ da depreciação do capital. A equação pode ser dividida em duas partes: a diferença entre o estoque de capital que a firma-C quer no futuro e o estoque que a firma-C tem hoje ($K_{f,t-1} - K_{f,t}$) e a reposição do capital por conta da depreciação, levando em conta os períodos em que a firma-C está sem acesso ao mercado de capitais.

Definida a demanda por investimento da firma-C ($I_{f,t}^*$) é aberto o mercado de bens de capitais. Por parcimônia e simplicidade há apenas uma firma-K no modelo. Por vezes o investimento esperado não é o realizado $I_{f,t}^* = v_I(I_{f,t}^*)$ por conta de choques na cadeia produtiva da firma-k, sendo $v_I \in (0, 1)$. Terminada as encomendas de capital a firma-C calcula seu hiato financeiro para verificar se há necessidade de entrar no mercado financeiro.

$$D_{f,t}^* = \max\left(\sum_{i=0}^{P_f} W_{i,t} + P_{k,t} I_{f,t}^* - A_{f,t-1}, 0\right) \quad (13)$$

A equação 13 expressa o hiato financeiro da empresa ($D_{f,t}^*$), sendo $A_{f,t}$ o lucro positivo acumulado da firma-C. O hiato financeiro é calculado através da diferença entre os custos produtivos e seu patrimônio.

Ao encontrar o hiato financeiro a firma-C se dirige ao mercado financeiro. Neste momento as firmas-C pedem empréstimo para o único banco do modelo. O banco calcula a fragilidade financeira da firma-C conforme a equação 21 e a partir da fragilidade determina os juros da operação financeira através da equação 22. O banco concede o empréstimo no valor de $D_{f,t}^*$ se $\Phi_{f,t} \leq \Omega$, sendo Ω o limite máximo de fragilidade financeira que o banco aceita emprestar, e caso $\Phi_{f,t} > \Omega$ a firma é dada como insolúvel²⁶, suspendendo suas operações (Sharma et al., 2021). Em seu lugar é colocada uma firma-C média²⁷ com o mesmo dono da firma anterior. O modelo adota a hipótese de que as dívidas das firmas-C falidas não afetam a taxa de juros da economia, isto se apoia no fato da taxa de juros permanecer relativamente constante no período observado, e a taxa de juros cobradas pelo banco só se alteram caso a empresa peça um novo empréstimo.

Ao final do momento do Mercado financeiro a firma-C realiza sua produção, dada pela equação 14. Ao final da produção a firma entra no mercado de bens de consumo e o modelo entra em seu penúltimo momento.

$$Y_{f,t} = \min(\alpha N_{f,t}, \beta w_{f,t} K_{f,t}) \quad (14)$$

²⁶ Como hipótese simplificadora esta é a única forma da firma-C ser dada como insolúvel neste modelo.

²⁷ Assim como em Gatti, Desiderio e Cirillo (2011) a firma-C média é definida como a média truncada de 10%.

No mercado de bens de consumo as famílias realizam o processo de mercado visitando firmas e escolhendo gastar seu orçamento na firma de menor preço e assim por diante até que não haja mais bens de consumos nas firmas visitadas ou que o orçamento de consumo tenha acabado.

Ao final deste momento é calculado o excesso de demanda $\Delta_{f,t}$ dado pelo número total de produtos que as famílias que visitaram a firma poderiam ter comprado a mais caso a firmativesse quantidade suficiente para atender a demanda. Por hipótese a firma não realiza estoques de bens de consumo, assim a firma se livra de seu estoque sem custo algum.

Ao entrar no último momento do período, a firma-C define o lucro do período $\Pi_{f,t}$, a dívida total da empresa $L_{f,t}$, o lucro acumulado $A_{f,t}$, e o estoque de capital para o próximo período $K_{f,t+1}$. A equação 15 representa o lucro da operação da firma-C, sendo $Div_{f,t}$ os dividendos da firma-C, θ é a porcentagem da dívida da firma-C que é amortizada a cada período, $r_{f,t}$ é a taxa de juros do empréstimo da firma-C, e $y_{f,t}$ é a quantidade vendida no período. O lucro da operação é representado pela receita menos o custo de insumos, juros e amortização da dívida da firma-C e os dividendos²⁸ da firma-C para seu dono.

$$\Pi_{f,t} = P_{f,t}y_{f,t} - \sum_{i=0}^{\rho_f} W_{i,t} - I_{\gamma,f,t}P_{k,t}I_{f,t} - (1 + \theta + r_{f,t})(L_{f,t-1} + D_{f,t}^*) - Div_{f,t} \quad (15)$$

$$L_{f,t} = \begin{cases} D_{f,t}^* + L_{f,t-1} + \Pi_{f,t} - \theta(L_{f,t-1} + D_{f,t}^*) & \text{Se } \Pi_{f,t} < 0 \text{ e } A_{f,t-1} - \Pi_{f,t} \leq 0 \\ D_{f,t}^* + L_{f,t-1} - \theta(L_{f,t-1} + D_{f,t}^*) & \text{Se } \Pi_{f,t} < 0 \text{ e } A_{f,t-1} - \Pi_{f,t} > 0 \\ D_{f,t}^* + L_{f,t-1} - \theta(L_{f,t-1} + D_{f,t}^*) & \text{Se } \Pi_{f,t} > 0 \end{cases} \quad (16)$$

A dívida total da empresa é dada pela equação 16, calculada através da diferença entre a demanda de crédito deste período e de períodos anteriores, e o pagamento dos juros e amortização da dívida contraída. É importante ressaltar que caso no final do período a firma-C se encontre com lucro negativo, a firma se financia emprestando crédito do banco à mesma taxa de juros do período, contudo os juros deste crédito e sua amortização começam no próximo período.

$$A_{f,t} = \begin{cases} A_{f,t-1} + \Pi_{f,t} & \text{Se } \Pi_{f,t} > 0 \\ A_{f,t-1} + \Pi_{f,t} & \text{Se } \Pi_{f,t} \leq 0 \text{ e } A_{f,t} > |\Pi_{f,t}| \\ 0 & \text{Se } \Pi_{f,t} \leq 0 \text{ e } A_{f,t} \leq |\Pi_{f,t}| \end{cases} \quad (17)$$

$$K_{f,t+1} = (1 - \delta w_{f,t})K_{f,t} + I_{\gamma,f,t}I_{f,t} \quad (18)$$

²⁸ Os dividendos, no modelo representados por $Div_{f,t}$, são distribuídos caso a firma-C tenha lucro positivo e será calculado da seguinte forma: $Div_{f,t} = vdiv \max(P_{f,t}y_{f,t} - \sum_{i=0}^{\rho_f} W_{i,t} - I_{\gamma,f,t}P_{k,t}I_{f,t} - (1 + \theta + r_{f,t})(L_{f,t-1} + D_{f,t}^*), 0)$, sendo $vdiv \in (0,1)$.

A equação 17 é a dinâmica do lucro acumulado da firma-C, sendo que apenas é adicionado a esta variável caso o lucro do período seja positivo.

A equação 18 representa a dinâmica do capital na firma-C, calculado pela soma do estoque de bens de capital após a depreciação no período, junto ao capital comprado no período.

Ao final do último momento do período a firma-C recebe do banco a média de preço do mercado de bens de consumo para poder no próximo período ajustar seu preço ou quantidade.

4.1.3 Firmas de bens de Capital (firma-K)

Por conta dos Estados Unidos ser um país desenvolvido, sua indústria é composta principalmente por empresas no final da cadeia produtiva de seus produtos. Por conta disto e pela parcimônia do modelo, as firmas-K são modeladas como proto-agentes. A firma-K participa do mercado de bens de capital como ofertante e de acordo com 19 sua oferta de capital é determinada pela demanda de capital das firmas-C multiplicada por um choque $v_l \in (0, 1)$. Seu preço é dado por 20 sendo $v_{pk} \in R^+$.

$$Y_{k,t} = v_l \sum I_{y,f,t} I_{k,t} \quad (19)$$

$$P_{k,t+1} = P_{k,t} (1 + v_{pk}) \quad (20)$$

A realização destas variáveis ocorre antes da abertura do mercado de bens de capital. É importante ressaltar que os choques na oferta da firma-K afetam todas as firmas-C igualmente, ou seja, caso houver uma redução em 50% da oferta de capital todas as firmas-C receberão o capital encomendado reduzido em 50%, e também que as firmas não pagam pelo capital que não é recebido por conta dos choques nas cadeias produtivas.

4.1.4 Banco

Durante o processo de mercado do mercado financeiro, o banco calcula a fragilidade financeira da firma-C conforme a equação 21, sendo que quando $\Phi_{f,t}$ é negativo a firma se encontra em uma situação financeira saudável e quando positivo a firma se encontra em uma situação financeira mais insolúvel. (SHARMA et al., 2021) Os juros cobrado pelo banco é calculado de acordo 22, sabendo que $\varphi_{f,t} \in (0, 1)$, e r^- a taxa de juros-base da economia (Gatti; Desiderio; Cirillo, 2011). As dívidas da firma com o banco são parceladas e estas parcelas são compostas pelos juros da operação

financeira e pela amortização da dívida²⁹ (Assenza; Gatti; Grazzini, 2014). O banco apenas empresta o crédito a firma-C se a fragilidade financeira da firma após o empréstimo respeitar a inequação $\Phi_{f,t} \leq \Omega$, caso o banco não possa emprestar a firma é dada como insolúvel.

$$\Phi_{f,t} = -\frac{A_{f,t-1} - L_{f,t-1}}{\sum_{i=0}^{p_f} W_{i,t} + I_{\gamma,f,t} P_{k,t} I_{f,t}} \quad (21)$$

$$r_{b,f,t} = \bar{r}(1 + \phi_{f,t} \Phi_{f,t}) \quad (22)$$

O mercado de bancos, assim como em Assenza, Gatti e Grazzini (2014) é composto por apenas um grande banco. Com esta hipótese simplificadora o modelo impossibilita o estudo de crises bancárias, contudo esta hipótese não afeta o estudo de ciclo econômicos durante a Covid-19, pois não houvera crises bancárias, uma vez que os bancos centrais tornaram o crédito mais fácil com uma taxa de juros pequena.

A cada 12 períodos no último momento do período o banco atualiza o preço do salário mínimo da economia (\hat{W}_t) segundo a inflação nestes 12 períodos. A inflação é calculada conforme a equação 23 sendo $\bar{p}_t = \frac{\sum p_{f,t} Y_{f,t}}{\sum Y_{f,t}}$ Supõe-se que o banco tenha informação perfeita sobre o mercado de bens para calcular a inflação, e segundo a definição de \bar{p}_t é levado em conta apenas o preço no mercado de bens de consumo.

$$\pi_t = \frac{\bar{p}_t - \bar{p}_{t-3}}{\bar{p}_{t-3}} \quad (23)$$

No final de todos os períodos o banco realiza a média de preços dos bens de consumo e disponibiliza esta informação para as firmas-C para que elas consigam ajustar seu preço ou produção no início do período seguinte.

4.1.5 Modelo SIR

No começo do período, o modelo epidemiológico determina as variáveis suscetível, infectado ou recuperado. O modelo SIR é um modelo epidemiológico de população constante, ou seja, em algum momento toda a população estará recuperada. A equação 24 representa o número de indivíduos suscetíveis ao vírus e conforme o número de infectados aumenta o número de suscetíveis diminui cada vez mais rápido. 25 representa a dinâmica do número de infectados na economia, sendo que quanto maior o número de infectados maior é a queda do número de infectados no próximo período. E 26 representa o número de recuperados que aumenta conforme um aumento no número de

²⁹ A amortização da dívida é dada pelo parâmetro θ do modelo.

infectados (Switkes, 2003).

$$S_t = S_{t-1} - gI_{t-1}\Delta t \quad (24)$$

$$I_t = I_{t-1} + (gI_{t-1} - jI_{t-1})\Delta t \quad (25)$$

$$R_t = R_{t-1} + jI_{t-1}\Delta t \quad (26)$$

O modelo epidemiológico tem uma população igual ao número de famílias menos o número de famílias que são donas de firmas. Isto acontece, pois caso alguma família dona de empresa ficar doente o mercado de trabalho não é afetado por hipótese do modelo. Quando o número de infectados aumenta o modelo epidemiológico afeta o modelo econômico, retirando aleatoriamente o mesmo número de famílias do mercado de trabalho que $I_t - I_{t-1}$. E para cada família recuperada o modelo epidemiológico retorna uma família aleatória que estava infectada para o mercado de trabalho.

Cenários da Simulação

O modelo é testado em 3 cenários. Primeiro cenário é composto por uma economia sem choque advindos da COVID-19 e sem estímulos para demanda. Segundo cenário adiciona os choques advindos da pandemia ao primeiro cenário. E o terceiro cenário adiciona estímulos para a demanda ao segundo cenário.

No primeiro cenário, o MABM representa o padrão de comportamento da Economia Americana, sem choques exógenos diretos de oferta e demanda. Durante o primeiro cenário as seguintes variáveis, relacionadas aos choques da COVID-19 são calibradas em valor normal conforme a tabela 1: $v_{h,t}$ que representa a queda no consumo por bens de consumo na pandemia, $v_{l,t}$ que representa os choques nas cadeias produtivas que afetam a quantidade entregue, v_{pk} que representa choques nas cadeias de produção global que geram o preço utilizado pela firma-K, e as variáveis do modelo epidemiológico g , j e Δt . Em relação às variáveis de expansão da demanda, as seguintes variáveis são calibradas em valor normal segundo a tabela 1: B_t representa o auxílio recebido pelas famílias durante a pandemia e é igualado a zero; n representa o auxílio-desemprego durante a pandemia sendo também é igualado a zero; e Ω representa o aumento da facilidade do empréstimo durante a pandemia.

No segundo cenário é simulado o modelo com choques advindos da pandemia. O modelo é iniciado nas mesmas especificações que o primeiro cenário (chamado na tabela 1 de calibração normal), mas quando o período t^* é atingido as seguintes variáveis assumem o valor de calibração pandemia da tabela 1: $v_{h,t}$ muda, causando uma diminuição no consumo e forçando as famílias a aumentarem suas poupanças, $v_{l,t}$ muda causando uma diminuição na quantidade entregue pela firma-K, $v_{pk,t}$ muda afetando

o preço do bem de capital, e as variáveis do modelo epidemiológico g e Δt são mudadas afetando a oferta de mão de obra. Os choques do epidemiológico ocorrem nos 27 períodos após o período t^* , enquanto os demais choques decorrentes da pandemia ocorrem por 100 períodos após t^* ser atingido. 100 períodos após t^* ser atingido, os choques se encerram e a economia volta a ter os parâmetros anteriores.

No terceiro cenário é simulado o modelo completo com choques advindos pela pandemia como no cenário 2, mas no período t^* são adicionados os choques de expansão de crédito e renda dos agentes. As seguintes variáveis assumem seu valor de calibração Pandemia na tabela 1: B_t assume o valor de salário médio da economia causando um aumento da demanda das famílias que estão infectadas, n aumenta os recursos das famílias desempregadas, e Ω aumenta a oferta de crédito dos bancos às firmas-C, expandindo seu horizonte de crédito. Diferentemente dos choques da pandemia, os choques de expansão de crédito e renda são mantidos até o final da simulação, apesar dos choques pandêmicos terminarem 100 períodos após t^* . O modelo demonstrado nesta seção reflete o terceiro cenário da economia.

Os resultados da metodologia são apresentados a seguir, junto de uma análise dos mesmos.

5 RESULTADOS

O modelo é calibrado de forma indireta, ou seja, é escolhido um conjunto de parâmetros tal que ele replique os fatos estilizados da economia americana no período estudado. O método de calibração indireto é o mais utilizado para este fim.

A calibração indireta do modelo é baseada principalmente na calibração indireta de Assenza, Gatti e Grazzini (2014). O modelo terá 1000 períodos, sendo que os primeiros 500 períodos são retirados da análise. Estes primeiros períodos representam a adaptação dos agentes aos mercados, sendo caracterizado por alta volatilidade. O modelo SIR é calibrado tal que no vigésimo sétimo período após t^* não haja mais famílias suscetíveis.

Tabela 1 – Calibração Indireta.

Variável	Descrição	Normal	Pandemia
T	Períodos do modelo	1000	–
$N_{familias}$	Número de famílias no modelo	3000	–
$N_{firmas-C}$	Número de Firmas-C no modelo	200	–
N_{τ}	Número de visitas no Mercado de trabalho	5	–
N_{bens}	Número de visitas no Mercado de consumo	3	–
n	Renda disponível da família desempregada	–	0.6
ε_H	Peso para calcular a <i>Human Wealth</i>	0.96	–
$v_{h,t}$	Choque da Pandemia sobre a <i>Human Wealth</i>	1	0.8
Ξ	Proporção da poupança dedicada a consumo	0.05	0
$v_{p,t}$	Choque no preço da firma-C	$U(0,0.1)$	–
$v_{q,t}$	Choque na produção esperada da firma-C	0.9	–
α	Produtividade da mão de obra	0.5	–
β	Produtividade do capital	1/3	–
$v_{w,t}$	Choque no salário ofertado pela firma-C	0.05	–
$v_{k,t}$	Peso para calcular média do estoque de Capital	0.5	–
\bar{w}	Taxa de utilização de capital desejada	0.85	–
γ	Probabilidade de entrar no mercado de capitais	0.25	–
δ	Taxa de depreciação do capital	0.02	–
$v_{l,t}$	Choque na quantidade de capital recebido	1	0.8
Ω	Fragilidade máxima permitida	2	3
v_{div}	Proporção do lucro reservado para dividendos	0.2	–
θ	Proporção da amortização dívida	0.05	–
v_{pk}	Choque no preço da firma-K	$U(0,0.01)$	$U(0,0.02)$
\bar{r}	Taxa de juros base da economia	0.01	–
$\varphi_{f,t}$	Proporção do <i>mark-up</i> do banco	0.01	–
g	Taxa de infecção	–	0.55
j	Taxa de recuperação	–	0.5
Δt	Variação de tempo discreto do modelo SIR	–	1

A Tabela 1 contém os símbolos que representam as variáveis, uma breve descrição de cada variável, seus valores no cenário 1, o cenário normal, e seus valores no cenário pandêmico, ou seja, os cenários 2 e 3. No cenário 2 as seguintes variáveis assumem seu valor de pandemia: $v_{h,t}$, Ξ , $v_{l,t}$, v_{pk} , g , j , e Δt . E no cenário 3, além das variáveis do cenário 2 assumirem seu valor de pandemia, as seguintes

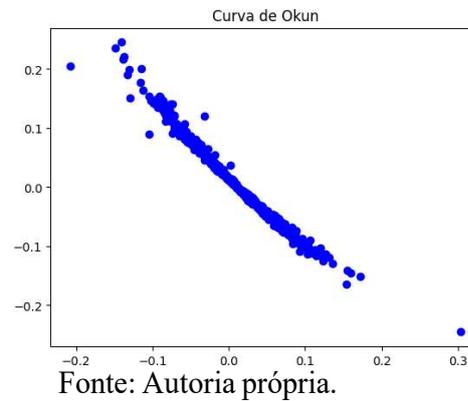
variáveis também o fazem: n , e Ω , sendo que o parâmetro B_t é diferente de zero neste terceiro cenário.

A validação do modelo é dada principalmente pela validação estrutural. De acordo com Fagiolo et al. (2019) a validação estrutural depende da capacidade do modelo baseado em agentes de replicar os fatos estilizados e das heurísticas utilizadas para realizar o modelo. Na validação estrutural, este modelo se valida de 2 formas: pelo *Input Validation* e *Output validation*.

No caso do *Input validation*, as informações usadas para modelar e os parâmetros do modelo são as principais fontes de validação. Em relação à modelagem, as heurísticas e comportamentos dos agentes que compõem o modelo foram testadas ou foram baseadas em comportamentos dos agentes que compõem a economia real. (FAGIOLO et al., 2019) O mercado de trabalho do modelo replica a rigidez nominal de queda dos salários. Esta rigidez também é vista no mundo real em trabalhadores recém-contratados, e é teorizado que este fato estilizado exista pelo medo das firmas de que salários menores aumentariam pedidos de demissão e diminuiriam produtividade do trabalho, outros autores teorizam que esta rigidez nominal seja uma instância de ilusão monetária. No mercado financeiro, a equação 21 junto à prática de mudar a taxa de juros de toda a dívida é baseada na teoria de prêmio externo que diz que o banco incorre o alto custo de verificar a fragilidade financeira da firma, assim quando é necessário rever a fragilidade, a firma é cobrada uma taxa de juros maior. No mercado de bens de consumo, as firmas alteram ou seu preço, ou sua quantidade: esta heurística é baseada em um questionário de ajustamento de preço e quantidade de firmas em relação ao ciclo de negócios, e o consumo das famílias está em linha com a teoria da renda permanente e teoria do ciclo de vida, nas quais a família consome de acordo com sua renda permanente (Assenza; Gatti; Grazzini, 2014; Gatti; Desiderio; Cirillo, 2011).

A validação *a posteriori* do modelo, ou seja, via *Output Validation*, é dada pela replicação de fatos estilizados da economia. O modelo replica uma curva de Okun negativamente inclinada, como pode ser vista na figura 10, que se repete ao longo dos três cenários, a economia apresenta uma movimentação cíclica de alta frequência caracterizada por uma alta volatilidade, por conta dos desencontros da oferta e demanda na economia, como pode ser visto na figura 15, 19 e 27.

Figura 10 – Cenário 1 - Curva de Okun



A seguir é apresentado o *output* do modelo MABM para cada um dos cenários.

5.1 CENÁRIO 1

O cenário 1 é um cenário base para entender as propriedades do modelo. Todos os *outputs* do modelo têm uma alta volatilidade por conta do fato que a economia foi modelada para haver desencontros entre a oferta e a demanda constantemente.

Figura 11 – Cenário 1 - Desemprego

Fonte: Autoria própria.

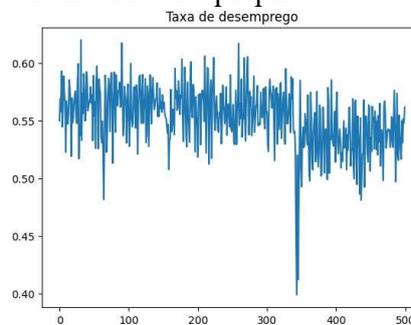
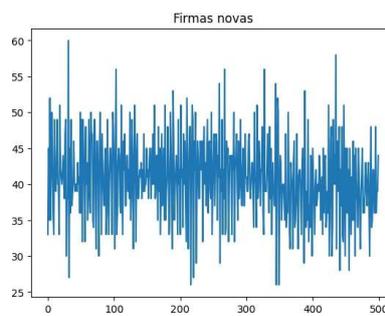


Figura 12 – Cenário 1 - Entrada de novas firmas

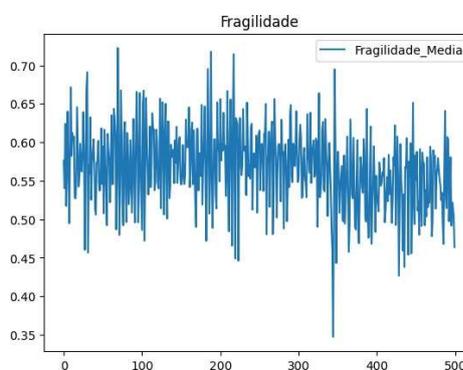


Fonte: Autoria própria

O desemprego apresenta alguns *outliers* advindos dos desencontros de oferta e demanda. É possível ver na figura 11 que a economia se adaptou entre o período 300 e 400 da análise para uma posição com menor desemprego na economia. A entrada de firmas no mercado, como visto na figura 12, é caracterizada por uma volatilidade heterogênea e está altamente relacionada à fragilidade financeira média, representada pelo gráfico 13 no qual picos desta série da economia virtual coincidem com os picos da entrada das firmas.

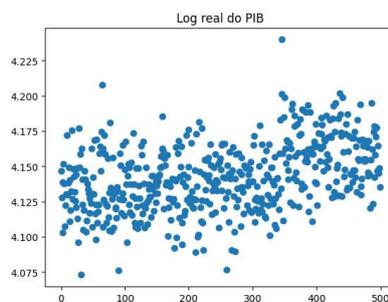
É possível verificar a relação entre o desemprego, a produção, o logaritmo do PIB real e a quantidade vendida. Por conta de uma melhor organização do mercado, as firmas contrataram mais funcionários, diminuindo o desemprego, o que por sua vez elevou a produção como vista na figura 15 que apresenta um salto. Este aumento de funcionários possibilitou uma renda maior das famílias, aumentando as quantidade vendidas das empresas, vista na figura 16. Esta dinâmica é refletida no PIB da economia, que começa a apresentar um novo patamar de produto, como visto na figura 14. A inflação do modelo é extremamente próxima de zero com alguns períodos com *outliers*, assim o PIB real é uma aproximação do PIB nominal.

Figura 13 – Cenário 1 - Fragilidade financeira



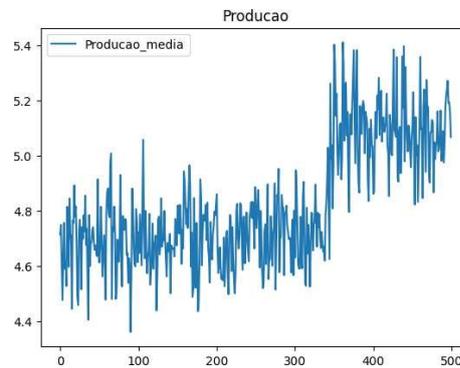
Fonte: Autoria própria

Figura 14 – Cenário 1 - Logaritmo do PIB real



Fonte: Autoria própria

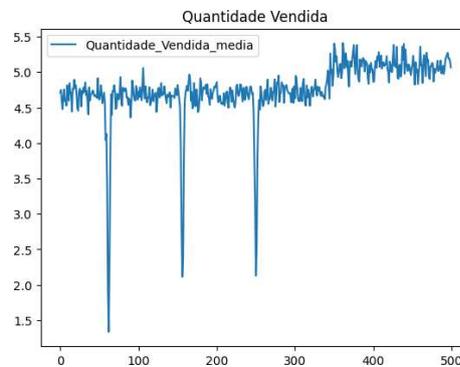
Figura 15 – Cenário 1 - Produção



Fonte: Autoria própria

Em nenhum dos cenários foi verificada uma mudança grande no orçamento para consumo das famílias, este fato se decorre das famílias não terem uma poupança nestes períodos no modelo. Assim como também não houve uma diferença entre o lucro das empresas, que em média apresentam consistentemente lucros negativos ou zero.

Figura 16 – Cenário 1 - Quantidade Vendida



Fonte: Autoria própria

Este choque endógeno no modelo advém de uma nova organização interna do modelo, sendo causada por um aumento dos salários das famílias advindo do salário mínimo. Estas reestruturações internas são uma constante no modelo por conta dos encontros e desencontros dos mercados no modelo.

5.2 CENÁRIO 2

No segundo cenário, os choques pandêmicos acontecem. Sendo que nos gráficos estes choques ocorrem a partir do período 300 e terminam no período 400. Os choques de restrição sobre o mercado de trabalho se encerram 27 períodos após t^* . A restrição no mercado de

trabalho pode ser vista na figura 17, lembrando que apenas famílias Infectadas não participam do mercado de mão de obra.

Figura 17 – Cenário 2 - Dinâmica da pandemia

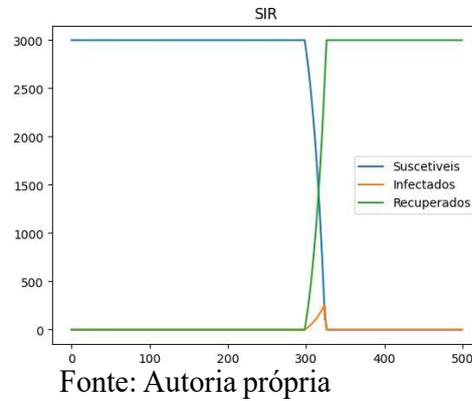


Figura 18 – Cenário 2 - Estoque de capital

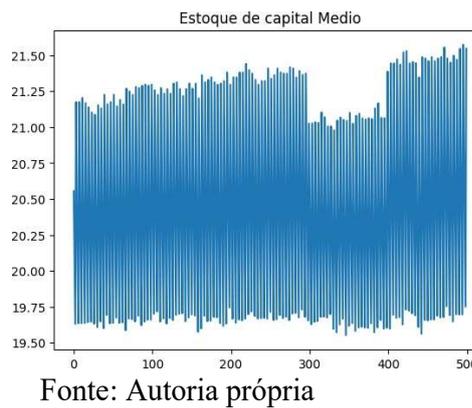
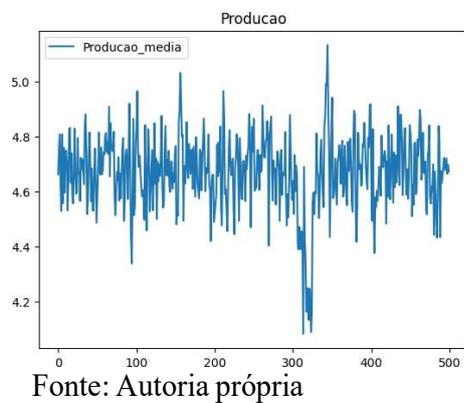
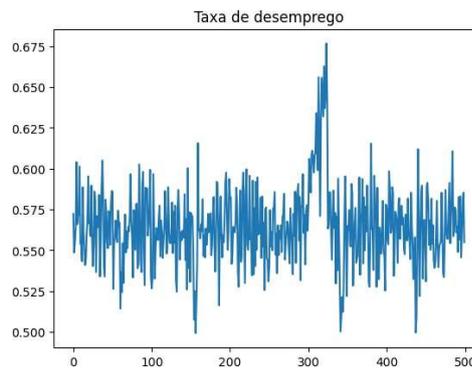


Figura 19 – Cenário 2 - Produção



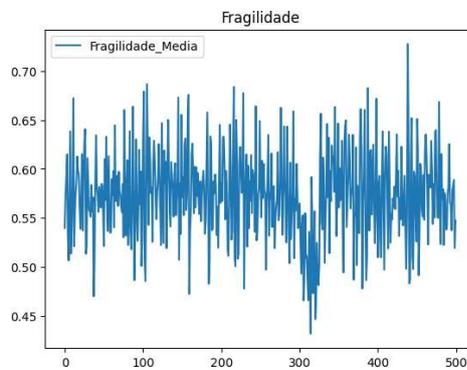
A modelagem dos estoques das firmas no modelo faz com que ela seja resiliente a choques sobre seu capital, como visto na figura 18, em que a firma em nenhum momento fica com capital negativo sobre o período do choque. Sendo assim, o principal choque que afeta a economia é a restrição sobre o mercado de trabalho, como pode ser visto através da figura 19 que apenas apresenta queda pelos primeiros 27 períodos do início do choque.

Figura 20 – Cenário 2 - Desemprego



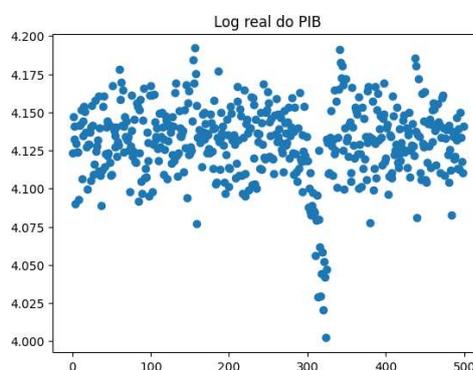
Fonte: Autoria própria

Figura 21 – Cenário 2 - Fragilidade financeira



Fonte: Autoria própria

Figura 22 – Cenário 2 - Logaritmo do PIB real



Fonte: Autoria própria

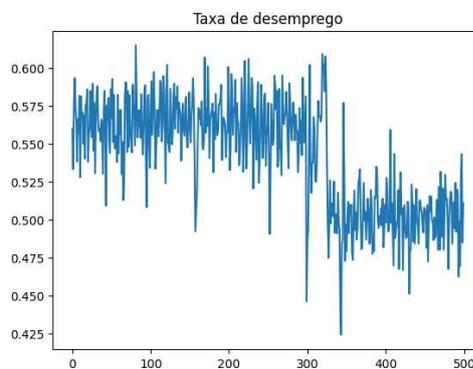
As figuras 19, 20, 21 e 22 apresentam os desdobramentos econômicos da restrição sobre o mercado financeiro. Havendo um aumento do desemprego, uma maior fragilidade das firmas, uma queda no Produto real da economia e uma queda na produção. É interessante notar que estes choques são maiores que o ajustamento da oferta e da demanda dos mercados. Logo após a primeira fase da crise caracterizada pelo modelo SIR, a economia volta ao seu funcionamento normal, pois os demais choques nesta estruturação da economia não têm muito efeito ou o efeito dos mesmos são mitigados. A quantidade vendida e a inflação da economia virtual não são afetadas por estes choques.

5.3 CENÁRIO 3

O terceiro cenário apresenta os mesmos choques que o segundo cenário, mas também apresenta um conjunto de políticas públicas que estimulam a demanda das famílias e facilitam a demanda por crédito das firmas.

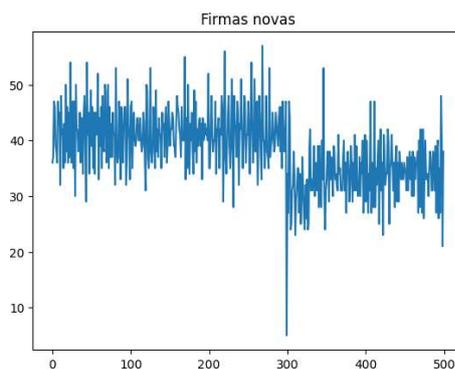
Como pode ser visto na figura 23, no início do choque o desemprego tem um pico, mas desta vez, por conta das políticas públicas, o pico não foi maior que os picos normalmente vistos por conta dos excessos de demanda e oferta da economia. Por conta das políticas terem continuado além do período do choque, o desemprego se mantém em um nível menor que o normalmente visto no modelo.

Figura 23 – Cenário 3 - Desemprego



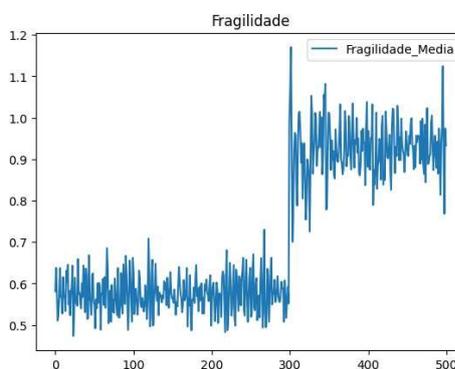
Fonte: Autoria própria

Figura 24 – Cenário 3 - Entrada de novas firmas



Fonte: Autoria própria

Figura 25 – Cenário 3 - Fragilidade financeira

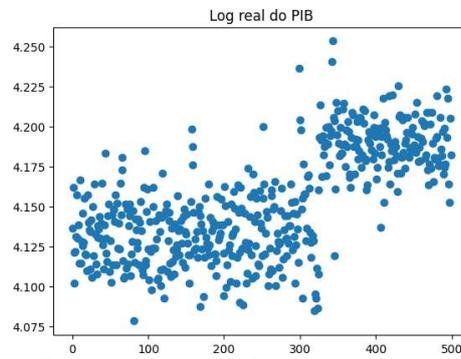


Fonte: Autoria própria

O número de firmas que entram no mercado diminui, como visto na figura 24, por conta da maior facilidade de crédito das empresas. E por conta desta política ser estendida até o final da simulação, o modelo encontra um novo patamar de novas firmas ingressantes na economia. A contrapartida deste movimento pode ser vista na figura 25, na qual é possível ver que agora as firmas

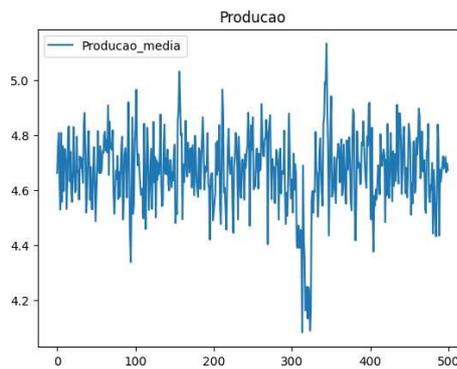
operam com um maior nível de crédito até o final do período.

Figura 26 – Cenário 3 - Logaritmo do PIB real



Fonte: Autoria própria

Figura 27 – Cenário 3 - Produção



Fonte: Autoria própria

A figura 26 mostra que com a transferência de renda a economia teve um salto em seu produto interno bruto real e a figura 27 mostra que a produção se manteve a mesma durante a crise. Contudo, ainda é possível ver como o choque restringindo o mercado de trabalho afeta em todos os cenários a produção. A quantidade vendida pelas firmas se manteve no mesmo patamar durante este cenário.

Visto os resultados da metodologia utilizada, o trabalho se volta para a análise de como estes resultados se relacionam com os demais resultados da literatura.

6 DISCUSSÃO

A economia americana durante 2020 e 2021 passou por choques não só de natureza econômica, mas também de natureza epidemiológica, a qual limitou a produção de bens e serviços. Esta limitação acarretou mudanças nas cadeias globais de produção, intensificadas pelo *Bullwhip effect* e *Ripple effect*. Este momento econômico é importante, pois demonstra a necessidade de estudo e incorporação de cadeias produtivas em modelos econômicos. Este estudo se encontra nesta literatura buscando modelar os efeitos diretos e indiretos dos choques adversos da pandemia na economia americana. Foram constatados os seguintes perturbações: choques epidemiológicos sobre o mercado de trabalho, choques nas cadeias produtivas integradas, choques na incerteza dos agentes e choques de políticas monetárias e fiscais expansionistas.

A necessidade de uma modelagem focada na dinâmica epidemiológica advém da forma que o choque no mercado de trabalho se deu. Houve restrições físicas nas quais os funcionários não podiam trabalhar, pois o trabalho representava um risco de vida. Assim, não sendo um choque tradicional econômico no qual a demanda ou a oferta se deslocam, mas sim alterando a inclinação destas curvas e causando a inelasticidade da oferta de trabalho, moldando a curva de oferta de produtos das firmas também para uma forma mais inelástica.

As dinâmicas das cadeias produtivas foram alteradas com estes "engessamentos", pois com a diminuição ou incapacidade de produção as firmas *upstream* não conseguem atender seus clientes, acarretando diminuição da produção das firmas *downstream* mesmo se não estiverem tendo choques pandêmicos. Estes choques se espalham pelas redes produtivas, causando a necessidade da criação de inventários, ou seja, aumentando a demanda das firmas *downstream* por insumos e bens de capital e intensificando ainda mais os efeitos dos choques por conta da inelasticidade da produção das firmas ao topo das cadeias produtivas, demonstrando então o *Bullwhip effect*. E caso estas firmas não puderem se manter financeiramente, e declararem falência, as demais firmas ligadas a ela produtivamente agora precisam achar outra firma que abasteça suas necessidades, podendo causar uma nova leva de falências, caracterizando o *Ripple effect*.

A incerteza no ambiente econômico no período é alta, o que forçou a retração da demanda das famílias mesmo com políticas de transferência de renda. Estas políticas de transferência de renda foram acompanhadas de uma política monetária que possibilitou as firmas do país a terem um endividamento maior para conseguirem se manter durante o período.

Este trabalho avança a literatura por realizar um modelo focado nestes choques epidemiológicos e choques produtivos ao mesmo tempo, tendo heterogeneidade de salário e mercado de trabalho para a economia americana. Os resultados do modelo corroboram com a literatura sobre a necessidade

de uma cadeia produtiva mais robusta que medidas fiscais tem suas limitações em relação a alguns choques de natureza não tradicional, como o "engessamento" do mercado de trabalho por conta da epidemia.

O modelo apresenta um recorte específico da economia americana, tratando como se todas as firmas fossem *downstream*, e tivessem um estoque alto de bens de capital. O modelo não apresenta todos os fatos estilizados que demais modelos da família CATS apresentam, contudo, este modelo abre portas para esta literatura por ser um dos primeiros modelos focado em choques epidemiológicos e choques produtivos que ainda apresenta heterogeneidade de salário e mercado de trabalho. Além disso, este é um dos primeiros textos sobre esta literatura com a metodologia ABM em português do Brasil. Ainda há muito a ser feito nesta literatura, e sugere-se que os próximos passos seriam: expandir a modelagem para ter um arcabouço mais rico de fatos estilizados; estudar o papel dos estoques nos choques produtivos; e uma calibração formal do modelo para que os parâmetros sejam estimados ao invés de serem calibrados indiretamente.

O modelo demonstra a necessidade de uma cadeia produtiva mais robusta a choques, já que estes choques foram mitigados por conta do estoque de capital formado pelas firmas, que serviram como um amortecedor, permitindo que as firmas não diminuíssem sua produção ao longo de todos os períodos da pandemia. Esta robustez pode advir dos estoques das firmas como também pode vir da substituição de firmas *upstream* que se encontram em *lockdown* por outras firmas que realizem o mesmo bem e não se encontrem com limitação da produção. Estes desenhos de redes de produção são menos eficientes que as estruturas enxutas, mas são capazes de mitigar os choques advindos da limitação de bens de capitais e de insumos.

A dinâmica do modelo também demonstra as limitações das políticas fiscais em relação a choques que "engessem" o mercado de trabalho. Em relação ao curto prazo, a queda da oferta de bens de consumo não é menor pela presença de incentivos a demanda por bens de consumo, mas sim pode ser agravada por este incentivo, pois a oferta da firma está inelástica ou perfeitamente inelástica no momento por conta da restrição no mercado de trabalho.

Os resultados encontrados corroboram com o resultado de Chetty, Friedman e Stepner (2020) que no momento inicial da pandemia, no qual o mercado de trabalho está com restrições por conta dos *lockdowns*, as políticas públicas não têm capacidade de mitigar os choques de restrição sobre a mão de obra. Apesar deste choque inicial não poder ser mitigado com políticas fiscais, as políticas econômicas do cenário 3 são importantes para aliviar os efeitos econômicos da pandemia no curto prazo, diminuindo o tempo de baixa produção na pandemia, como pode ser visto na diferença entre as produções do cenário 2 e 3: respectivamente as figuras 19 e 27, corroborando com os achados de Gatti e Reissl (2020).

Diferente dos resultados de Sharma et al. (2021), o modelo demonstra que a facilidade de crédito das empresas não tem um papel grande na recuperação, já que na figura 21 é visto que logo após o choque no mercado de trabalho a economia volta ao patamar anterior. E segundo a figura 25, o aumento da facilidade de crédito aumenta o patamar de endividamento das firmas. Também diferente de Gatti e Reissl (2020), o modelo demonstra que a economia no longo prazo volta ao patamar anterior de produção, como visto na figura 19, assim não havendo uma contratação de longo prazo.

O modelo não apresenta firmas com estoque de capital "*just in time*", ou seja, estoques mínimos apenas para a produção dos períodos necessários, mas sim um estoque grande tal qual os choques de oferta da firma de bens de capital não afetam sua produção. O modelo corrobora com a ideia de que caso as firmas da economia tivessem um estoque de capital maior, elas não teriam tantos problemas à medida que se tornariam mais robustas. E por conta deste fato, o modelo não corrobora com os resultados de Inoue, Murase e Todo (2021) de que países precisariam ter políticas conjuntas de retirada de *lockdowns* para não haver perda econômica. Caso as firmas tenham um estoque alto de capital, este efeito é mitigado, como visto na figura 18. Os resultados apresentados sobre as cadeias produtivas corroboram com os resultados de Gatti e Grugni (2021) no qual cadeias produtivas mais enxutas, ou seja, sem estoques entre as firmas na cadeia de produção ou sem firmas mais de uma firma *upstream* que produzem o mesmo insumo ou bem de capital, não são ótimas para o mercado caso o mercado esteja tendo eventos que causem disrupções ao longo destas cadeias produtivas.

Visto os resultados do modelo e como eles se relacionam com a literatura, é recomendado que políticas públicas sejam criadas para que as cadeias produtivas integradas se tornem mais robustas, assim realizando um *trade off* entre robustez e eficiência para estas redes. Também é recomendada a criação de protocolos de segurança para os trabalhadores, para que o mercado de trabalho não se volta a tornar tão inelástico como esteve.

7 CONCLUSÃO

Este trabalho apresenta um modelo macroeconômico baseado em agentes com foco na dinâmica epidemiológica e nas cadeias produtivas integradas. O modelo demonstra a importância da robustez das cadeias produtivas, a medida que a robustez permite que uma firma *downstream* possa ser menos afetada por uma crise nas cadeias de produção caso ela tenha um estoque *a priori* de bens de capital ou insumos advindos de firmas *upstream*, agindo como um amortizador dando tempo para a firma se adaptar à nova realidade.

Também é vista a dificuldade de políticas monetárias lidarem com choques não tradicionais na economia, nas quais estímulos a demanda de bens finais não são capazes de limitar um choque que restringe as famílias de acessarem o mercado de mão de obra, ou de realizarem trabalhos. Assim, criando uma curva mais inelástica de oferta de trabalho que acaba gerando uma curva mais inelástica de produtos finais e produtos intermediários no curto prazo. Causando efeitos sobre as cadeias produtivas integradas, que, por sua vez, retroalimentam estas curvas inelásticas de oferta.

Segundo os resultados do modelo e com o resto da literatura, é recomendado que o governo crie políticas públicas que provenham robustez às cadeias produtivas, seja por incentivar a criação de estoques em momentos nos quais a oferta das firmas não estejam tão inelásticas, ou seja, por incentivar a existência um mercado de bens intermediários e de capital com mais firmas, assim caso houver choques nestas cadeias produtivas as firmas *downstream* podem optar por comprar de outras empresas, assim mitigando os efeitos destes choques. Outra recomendação do trabalho é a criação de protocolos de segurança para as famílias tais que elas não tenham restrições no mercado de trabalho, pois como é visto nos resultados, especificamente na figura 27, choques de restrição no mercado de trabalho não são facilmente resolvidos por políticas econômicas tradicionais.

É sugerido que pesquisas futuras busquem expandir a modelagem para criar um arca-bouço mais rico de fatos estilizados que consiga replicar e estudar o papel dos estoques nos choques produtivos e aplicar a calibração formal ao modelo para que os parâmetros sejam estimados ao invés de serem calibrados indiretamente.

REFERÊNCIAS

ARMANTIER, O. et al. How economic crises affect inflation beliefs: Evidence from the covid-19 pandemic. *Journal of Economic Behavior Organization*, [S.l.], v. 189, p. 443–469, 2021.

ASSENZA, T.; GATTI, D. D.; GRAZZINI, J. Emergent dynamics of a macroeconomic agent based model with capital and credit. *CESifo*, [S.l.], n. 4765, p. 1–48, 2014. CESifo Working Paper No. 4765. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/10419/96880>>. Acesso em: 15 dez. 2022.

AUER, R. A.; MEHROTRA, A. Trade linkages and the globalisation of inflation in asia and the pacific. *Journal of International Money and Finance*, [S.l.], v. 49, n. 12, p. 129–151, 2014.

BECKMANN, J. et al. Rising inflation: Transitory or cause for concern? *Policy Department for Economic, Scientific and Quality of Life Policies*, [S.l.], 2021. Monetary Dialogue Papers. Disponível em: <[https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/STUD/2021/695453/IPOL_STU\(2021\)695453_EN.pdf](https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/STUD/2021/695453/IPOL_STU(2021)695453_EN.pdf)>. Acesso em: 15 dez. 2022.

CARDANI, R. et al. The euro area's pandemic recession: A dsge-based interpretation. *Journal of Economic Dynamics and Control*, [S.l.], v. 143, n. 1, p. 94–130, 2022. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0165188922002160>>. Acesso em: 15 dez. 2022.

CARROLL, C. D. Buffer-stock saving and the life cycle/permanent income hypothesis. *The Quarterly Journal of Economics*, Oxford, Reino Unido, v. 112, n. 1, p. 1–55, 1997. Disponível em: <<http://www.jstor.org/stable/2951275>>. Acesso em: 15 dez. 2022.

CAVALLO, A. Inflation dynamics during covid-19. *National bureau of economic research*, Boston, Massachusetts, Estados Unidos, n. 3, 2021. Disponível em: <<https://www.nber.org/reporter/2021number3/inflation-dynamics-during-covid-19>>. Acesso em: 15 dez. 2022.

CAVALLO, A.; KRYVTSOV, O. What can stockouts tell us about inflation? evidence from online micro data. *National Bureau of Economic Research*, Cambridge, Massachusetts, Estados Unidos, p. 1–39, 2021. Working Paper 29209. Disponível em: <<https://www.nber.org/papers/w29209>>. Acesso em: 15 dez 2022.

CELASUN, O. et al. Supply bottlenecks: Where, why, how much, and what next? *International Monetary Fund*, [S.l.], n. 2022/031, p. 1–51, 2022. International Monetary Fund Working Paper No. 2022/031. Disponível em: <<https://www.imf.org/en/Publications/WP/Issues/2022/02/15/Supply-Bottlenecks-Where-Why-How-Much-and-What-Next-513188>>. Acesso em: 15 dez. 2022.

CHETTY, R.; FRIEDMAN, J. N.; STEPNER, M. The economic impacts of covid-19: Evidence from a new public database built using private sector data. *National Bureau of Economic Research*, Cambridge, Massachusetts, Estados Unidos, n. 27431, p. 1–135, 2020. Working Paper 27431. Disponível em: <<https://www.nber.org/papers/w27431>>. Acesso em: 15 dez. 2022.

COIBION, O.; GORODNICHENKO, Y.; WEBER, M. How did u.s. consumers use their stimulus payments? *National Bureau of Economic Research*, [S.l.], n. 27693, p. 1–38, 2020. Working Paper 27693. Disponível em: <<http://www.nber.org/papers/w27693>>. Acesso em: 15 dez. 2022.

DAWID, H.; GATTI, D. D. Agent-based macroeconomics. In: HOMMES, C.; LEBARON, B. (Ed.). *Handbook of Computational Economics*. [S.l.], 2018. v. 4, p. 63–156. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1574002118300066>>. Acesso em: 15 dez. 2022.

DOLGUI, A.; IVANOV, D.; SOKOLOV, B. Ripple effect in the supply chain: an analysis and recent literature. *International Journal of Production Research*, [S.l.], v. 56, n. 1, p. 414–430, 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.1080/00207543.2017.1387680>>. Acesso em: 15 dez. 2022.

DOSI, G. et al. Rational heuristics? expectations and behaviors in evolving economies with heterogeneous interacting agents. *Economic Inquiry*, [S.l.], v. 58, n. 3, p. 1487–1516, 2020. Disponível em: <<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/ecin.12897>>. Acesso em: 15 dez. 2022.

FAGIOLO, G. et al. Validation of agent-based models in economics and finance. In: BEISBART, C.; SAAM, N. J. (Ed.). *Computer Simulation Validation: Fundamental Concepts, Methodological Frameworks, and Philosophical Perspectives*. [S.l.], 2019. p. 763–787. Disponível em: <https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-70766-2_31>. Acesso em: 15 dez. 2022.

FAGIOLO, G.; ROVENTINI, A. Macroeconomic policy in dsge and agent-based models redux: New developments and challenges ahead. *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, v. 20, n. 1, p. 1–48, 2017. Disponível em: <<http://jasss.soc.surrey.ac.uk/20/1/1.html>>. Acesso em: 15 dez. 2022.

FERRANDO, A. et al. *Economic Bulletin Issue 8, 2021. European Parliament*. 2021. Disponível em: <<https://www.ecb.europa.eu/pub/economic-bulletin/html/eb202108.en.html#toc25>>.

GATTI, D. D.; DESIDERIO, E. G. S.; CIRILLO, M. G. P. *Macroeconomics from the Bottom-up*. [S.l.]: Springer Milano, 2011. Disponível em: <<https://doi.org/10.1007/978-88-470-1971-3>>.

GATTI, D. D.; GRUGNI, E. Breaking bad: supply chain disruptions in a streamlined agent-based model. *The European Journal of Finance*, [S.l.], v. 28, n. 13-15, p. 1446–1473, 2021. Disponível em: <<https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/1351847X.2021.1963300>>. Acesso em: 15 dez.

2022.

GATTI, D. D.; REISSL, S. Abc: An agent based exploration of the macroeconomic effects of covid-19. *CESifo*, [S.l.], n. 8763, 2020. CESifo Working Paper No. 8763.

Disponível em:

<<https://papers.ssrn.com/abstract=3748964>>. Acesso em: 15 dez. 2022.

INOUE, H.; MURASE, Y.; TODO, Y. Do economic effects of the anti-covid-19 lockdowns indifferent regions interact through supply chains? *PloS one*, [S.l.], v. 16, n. 7, p. 1–17, 2021. Disponível em: <<https://europepmc.org/articles/PMC8323942>>. Acesso em: 15 dez. 2022.

KANTUR, Z.; ÖZCAN, G. What pandemic inflation tells: Old habits die hard.

Economics Letters, Turkey, v. 204, p. 1–4, 2021. Disponível em:

<<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0165176521001841?via%3Dihub0>>.

Acesso em: 15 dez 2022.

NAHMIAS, S.; SCHMIDT, C. P. An efficient heuristic for the multi-item newsboy problem with a single constraint. *Naval Research Logistics Quarterly*, v. 31, n. 3, p. 463–474, 1984. Disponível em: <<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/nav.3800310311>>. Acesso em: 15 dez. 2022.

PICHLER, A. et al. Production networks and epidemic spreading: How to restart the uk economy? *SSRN Electronic Journal*, [S.l.], p. 1–73, 2020. Disponível

em: <<https://papers.ssrn.com/abstract=3606984>>. Acesso em: 15 dez. 2022.

REES, D.; RUNGCHAROENKITKUL, P. *BIS Bulletin No 48 Bottlenecks: causes and macroeconomic implications*. 2021. Disponível em:

<<https://www.bis.org/publ/bisbull48.pdf>>.

SHAMIL, M. S. et al. An agent-based modeling of covid-19: Validation, analysis, and recommendations. *Cognitive Computation*, [S.l.], p. 1–12, 2021. ISSN 18669964.

Disponível em: <<https://link.springer.com/article/10.1007/s12559-020-09801-w>>. Acesso em: 15 dez. 2022.

SHARMA, D. et al. V-, u-, l- or w-shaped economic recovery after covid-19: Insights from an agent based model. *PLOS ONE*, [S.l.], v. 16, n. 3, p. 1–22, 2021. Disponível em: <<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0247823>>. Acesso em: 15 dez. 2022.

SQUAZZONI, F. et al. Computational models that matter during a global pandemic outbreak: A call to action. *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, S.l., v. 23, n. 2, p. 1–14, 2020. ISSN 1460-7425. Disponível em: <<https://www.jasss.org/23/2/10.html>>. Acesso em: 15 dez. 2022.

SWITKES, J. A modified discrete sir model. *The College Mathematics Journal*,

Mathematical Association of America, v. 34, n. 5, p. 399–402, 2003. ISSN 07468342, 19311346. Disponível em: <<http://www.jstor.org/stable/3595827>>. Acesso em: 15 dez. 2022.

TESFATSION, L. Agent-based computational economics: A constructive approach to

economictheory. In: TEFATSION, L.; JUDD, K. L. (Ed.). *Handbook of Computational Economics*. [S.l.], 2006. v. 2, p. 831–880. Disponível em:
<<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1574002105020162>>.

VRIEND, N. J. Ace models of endogenous interactions. In: TEFATSION, L.; JUDD, K. L.(Ed.). *Handbook of Computational Economics*. [S.l.], 2006. v. 2, p. 1047–1079. Disponível em:
<<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1574002105020216>>. Acesso em: 15 dez.2022.

WILENSKY, U.; RAND, W. *An Introduction to Agent-Based Modeling: Modeling Natural, Social, and Engineered Complex Systems with NetLogo*. Cambridge, Massachusetts, Estados Unidos: The MIT Press, 2015. ISBN 9780262731898. Disponível em:
<<http://www.jstor.org/stable/j.ctt17kk851>>. Acesso em: 15 dez. 2022.