

# POLICYSPACE2

MODELANDO MERCADO IMOBILIÁRIO  
E POLÍTICAS PÚBLICAS

Bernardo Alves Furtado





# POLICYSPACE2

MODELANDO MERCADO IMOBILIÁRIO  
E POLÍTICAS PÚBLICAS

Bernardo Alves Furtado



## **Governo Federal**

### **Ministério da Economia**

**Ministro** Paulo Guedes

## **ipea** Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada

Fundação pública vinculada ao Ministério da Economia, o Ipea fornece suporte técnico e institucional às ações governamentais – possibilitando a formulação de inúmeras políticas públicas e programas de desenvolvimento brasileiros – e disponibiliza, para a sociedade, pesquisas e estudos realizados por seus técnicos.

#### **Presidente**

Carlos von Doellinger

#### **Diretor de Desenvolvimento Institucional**

Manoel Rodrigues Junior

#### **Diretora de Estudos e Políticas do Estado, das Instituições e da Democracia**

Flávia de Holanda Schmidt

#### **Diretor de Estudos e Políticas Macroeconômicas**

José Ronaldo de Castro Souza Júnior

#### **Diretor de Estudos e Políticas Regionais, Urbanas e Ambientais**

Nilo Luiz Saccaro Júnior

#### **Diretor de Estudos e Políticas Setoriais de Inovação e Infraestrutura**

André Tortato Rauen

#### **Diretora de Estudos e Políticas Sociais**

Lenita Maria Turchi

#### **Diretor de Estudos e Relações Econômicas e Políticas Internacionais**

Ivan Tiago Machado Oliveira

#### **Assessor-chefe de Imprensa e Comunicação**

André Reis Diniz

Ouvidoria: <http://www.ipea.gov.br/ouvidoria>

URL: <http://www.ipea.gov.br>

# POLICYSPACE2

MODELANDO MERCADO IMOBILIÁRIO  
E POLÍTICAS PÚBLICAS

Bernardo Alves Furtado



Rio de Janeiro, 2022

F992p Furtado, Bernardo Alves

PolicySpace2 : modelando mercado imobiliário e políticas públicas /  
Bernardo Alves Furtado. – Rio de Janeiro : IPEA, 2022.  
175 p. : il., gráfs., maps colors

Inclui referências bibliográficas.

ISBN: 978-65-5635-029-5

1. Mercado Imobiliário. 2. Políticas Públicas. 3. Método de Pesquisa. 4. Sistemas Complexos. 5. Brasil. I. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada.

CDD 320.0981

Ficha catalográfica elaborada por Andréa de Mello Sampaio CRB-1/1650

DOI: <http://dx.doi.org/10.38116/978-65-5635-029-5>

As publicações do Ipea estão disponíveis para *download* gratuito nos formatos PDF (todas) e EPUB (livros e periódicos).

Acesse: <http://www.ipea.gov.br/portal/publicacoes>

As opiniões emitidas nesta publicação são de exclusiva e inteira responsabilidade dos autores, não exprimindo, necessariamente, o ponto de vista do Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada ou do Ministério da Economia.

É permitida a reprodução deste texto e dos dados nele contidos, desde que citada a fonte. Reproduções para fins comerciais são proibidas.

## SUMÁRIO

<b>INTRODUÇÃO</b> .....	7
CAPÍTULO 1	
<b>LITERATURA</b> .....	13
CAPÍTULO 2	
<b>MECANISMOS E INTUIÇÃO DO <i>POLICYSPACE2</i></b> .....	27
CAPÍTULO 3	
<b>MÉTODOS: <i>POLICYSPACE2</i></b> .....	39
CAPÍTULO 4	
<b>VALIDAÇÃO, AVALIAÇÃO E PRIMEIROS RESULTADOS</b> .....	85
CAPÍTULO 5	
<b>ANÁLISE DE SENSIBILIDADE: DESCRIÇÃO E ANALOGIAS</b> .....	105
CAPÍTULO 6	
<b>TESTE DE POLÍTICA PÚBLICA: SUBSÍDIOS À COMPRA DE IMÓVEIS, PAGAMENTO DE ALUGUÉIS OU AUXÍLIO PECUNIÁRIO?</b> .....	139
CAPÍTULO 7	
<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	161
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	165
<b>APÊNDICE</b> .....	175



## INTRODUÇÃO

O mercado imobiliário é intrinsecamente convoluto, da botânica, enrolado, com as folhas enroscando-se em cilindros. A analogia parece fazer sentido. O mercado imobiliário envolve elementos diversos com ajustes assíncronos: ciclos econômicos, variação nos juros e nos níveis de liquidez financeira; decisões intertemporais das famílias; escolhas de investidores; regulação e zoneamento urbanos; construção civil; e localização de empregos, amenidades, vizinhanças, percepções e preferências. Além disso, imóveis são bens duráveis, com altos custos de transação, relativamente caros, usualmente indivisíveis, com localização singular (monopolística) e heterogêneos.

Há vasta literatura que analisa mercados imobiliários. O texto seminal e referência de economia urbana consolida o modelo de escolha econômica racional (Dipasquale e Wheaton, 1992). De forma abstrata e diagramática, os autores propõem um modelo de equilíbrio espacial que combina mercados de ativos financeiros e de imóveis, mediados pela capacidade do mercado de construção civil de ajustar o estoque.

Trabalhos empíricos, entretanto, sugerem que juros correntes no mercado financeiro não se refletem totalmente nos preços dos imóveis, o que sugeriria mercados ineficientes (Case e Shiller, 1989). De outra forma, pode-se dizer que há variância excessiva dos preços em relação aos fundamentos (Glaeser *et al.*, 2014). Nesse sentido, há algum consenso de que os modelos disponíveis não capturam as volatilidades e heterogeneidades intrínsecas a esse mercado (Davis e Nieuwerburgh, 2015; Glaeser e Nathanson, 2015).

Esse entendimento se reforça após a crise de crédito imobiliário da década de 2000. A volatilidade inesperada fomentou uma série de revisões da literatura no intuito de identificar o que se sabe e o que se desconhece sobre o comportamento geral dos mercados imobiliários. Em relação à influência do mercado de crédito e do financiamento imobiliário, por exemplo, Chan, Haughwout e Tracy (2015) notam que a estrutura de custo do usuário indica a direção da demanda em momentos de crescimento. Todavia, a magnitude e a localização da mudança não se refletem nos modelos correntes. A análise sugere que os modelos de equilíbrio espacial baseados em escolhas racionais teriam alcance limitado (Glaeser e Nathanson, 2017).

Essa dificuldade dos modelos tradicionais de economia urbana de lidar com múltiplos fatores impactantes de maneira simultânea subsidiou a ampliação do campo epistemológico e a busca por contribuições de outras disciplinas e métodos analíticos.

Entre essas buscas por integração e alternativas metodológicas para compreender o mercado imobiliário, ressaltamos três vertentes: uma com fundamentos na economia tradicional, cuja intenção é expandir o entendimento das finanças e abarcar liquidez e crédito com viés mais empírico (Davis e Nieuwerburgh, 2015; Leamer, 2015; Saiz, 2019); outra com foco na questão espacial e urbana, na transformação dinâmica de usos, abordando uso do solo, integração com transportes, sua capacidade de geração de novos usos e alteração do padrão de ocupação e planejamento urbano (Waddell *et al.*, 2018a; 2018b); e uma terceira que analisa a macroeconomia do ponto de vista computacional, alterando essencialmente a metodologia (Dawid *et al.*, 2012; Dawid e Gatti, 2018).

Além desses esforços de integração, outros autores propuseram modelos computacionais iniciais que replicassem os fundamentos e os dados empíricos observados do mercado imobiliário (Baptista *et al.*, 2016; Geanakoplos *et al.*, 2012). Esses trabalhos enfatizaram a volatilidade financeira, a relevância dos mercados de ativos e as possibilidades de ação prudencial macroeconômica para o gestor financeiro encarregado das contas públicas.

No âmbito da análise dinâmica espacial, a modelagem computacional, denominada de modelo de conversão do uso do solo e transporte (*land-use change and transport model* – LUT), possui uma tradição e um histórico de aplicações mais consolidados (Engelen, White e Uljee, 1997; Filatova, Parker e Veen, 2009; Parker *et al.*, 2003). Tradicionalmente, modela-se a evolução da conversão de usos agrícolas em urbanos, industrialização e desindustrialização, bem como alterações na composição de áreas verdes em geral. Mais recentemente, esses modelos incorporaram dinâmicas imobiliárias associadas ao planejamento da estrutura de transportes (Waddell, 2011; Waddell, Wang e Liu, 2008).

Nesse contexto, *PolicySpace2* é um modelo computacional, primordialmente endógeno, empírico, dinâmico e espacial, que inclui financiamento imobiliário, construção civil, arrecadação e distribuição de impostos, mercados de trabalho, de bens e serviços e imobiliário para regiões metropolitanas brasileiras. A plataforma permite compreender mecanismos do mercado imobiliário, de modo que alterações em determinado comportamento gerem efeitos nos indicadores do modelo. Adicionalmente, *PolicySpace2* permite testes de investimento de recursos endógenos em políticas públicas de habitação alternativas: transferência de imóveis, pagamento de aluguel ou de auxílio monetário para as famílias.

Em suma, a partir da descrição empírica do *status quo* em 2010, indivíduos, famílias e imóveis são gerados probabilisticamente e alocados espacialmente. Na sequência, a cada mês, famílias e firmas interagem nos mercados de bens, de trabalho e de imóveis, mediadas por: empréstimos, depósitos bancários e remuneração de investimentos; localização; e mobilidade de trabalhadores entre

essas firmas e famílias e seus locais de residência. Desse modo, geram transações nos mercados, cujos impostos são coletados e reinvestidos nos municípios, caracterizando a marcante endogeneidade e dinamicidade do processo e fornecendo cenário de experimentos de políticas públicas, com comparabilidade relativa dos resultados.

*PolicySpace2* reúne três tipos de modelagem – econômica, uso da terra e transportes – de forma conjunta e integrada. Não conhecemos outra plataforma computacional do mercado imobiliário: i) que seja aberta (*open source*); ii) que contenha dados oficiais, organizados no nível intraurbano de áreas de ponderação do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), ou equivalente; iii) que explicita regras espaciais associadas a todos os mercados (de bens e serviços, de trabalho e imobiliário); iv) que inclua um sistema de aproximação tributária no nível municipal; v) cujos agentes de tomada de decisão sejam primordialmente as firmas e as famílias; e vi) cujos testes de políticas sejam feitos a partir do desenvolvimento endógeno de demanda e de oferta de recursos e de famílias.

Com isso, *PolicySpace2* se posiciona como um modelo capaz de correlacionar mecanismos de formação de preços de imóveis a partir de várias de suas influências:

- a composição e a localização das famílias;
- a produtividade e a localização das firmas do mercado de bens e serviços;
- a migração, a formação de novas famílias e a demografia;
- o sistema de crédito e a liquidez financeira;
- o mercado de trabalho e processos de seleção que consideram distância e qualificação; e
- a dinamicidade da entrada das famílias no mercado imobiliário e de firmas construtoras.

Adicionalmente, *PolicySpace2* é descrito de acordo com as práticas mais recentes e transparentes da literatura de modelagem baseada em agentes (*agent-based modeling* – ABM), seguindo o protocolo Visão Geral, Conceitos de Projeto e Detalhes (Overview, Design Concepts and Details – ODD) (Grimm *et al.*, 2020) e a sugestão TRACE<sup>1</sup> (Grimm *et al.*, 2014).

O desempenho do modelo *PolicySpace2* é avaliado sucessiva e cumulativamente conforme a seguir descrito.

- 1) Os processos e regras são inspirados e justificados de acordo com a literatura preexistente, explicitados ao longo da descrição do modelo.

---

1. Acrônimo para Transparent and Comprehensive Model Evaluation, cuja tradução livre seria Modelo Transparente e Completo de Avaliação.

- 2) É realizada extensiva e exaustiva análise de sensibilidade para testar tanto a inclusão ou ausência de regras e mecanismos – sensibilidade estrutural – quanto a robustez de resultados após a alteração de parâmetros. As simulações são feitas inúmeras vezes e os resultados são expressos como a média dos resultados de cada simulação.
- 3) Internamente, gráficos que retratam 66 indicadores são produzidos e garantem a observação do comportamento simultâneo de vários processos, estados e mecanismos.
- 4) O código em si não está isento de erros. Entretanto, vários testes, checagens, simulações e verificações foram repetidos ao longo do processo de modo a garantir a robustez dos resultados apresentados.
- 5) Os indicadores de comportamento macroeconômicos, tais como produto interno bruto (PIB), inflação, desemprego e coeficiente de Gini, se mantêm em patamares similares aos observados empiricamente.
- 6) Em relação ao mercado imobiliário, de forma específica, foi realizada uma comparação de dados de imóveis reais, coletados em 2020, com dados simulados. Considerando-se que não há inclusão de informação alguma do mercado imobiliário e que apenas dados oficiais de firmas e famílias são inseridos no início da simulação em 2010, o modelo se comporta razoavelmente bem, conseguindo replicar a primeira metade da distribuição de preços de imóveis para o caso testado do Distrito Federal.
- 7) O teste de implementação de política pública realizado apresenta resultados cuja lógica é passível de compreensão e explicação, a partir do entendimento do funcionamento do modelo.

Os mecanismos e a configuração do *PolicySpace2* sugerem que no mercado imobiliário o processo negocial, a oferta e o financiamento imobiliário são menos relevantes para a dinâmica de preços, quando comparados com a relevância da demanda das famílias e sua disponibilidade de recursos. Além disso, a localização das firmas e das famílias, em conjunção com a valorização da renda familiar da vizinhança, não parece se constituir como elemento suficiente para replicar exatamente o desenho espacial e da distribuição de preços imobiliários. Outros fatores não presentes no modelo – tais como o estoque de imóveis e suas características observadas no início da simulação ou a regulação do uso do solo – precisariam ser incluídos para que os resultados se mostrassem mais espacialmente fidedignos em relação aos observados.

A simulação do modelo *PolicySpace2*, em especial, parece confirmar a inexistência de um equilíbrio espacial perfeito no mercado imobiliário. De fato,

o mercado de aluguéis, dado o desenho do modelo, funciona como receptáculo das famílias que não possuem renda de forma perene e suficiente. A concepção também estabelece que o preço negocial inicial, com baixa possibilidade de descontos, é o preço de referência no qual o aluguel é uma proporção do preço de venda. Como o desenho do modelo também impõe que todas as famílias possuam um imóvel de residência, as famílias realizam o contrato, porém gastam parte superior a 30% da sua renda com aluguel, em proporção mais alta que o esperado. Eventualmente ainda é possível que a família não consiga realizar o pagamento ao locador.

A análise de alterações e intervenções passíveis de políticas públicas a serem testadas a partir do modelo sugere que, de fato, o mercado imobiliário apresenta a capacidade de dinamizar a economia como um todo e o faz quando há maior poupança disponível para as famílias, quando há maior participação das famílias no mercado, quando há influxo de famílias ou criação de novas famílias, quando aumenta a produtividade dos trabalhadores e se reduzem os impostos sobre os salários ou o consumo, ou ainda quando aumenta a eficiência da gestão municipal.

Outro fator que emerge da análise é a influência marcante da produtividade como mecanismo do modelo que é capaz de alterar os níveis da economia como um todo. Com isso, o estudo se junta a vários outros que identificam a produtividade como cerne do processo de melhoria do bem-estar econômico.

Os testes de políticas realizados refletem o investimento de parte da arrecadação municipal alternativamente em: i) comprar e transferir imóveis a famílias cadastradas e ordenadas, de modo a favorecer aquelas com menos recursos; ii) pagar o aluguel dessas famílias por um período de dois anos; ou iii) simplesmente realizar transferências em forma de auxílios monetários a todas as famílias cadastradas no “sistema” municipal endógeno. Considerando-se o PIB das regiões metropolitanas e o coeficiente de Gini, a melhor política é, sem dúvida, a distribuição (mais equânime) de recursos entre todas as famílias, *vis-à-vis* o pagamento de aluguel ou compra e a transferência de imóveis.

Por fim, *PolicySpace2* reforça os resultados obtidos na versão anterior (Furtado, 2018a). O modelo confirma o benefício em qualidade de vida para os cidadãos ao redistribuir de forma igualitária, e não local, os recursos fiscais arrecadados entre municípios metropolitanos.

Para além desta breve introdução geral, o capítulo 1 traz uma revisão da literatura recente do mercado imobiliário e define a ABM. A ABM é a metodologia na qual se baseia a construção do *PolicySpace2* enquanto plataforma de modelagem computacional. O capítulo 2 faz uma descrição intuitiva do *PolicySpace2* que permitirá ao leitor compreender as funcionalidades e limitações da plataforma. O capítulo 3 é metodológico, detalha o propósito do modelo, de

acordo com as sugestões do protocolo ODD (Grimm *et al.*, 2020), e contém os passos de 2 a 7, também previstos no protocolo. Em conjunto, esses passos oferecem uma visão geral, detalhando os processos e explicitando todas as regras, operações e o funcionamento do modelo. Todavia, uma vez que o processo de ODD é construído partindo do geral para o específico, o leitor interessado nas fórmulas e detalhes do modelo encontrará as informações na seção 7. O capítulo 4 apresenta tanto alguns fatos estilizados replicados pelo modelo quanto os dados utilizados para validar o modelo, seu confronto com os dados simulados e outros resultados gerais. O capítulo 5 realiza a análise de sensibilidade com vistas a possíveis alterações de políticas públicas, explorando as possibilidades do modelo *PolicySpace2*. Finalmente, o capítulo 6 faz testes de políticas de habitação e auxílio social e analisa o desempenho da região metropolitana de forma comparada. As considerações finais concluem o trabalho.

## LITERATURA

A revisão de literatura se divide em duas partes. A primeira faz uma descrição básica do mercado imobiliário e seus aportes para a construção do *PolicySpace2*; a segunda define a modelagem baseada em agentes (*agent-based modeling* – ABM) e apresenta as pesquisas realizadas e as possibilidades da metodologia para o tema.

### 1 MERCADO IMOBILIÁRIO

As residências são o maior componente do estoque de capital fixo. Para o caso brasileiro, Souza Júnior e Cornélio (2020) estimaram que os imóveis das famílias representam 33,5% do total de capital fixo para 2017.<sup>1</sup> Com metodologia similar, Morandi (2016) estimou a participação de construções como aproximadamente uma vez e meia o produto interno bruto (PIB), o que equivalia a quase R\$ 8 trilhões em 2014 (reais de 2010).

Adicionalmente, para as famílias, a compra do imóvel também é possivelmente seu gasto mais relevante (Dipasquale e Wheaton, 1996), gerando compromissos financeiros por períodos longos de tempo. Levando em conta que a aquisição de imóvel próprio é meta de muitas famílias – haja vista o nome *Minha Casa Minha Vida* – ou que o custo de pagamento do aluguel não seja superior a 30% da renda (FJP, 2018), a capacidade das famílias de arcar com os custos de moradia torna o tema relevante para as políticas públicas.

Nesse sentido, menor volatilidade e ausência de ciclos repentinos de altas e baixas nos preços também são de interesse. Nijskens *et al.* (2019) sugerem que o controle de picos de demanda localizada contribuiria no manejo dessa volatilidade.

Entretanto, isso não é só um problema local. Demanda adicional pode sobrevir de alterações nas taxas de financiamento imobiliário com barateamento no crédito, por exemplo – ou ainda da presença de investidores estrangeiros, ou da alteração do mercado de aluguéis (Ozel *et al.*, 2019). Ou seja, a volatilidade dos preços dos imóveis não advém somente do custo do financiamento, mas também de fatores exógenos.

---

1. Seguidos por 28,1% de infraestrutura e 18,1% de máquinas e equipamentos.

Além de peso significativo no orçamento das famílias e na riqueza do país, “[o] mercado imobiliário é um sistema dinâmico de processos intrincados, interdependentes e sobrepostos” (Jordan, Birkin e Evans, 2012, p. 511, tradução nossa).<sup>2</sup>

A discussão das complexidades do mercado imobiliário se inicia pela própria descrição do imóvel e suas características. A esse primeiro efeito se adicionam: i) as percepções dos usuários e o impacto dessas valorações no preço; ii) a relação do imóvel com a cidade e seu contexto espacial; e iii) a dinâmica de alteração desses fatores no tempo para uma estrutura que é durável.

Whitehead (1999) sintetiza as características do imóvel como bem durável e com custo de transação significativo, o que leva a processos de ajuste demorados e caros. Imóveis são heterogêneos e rígidos na sua localização, usualmente indivisíveis e, simultaneamente, itens de consumo e de investimento (Arnott, 1987). Finalmente, grande parte do estoque é fixa, com reposição lenta e percentualmente pequena, dependente do mercado de construção civil, caracterizando o que se costuma chamar de um “mercado fino” (Dipasquale e Wheaton, 1992).

Localização é fator central na identificação, valoração e usabilidade do imóvel. Para além de uma localização objetiva, tal como a distância ao centro (Alonso, 1964; Brueckner, 1987), a localização relativa – qual seja, o posicionamento em relação a outros imóveis – também contribui para valorações distintas. Mudanças no ambiente próximo a um imóvel impactam diretamente a percepção do seu valor, além de sua acessibilidade, visibilidade e funcionalidade. O imóvel é ao mesmo tempo a edificação em si e a sua inserção espacial.

Assim, o entorno do imóvel, as amenidades urbanas, os espaços abertos (parques, áreas verdes), as fábricas, os *shopping centers*, as estações rodoviárias e os *campi* universitários passam a ser considerados na formação do preço dos imóveis (Brueckner, Thisse e Zenou, 1999; Wheaton, 2004).

Na percepção do espaço urbano, essas amenidades que influenciam os imóveis podem ser condensadas na ideia de vizinhança ou bairro, como definidos por Galster (2001) ou Lynch (1960). O bairro do imóvel – ou, de forma mais genérica, sua inserção urbana – reflete a identificação da escala local das cidades. O acesso à cidade e a própria construção da cidade, com todas as suas benesses e os seus infortúnios (Bettencourt, 2013), são dados pelo entorno imediato do imóvel.

É o entorno que o vincula às possibilidades de interagir com inovação (Jacobs, 1970), ou à noção original de economias de aglomeração (Marshall, 1890), ao

---

2. “[The] housing market is a dynamic system of intricately woven interdependent processes”.

conceito de burburinho (Storper e Venables, 2005) e à quantificação desses valores de forma específica para o mercado imobiliário (Furtado, 2009).

A influência da localização do imóvel na formação dos preços vai além da localização desse imóvel em relação a outros imóveis, mas também a centros de emprego (Fujita, Krugman e Venables, 1999; Mills e Nijkamp, 1987; Steinnes, 1982) e ao sistema de transportes (Waddell, 2002), que modifica as distâncias relativas.

A tomada de decisão sobre o imóvel (e sua localização) depende da família enquanto unidade coletiva que reúne recursos financeiros e preferências. Arentze, Ettema e Timmermans (2010) examinaram de forma seminal a gestão da mobilidade individual, dadas as necessidades e preferências dos membros familiares. Em seguida, outros estudos aprofundaram a análise detalhando atividades individuais e a gestão integrada da sua mobilidade (Moeckel, 2017; Zhuge *et al.*, 2016).

Na prática, a proposição econômica corrente pressupõe que os preços dos imóveis seguem um equilíbrio espacial – decorrente da construção do modelo de Dipasquale e Wheaton (1996) – no qual as seguintes condições são todas equalizadas: i) oferta de estoque de imóveis e demanda de compradores para o mercado de vendas e de alugueis; ii) remuneração do imóvel e seu equivalente no mercado de ativos financeiros; e iii) salários e amenidades, comparativamente a outras localidades.

Entretanto, como os próprios Glaeser e Nathanson (2017) sugerem em seguida, dados empíricos não refletem essa construção teórica, devido principalmente a três fatores: i) “momento significativo”, ou seja, alterações rápidas de preços (para cima e para baixo), que, como um processo inercial, intensificam processos de altas e baixas; ii) reversão à média; e iii) “variância excessiva em relação aos fundamentos” (*op. cit.*, p. 1, tradução nossa).<sup>3</sup>

Esses fatores se originam na dificuldade dos participantes do mercado de adquirir uma visão completa ao observar os preços e também na tendência de utilizar dados históricos, com crenças datadas, digamos assim, para prever preços futuros.

Essa discussão se refere à compreensão do mercado como um todo, do comportamento dos preços médios e de sua correlação como ativos financeiros. Todavia, o mercado de imóveis é operado por “amadores” (Glaeser e Nathanson, 2017),<sup>4</sup> em um mercado sem preços publicitados (como os preços dos ativos na

---

3. “Excess variance relative to fundamentals”.

4. “Non-professionals”.

bolsa, por exemplo), com custo de operação alto, inviabilizando a compra e venda rápida de ativos (novamente, como ocorre no mercado de ações).

Em conjunto, essas características e dinâmicas específicas do mercado imobiliário tornam estimativas de preços idiossincráticas e dependentes de informação sobre demanda passada e futura; ritmo de reposição de estoques; comportamento futuro de juros e disponibilidade de crédito; informação local detalhada do imóvel em si e do seu entorno; temporalmente precisa. Todas essas necessidades em um mercado de cidadãos comuns (imóveis urbanos residenciais), que participam apenas eventualmente do mercado.

Independentemente da dificuldade de se valorar um imóvel corretamente, entretanto, o aparato legal de garantias, direitos e pagamento de impostos exige a informação precisa, decimal. No Brasil, a norma 14653-2:2011 da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) define procedimentos e métodos para essa avaliação (ABNT, 2011). Primeiro, a norma sugere a tipificação do imóvel com o uso (residencial, comercial, entre outros), o tipo (terreno, apartamento, casa, escritório, vaga, loja, galpão etc.) e a inserção entre outros imóveis (condomínio, prédio, conjunto). Na sequência, a norma sugere que o avaliador caracterize a região (conceito vago, que seria o equivalente a bairro ou vizinhança), bem como o terreno em si e o imóvel.

A norma recomenda preferencialmente o chamado “método comparativo direto de dados de mercado”.<sup>5</sup> Na prática, a metodologia implica a utilização de uma regressão de preços hedônicos (Rosen, 1974), na qual a variável dependente é o preço total ou unitário (em metros quadrados de área útil) e as variáveis independentes incluem as características físicas, as condições de pagamento (à vista ou a prazo, por exemplo), o “senso comum e outros atributos que se revelem importantes” (ABNT, 2011, p. 13).

De todo modo, a norma reconhece que há gradação no esforço de tempo despendido no processo de avaliação e na oferta de dados disponíveis, como específica este trecho: “A especificação de uma avaliação está relacionada tanto com o *empenho do engenheiro* de avaliações como com o mercado e as informações que possam ser dele extraídas” (ABNT, 2011, p. 21, grifo nosso).

A revisão da literatura, ainda que rápida, confirma de um lado a complexidade inerente ao mercado imobiliário, especialmente pela combinação de várias facetas de influência distantes umas das outras (mercado financeiro, expectativas futuras, características intrínsecas do imóvel em si e de sua localização, temporalidade de usufruto e dinâmica de alterações relevantes de influência); e de outro lado a

---

5. Adicionalmente, outros métodos baseados na geração de renda do imóvel também são sugeridos pela norma.

ausência de elementos teóricos que consigam abarcar de forma simultânea todos esses fatores.

Ao fim e ao cabo, “um preço único de imóvel não existe, e saber, exatamente, o preço corrente de qualquer imóvel em particular é praticamente impossível” (Glaeser e Nathanson, 2017, p. 7, tradução nossa).<sup>6</sup> De todo modo, ainda assim, esses autores sugerem que, sem conhecimento dos processos e ao custo de uma grande quantidade de dados históricos, é possível realizar previsões.

O *PolicySpace2*, entretanto, almeja incorporar todos esses fatores influenciadores do mercado imobiliário em uma só plataforma, com a grande maioria de efeitos endógenos, em um processo gerador de dados com processos de retroalimentação e dinâmica. Esses elementos intuitivamente são elencados na sequência (o detalhamento de fórmulas e processos está descrito no capítulo 3).

- 1) A incerteza da avaliação do preço correto do imóvel é dada pelo conhecimento local e reduzido de cada comprador. Todavia, como observado no mercado real, a construção do preço inicial se dá a partir das características intrínsecas do imóvel (tamanho e qualidade) e sua localização. O preço de transação considera ainda a poupança endógena dos compradores, relevante na determinação da proposta de compra.
- 2) A intenção de participar do mercado imobiliário é exógena, entretanto, a realização só ocorre quando a família tem poupança ou empréstimos, ambos endógenos, para arcar com os preços. As famílias sempre estão vinculadas a um endereço (residência própria ou aluguel).
- 3) A variação do dinamismo da vizinhança, a depender do número de firmas e seus resultados, endógenos, influencia os preços dos imóveis, assim como a renda média das famílias residentes, fator também endógeno. Os recursos são recolhidos no âmbito do município e aplicados linearmente a cada vizinhança, de forma proporcional a sua população.
- 4) O mercado de construção civil também é endógeno, com as firmas planejando residências novas de acordo com as possibilidades de ganhos, a disponibilidade de lotes vagos (restrição fraca), de empregados e o tamanho da oferta corrente.
- 5) Os aspectos do mercado financeiro incluem a disponibilidade de crédito, e a configuração da família e sua capacidade financeira endógena na conquista do crédito.

---

6. “One unique price of housing does not exist, and knowing, exactly, the current market price of any particular house is usually impossible”.

- 6) Finalmente, a dinâmica do ciclo de vida da família, envolvendo óbitos, envelhecimento e casamentos, também é incorporada de maneira endógena no modelo.

## 2 ABM

A ABM se refere à construção de modelos em um ambiente computacional no qual agentes seguem regras explícitas, formais e interagem com outros agentes e com o ambiente (Epstein e Axtell, 1996).

O modelo seminal aplicado à segregação urbana é o de Schelling (1969). Na economia, o modelo denominado El Farol (Arthur, 1994) pode ser considerado o pioneiro. O ponto relevante de inovação de ambos os modelos é a explicitação da dificuldade de racionalizar o problema por meio de equações, metodologias e formalização tradicionais.

O problema de segregação de Schelling se refere a novos comportamentos da família, quando o contexto da vizinhança se altera. A existência de um limite de tolerância que gera o gatilho da mudança, no conjunto, leva a dinâmicas contínuas que às vezes são estacionárias, às vezes não.

Da mesma forma, o modelo El Farol demonstra como a racionalidade do indivíduo – preferir ir ao bar quando ele não estiver nem muito cheio, nem muito vazio – é dependente da tomada de decisão de outros indivíduos. Novamente, dada a dinâmica do problema e a busca de adaptação dos agentes, nenhuma hipótese de tomada de decisão (por exemplo, ir ao bar sempre às terças-feiras, ou na terceira quinta-feira do mês, ou de oito em oito dias) permanece com resultados satisfatórios ao longo do tempo.

Uma definição mais atual sugere que um modelo no conceito de ABM deve conter, no mínimo, um número “suficiente” de entidades individuais, heterogêneas, com atributos que são exclusivos a cada uma delas e que participem em alguma dinâmica que influencie os atributos de outras entidades (Polhill *et al.*, 2019).

Desde esses modelos iniciais, e a partir da construção teórica de Epstein, Axtell e outros (Epstein, 1999; 2006; Epstein e Axtell, 1996; Tesfatsion, 2006), houve profusão de estudos e análises, em diversas áreas de conhecimento, utilizando-se de ABM.

De forma ampla, estão disponíveis manuais que descrevem o processo, a relevância, as etapas, os cuidados, as limitações e as aplicações da ABM (Hamill e Gilbert, 2016; Helbing, 2012; Wilensky e Rand, 2015). Outras publicações trazem compêndios para áreas específicas de análise: políticas públicas (Colander e Kupers, 2014; Furtado, Sakowski e Tóvolli, 2015), relações internacionais

(Geyer e Cairney, 2015), ciências sociais e política (Edmonds e Meyer, 2017; Johnson *et al.*, 2017), economia (Boero *et al.*, 2015; Dawid e Gatti, 2018; Hamill e Gilbert, 2016) e geografia (Heppenstall *et al.*, 2012).

Várias outras aplicações também já utilizaram a ABM com sucesso. Veen, Kisjes e Nikolic (2017) desenvolvem uma ABM genérica – chamada de Spree – que investiga o provimento de novos serviços. Os autores definem serviços como transações de mercado, que enfatizam a venda do usufruto do serviço em vez do produto em si. O processo de tomada de decisão para o modelo genérico inclui as firmas e os consumidores, preferências e disposição a pagar. O modelo Spree é então aplicado em três estudos de caso: i) programas de aluguel de bicicletas e carros; ii) proteção à agricultura; e iii) sistemas domésticos de economia de água.

Vooren e Brouillat (2015), por sua vez, criam um mercado de compra e produção de carros para testar quatro políticas alternativas de redução de emissões de gás carbônico. O modelo inclui investimento endógeno das firmas em inovação, preferências e escolhas dos consumidores para os novos carros oferecidos e alterações de políticas públicas associadas aos custos financeiros de cada uma delas.

A ABM foi utilizada em alguns modelos de análise do mercado imobiliário (Axtell *et al.*, 2014; Baptista *et al.*, 2016; Carstensen, 2015; Ge, 2017; Geanakoplos *et al.*, 2012; Gilbert, Hawksworth e Swinney, 2009; Goldstein, 2017; Guerrero, 2020; Jordan, Birkin e Evans, 2012; Prunetti *et al.*, 2014; Yun e Moon, 2020). Adicionalmente, Huang *et al.* (2014) fazem uma revisão correlata de modelos de uso do solo para tomada de decisão residencial que se utilizam da ABM.

Um dos primeiros modelos específicos para o mercado imobiliário foi desenhado por Gilbert, Hawksworth e Swinney (2009). O modelo é estilizado e abstrato, não representando uma região geográfica em particular, mas baseado nos dados do Reino Unido. Os autores buscam, em especial, replicar características do mercado, incluindo o papel do corretor imobiliário. Dadas as restrições de oferta, os preços são fixos no curto prazo e a demanda é estipulada pelos novos compradores no mercado. A análise de sensibilidade realizada demonstra a volatilidade do mercado. O modelo sugere que limites menores de *loan-to-value* (LTV), razão do valor a ser financiado em relação ao valor total do bem, reduzem os preços dos imóveis, enquanto acréscimos exógenos de demanda aumentam os preços.

Geanakoplos *et al.* (2012) apresentam um modelo inicial baseado em agentes que utiliza todas as unidades da região de Washington, D.C., em busca de investigar se a quebra da bolha imobiliária americana de 2007 se deveu à variação de juros ou à volatilidade da alavancagem e dos colaterais. Massivo em dados, o modelo busca replicar o processo de financiamento de cada comprador,

replica vários indicadores empíricos observados e pode ser considerado o mais aplicado. Os autores alegam, por meio da sua análise contrafactual, que, quando mantiveram a alavancagem – LTV – fixa, o *boom* se amenizou fortemente, o que não ocorreu quando os juros foram mantidos inalterados. O modelo é desenvolvido e apresentado de forma mais detalhada em Axtell *et al.* (2014).

Baptista *et al.* (2016) avançam no modelo proposto por Geanakoplos *et al.* (2012) e Axtell *et al.* (2014) e fazem uma aplicação para o caso do Reino Unido. O interesse inicial de Baptista *et al.* (2016) é investigar a influência do comportamento de investidores – que compram para alugar –, além de analisar também limitações à alavancagem. O estudo sugere que ambos, um aumento na presença de investidores interessados no aluguel ou limites mais elevados de empréstimos por renda, aumentam a volatilidade do mercado imobiliário.

Goldstein (2017) se alimenta dos modelos anteriores de Axtell *et al.* (2014) e Geanakoplos *et al.* (2012) e avança na aplicação de ABM para o caso do mercado imobiliário de Washington, D.C. Para além de confirmar a relevância da alavancagem e expectativas como causas da bolha imobiliária, o autor demonstra ainda a influência do percentual da renda que se destina ao mercado e dos juros no processo causal.

Yun e Moon (2020) seguem a tradição desses modelos anteriores e fazem uma aplicação para a Coreia do Sul com três desenhos experimentais de política. Seus achados sugerem que LTV é relevante como política macroprudencial, enquanto a proporção da dívida em relação à renda (*debt-to-income* – DTI) é inconsistente e pode variar de acordo com o mercado em análise.

Ge (2017) também estuda os efeitos da volatilidade e especulação no mercado de imóveis com foco na década de 2000. A contribuição do estudo em relação aos anteriores é a inclusão mais detalhada do banco como agente emprestador no modelo. O cálculo da taxa de financiamento bancária é endógeno e flutua de acordo com os preços dos imóveis dados como garantia e a probabilidade de *default* do agente bancário. Os choques do modelo incluem a variação da quantidade de investidores no mercado que agem de forma especulativa. A autora conclui que leniência no fornecimento de empréstimos e especulação são condições suficientes para gerar bolhas no mercado imobiliário.

Carstensen (2015) desenvolve um modelo para o caso da Dinamarca com o objetivo de investigar choques de juros e de salários. Em linha com os outros modelos de análise macroprudencial, no pós-bolha dos anos 2000, o autor identifica um comportamento abrupto de colapso ao aumentar os limites de DTI.

Jordan, Birkin e Evans (2012) desenvolvem um modelo baseado em Leeds, Reino Unido, cuja motivação principal é identificar padrões de regeneração urbana.

Os autores se utilizam de dados anonimizados que contêm a probabilidade de intenção de se realocar e elaboram uma série de sete regras baseadas na literatura que sugerem o destino das famílias que se mudam. O modelo permite ainda identificar possibilidades de criar comunidades mais diversas.

Ainda na tradição de modelos de realocação espacial, Moeckel (2017) desenvolve um modelo de uso de solo associado ao sistema de transportes que busca contemplar de forma simultânea várias restrições das famílias. Com isso, inclui posse de veículos, ciclo familiar, acesso financeiro ao mercado de imóveis e tempo de deslocamento. O autor enfatiza que o espaço de restrições – em contraste com o espaço completo de oportunidades – será mais relevante em um futuro com alto custo de transportes, especialmente de origem fóssil.

Prunetti *et al.* (2014), por sua vez, apresentam um modelo que se utiliza do cálculo de utilidades parciais para vários agentes, associado à tradição de modelos com autômatos celulares que representam a dinâmica de uso e cobertura do solo. Os agentes do modelo representam usos típicos do solo, tais como: industriais, comerciantes e residentes. Por meio de calibragem e análise de sensibilidade, os autores buscam parametrizar o processo heterogêneo de decisão dos agentes. A ênfase é no mercado de terras e sua configuração espacial.

Poledna, Miess e Hommes (2020) focam a previsão econômica de indicadores macroeconômicos com um modelo que contém o detalhamento contábil de cada setor, incluindo o de imóveis, para a economia austríaca. Depois de validado o modelo, os autores o utilizam para estimar efeitos das medidas de distanciamento social impostas no combate à Covid-19.

Guerrero (2020) utiliza a ABM com vistas a investigar a contribuição do mercado imobiliário para a desigualdade econômica. O autor propõe três experimentos de política para o caso do Reino Unido: uma expansão do estoque de residências, impostos sobre as vendas e impostos sobre herança. Seus resultados sugerem que os efeitos das políticas são distintos entre si e entre as diversas regiões. Seu modelo é uma tentativa de unir fundamentos microeconômicos a protocolos explícitos de interação disponíveis na ABM como forma de analisar endogenamente a construção da desigualdade.

## 2.1 Vantagens da ABM

A ABM apresenta algumas vantagens e algumas desvantagens em relação a outras metodologias disponíveis para análise dinâmica. A primeira vantagem, de ordem epistemológica e ética, é que a ABM permite realizar experimentos populacionais, com sociedades artificiais, *in silico*. Ao mesmo tempo que alguns experimentos não seriam possíveis com populações reais, eles também seriam de cara implementação. A realização no ambiente computacional, por sua vez, mantém os custos restritos ao planejamento, à execução e aos testes do código.

Adicionalmente, dado que o código é disponibilizado – como recomendação explícita da comunidade (Grimm *et al.*, 2020) –, o modelo pode ser verificado. Há, nesse caso, inexistência completa de caixa-preta.

Ainda assim, a compreensão do código pode ser custosa. Cabe aos autores proceder à correta e detalhada comunicação de processos, sequência, tomada de decisões, preferencialmente seguindo o protocolo Visão Geral, Conceitos de Projeto e Detalhes (Overview, Design Concepts and Details – ODD) (Grimm *et al.*, 2020), de modo a permitir comparabilidade e reprodutibilidade adequadas.

Outra vantagem central de ABM é que as regras que determinam os comportamentos dos agentes são formais e podem ser expressas por meio de equações ou procedimentos. Esses procedimentos, chamados de pseudocódigos, possuem descrição padronizada na comunidade de ciências computacionais e são implementáveis em diferentes linguagens de programação.

Outra vantagem de ABM é sua modularidade (Boero *et al.*, 2015). *PolicySpace2*, por exemplo, é uma expansão adaptada do modelo inicial *PolicySpace* (Furtado, 2018b; 2018c).

A ênfase de *PolicySpace2* é o mercado imobiliário. De todo modo, o setor bancário é relativamente simples, contendo apenas um banco, e o setor de transportes também tem relevância marginal. Nada impede que novas versões se utilizem do arcabouço existente e detalhem, por exemplo, o setor bancário, o de transportes; ou implementem a evolução endógena dinâmica de qualificação dos agentes. Essas expansões, tais como módulos, se sobreporiam à plataforma existente.

Outra vantagem ressaltada por Boero *et al.* (2015) é a escalabilidade da ABM. Uma vez estabelecido, verificado e validado o modelo, o custo de executá-lo 1 bilhão de vezes e alcançar a pseudossignificância é relativamente pequeno, se os recursos computacionais estiverem disponíveis. Axtell (2013), por exemplo, replica fatos estilizados do mercado de trabalhos de firmas americanas utilizando-se do total de empregados da economia.

A despeito de todas essas vantagens listadas, a relevância maior de utilização de ABM deriva da sua natureza intrinsecamente heterogênea, ao considerar os agentes, e de sua utilização explícita e dinâmica do espaço. No conjunto, a heterogeneidade e a consideração do tempo e do espaço permitem a construção de simulações de baixo para cima (Epstein e Axtell, 1996) e microfundamentadas. Com isso, efeitos de interação, retroalimentação e emergência<sup>7</sup> tornam-se partes componentes do modelo construído.

---

7. A presença desses conceitos e outros é detalhada no capítulo 3.

Por fim, vale ressaltar a função precípua de ABM como simulador de questões do tipo “e se”. Caso o modelo mimetize o fenômeno principal de interesse – ou seja, que esteja formalmente executado, tenha atingido seu propósito e tenha sido verificado e validado –, é facultada a possibilidade de se realizarem novas perguntas.

Essa facilidade de replicar padrões, fatos estilizados, permite a simulação de alternativas ainda apenas planejadas. De outra maneira, isso é equivalente a observar cenários de políticas ainda não implementadas. Consideremos que um certo fenômeno ocorre da forma como modelado. Se implementadas alternativas A, B e C, quais seriam os efeitos sobre os resultados? Qual alternativa é mais viável?

Comparativamente a modelos baseados em equações, a ABM parece ser vantajosa para analisar fenômenos em que não há claro equilíbrio (a exemplo do mercado imobiliário) – ou então quando se faz a opção de não se impor o equilíbrio como construção que permite deduzir, por meio de equações, a resposta teórica do fenômeno.

Isso não é o mesmo que dizer que os resultados não são similares. Sasaki e Box (2003) replicaram o resultado da elegante construção teórica de Johann Heinrich von Thünen por meio de ABM, assim como Axtell (2013) modelou o comportamento neoclássico padrão das firmas americanas.

Fagiolo e Roventini (2012), por sua vez, discorrem sobre o que chamam de inadequações teóricas, metodológicas e políticas do uso da metodologia de equilíbrio geral estocástico e dinâmico (*dynamic stochastic general equilibrium* – DSGE) para análise econômica, seguida da apresentação das vantagens da ABM.

A crítica teórica principal refere-se justamente à impossibilidade de se obter um único equilíbrio geral e estável, ainda que se utilizando de pressupostos irrealistas sobre a capacidade e o conhecimento dos agentes e informação completa. Do ponto de vista empírico, Fagiolo e Roventini (2012) alegam haver inúmeros problemas de identificação derivados do número de não linearidades presentes nos parâmetros estruturais. Isso leva à dificuldade de os modelos simularem padrões históricos, especialmente em momentos de crise e depressão.

A crítica de economia política refere-se à expectativa de que os agentes tenham “racionalidade olímpica com acesso livre ao conjunto completo da informação”<sup>8</sup> (Fagiolo e Roventini, 2012, p. 83, tradução nossa). Os autores acreditam que isso possa ser válido no escopo da economia como um todo, porém não no nível do agente, como é presumido no caso do DSGE.

A ABM também parece ser interessante em análise de sistemas que se auto-organizam, tais como sistemas naturais (enxames ou revoadas)

---

8. “Olympic rationality and have free access to the whole information set”.

ou bioquímicos (Turing, 1952); em sistemas nos quais há pontos de inflexão mensuráveis, como a mudança de trânsito fluído para trânsito congestionado; ou naqueles que geram efeito cascata, ou então os chamados sistemas auto-organizados criticamente, cujo melhor exemplo são as avalanches (Furtado, Sakowski e Tóvolli, 2015).

Finalmente, a ABM também parece ser útil na análise de aprendizado com reforço (Sert, Bar-Yam e Morales, 2020).

Apesar dessa lista de vantagens e utilizações possíveis de ABM, isso não significa dizer que a metodologia implique exclusividade ou supremacia. Pelo contrário, a abordagem de diversidade de Scott Page sugere que múltiplos modelos (e múltiplas metodologias), em conjunto, contribuem para uma visão mais abrangente e completa do fenômeno em análise que qualquer enfoque singular (Page, 2015, p. 13, tradução nossa).

Sistemas complexos não representam uma bala de prata, mas outra seta no arco do tomador de decisões políticas. Mais precisamente, todas essas ferramentas juntas podem ser pensadas como várias setas imperfeitas que fornecem informações sobre o que é provável que aconteça, o que poderia acontecer e como o que acontece pode afetar outros domínios.

## 2.2 Desvantagens da ABM

Como óbvio, várias são as desvantagens da ABM. A mais eloquente delas talvez seja sua flexibilidade. É tão simples e barato criarem-se novos modelos, com qualquer nível de detalhamento, que a produção resultante é variada demais para permitir classificação, competição, construção comunitária de consensos e padrões.

Foi justamente essa flexibilidade, junto à falta de comparabilidade, que levou à proposição e contínua busca por melhorias do protocolo ODD (Grimm *et al.*, 2006; 2010; 2014; 2020; Grimm e Railsback, 2012). Ao mesmo tempo, Dawid e Gatti (2018) elaboraram a lista das “grandes famílias” de ABMs de macroeconomia, ressaltando similaridades e práticas comuns das especificidades e ênfases de cada grupo, de modo a criar uma lista de *benchmark*, ou boas práticas.

Buchanan (2009) acrescenta a crítica de que não há como identificar se um resultado plausível de um modelo é apenas uma combinação fortuita de parâmetros ou se é, de fato, o resultado da correta descrição do fenômeno. Logo em seguida, todavia, o próprio autor lembra que modelos tradicionais também contêm séries de parâmetros ajustáveis que estariam sujeitos à mesma crítica. Adicionalmente, note que uma boa ABM deve basear suas regras e seus procedimentos na teoria e literatura disponíveis, ou em experimentos ou estimativas – ainda que esses cuidados não eliminem a presença de decisões *ad hoc*, não fundamentadas ou não explicitadas corretamente.

Outra crítica à ABM se refere ainda à complexidade e obscuridade de modelos, o que reforçaria essa plausibilidade de resultados fortuitos similares aos empiricamente observados, porém a partir de mecanismos incorretos ou artificiais. De fato, um modelo como o *PolicySpace2* demandará um esforço razoável para compreender todos os mecanismos e conexões entre as partes.

Entretanto, dado que tanto o algoritmo quanto os dados utilizados e a racionalidade orientadora estão disponíveis, é possível fazer a associação entre determinadas regras, comportamentos e parâmetros e buscar identificar no código sua implementação. Um exemplo disso é a regra utilizada no mercado de trabalho que determina que a distância da residência do candidato à firma influencia a busca por colocação. Esse detalhe pode ser identificado no código do programa e investigado individualmente.

Outra prática que se observa com frequência no *PolicySpace2*, em resposta a críticas como essas, é a possibilidade de simplesmente testar a presença ou ausência de determinadas regras. Caso o usuário não concorde com a racionalidade utilizada, é possível tornar o efeito de algumas regras nulo. De forma não exaustiva, isso é feito no capítulo 5.

Adicionalmente, note que, conforme propõe o protocolo ODD, cada modelo é avaliado para verificar se cumpriu o propósito inicial. Há propósitos que almejam contribuir para a discussão teórica e há outros que buscam prever acontecimentos. Cada qual deverá ser avaliado de acordo com o que se pretende (Edmonds *et al.*, 2019).

De fato, em disciplinas com ênfases diferentes, podem ser necessárias rotinas de validação distintas. Nas ciências sociais, é prática corrente o uso de modelos que utilizam a ABM no intuito de contribuir com o raciocínio, como ferramentas metodológicas afins à argumentação (Moss, 2008). Em contrapartida, há modelos econômicos que almejam replicar e prever séries temporais (Dosi *et al.*, 2015). Nesse caso, é preciso validar que o modelo conseguiu fazê-lo em dados históricos, não utilizados em sua confecção original (Guerini e Moneta, 2017).

Para além dessas críticas, Polhill *et al.* (2019) fazem uma revisão das dificuldades enfrentadas pela comunidade de ABM. Especificamente, os autores identificam a transição de representações abstratas de sistemas para modelos mais fundamentados na análise empírica e que possam realizar contribuições mais aplicadas. A conclusão dessa passagem demandará acesso a bases de dados detalhadas e organizadas, bem como a entendimento de comportamentos, contextos e regras também no nível dos agentes.

De fato, quando o cientista se utiliza de ABM e se propõe a modelar ações de agentes, codificá-las em sistemas de regras, é necessário saber exatamente quais

são essas regras. Note que há uma diferença relevante entre estimar a taxa de dispersão de boatos, de um lado, e compreender os mecanismos (as regras) que determinam como os boatos se difundem, de outro lado.

Do ponto de mercados econômicos, a teoria informa que as firmas têm conhecimento perfeito, sabem a demanda futura, e o preço é dado pelo mercado, bem como os salários. Na realidade, o processo de estabelecer salários, ou antecipar demanda futura, é baseado em informações imperfeitas, datadas, experiência e tentativa e erro (Blinder, 1994). Por isso, mais e mais economistas neoclássicos se utilizam de experimentos advindos de estudos de economia comportamental (Glaeser e Nathanson, 2017), no intuito de compreender melhor os mecanismos que os agentes utilizam para atuar.

Esse processo de construção de modelos mais empíricos também leva a modelos cada vez mais complexos (Sun *et al.*, 2016). De fato, *PolicySpace2* é uma evolução de um modelo que nasceu simples – focado em comportamentos gerais e compreensão do fenômeno de forma abstrata (Furtado e Eberhardt, 2016) – e avançou para o detalhamento empírico (Furtado, 2018b), buscando, então, maior especificação de regras e comportamentos, ainda que não tenha alcançado o patamar de previsões.

Finalmente, e em sintonia com as sugestões de Polhill *et al.* (2019), gestores públicos, gerentes e tomadores de decisão esperam regras determinísticas que se enquadrem em metas e planejamento. O próprio sistema de avaliação de políticas públicas prevê indicadores e acompanhamento para avaliar a efetividade das políticas. A existência de metas e a tentativa de alcançá-las, todavia, não são contraditórias com a possibilidade de que sistemas complexos – de políticas públicas de combate à desigualdade ou de melhoria da mobilidade urbana, por exemplo (Furtado, Sakowski e Tóvolli, 2015) – sejam de difícil previsibilidade. Assim, pode haver inúmeros efeitos endógenos e exógenos que afetem os resultados, a despeito da implementação de uma dada política ou ação. A compreensão de que alguns sistemas podem ser classificados como complexos sugere que suas trajetórias sejam menos determinísticas e mais probabilísticas e dependentes de ações e reações contínuas no tempo (Mueller, 2015). Em outras palavras, há sistemas cujas previsões devem se limitar a prazos mais curtos, de modo que se acompanhe o seu desenvolvimento e se alterem ações e previsões de forma discreta, em vez de se estabelecerem metas para momentos distantes sobre os quais simplesmente não é possível determinar o espaço-alvo com segurança.

## MECANISMOS E INTUIÇÃO DO *POLICYSPACE2*

O protocolo Visão Geral, Conceitos de Projeto e Detalhes (Overview, Design Concepts and Details – ODD) recomenda: “descreva o que o programa executa, não o que você imagina que ele faz” (Grimm e Railsback, 2012, p. 6, tradução nossa).<sup>1</sup> Essa descrição e o detalhamento passo a passo da execução do modelo são realizados no capítulo 3. Neste capítulo optamos por discorrer sobre os mecanismos gerais e a intuição por trás do modelo.

O *PolicySpace2* é essencialmente um modelo econômico que enfatiza elementos espaciais – regionais, municipais e intraurbanos – de um mercado complexo, o imobiliário, cujas influências dinâmicas são relativamente pouco compreendidas, embora produzam efeitos perenes nas famílias, nos municípios e na sociedade como um todo.

O modelo parte de uma fidedigna descrição empírica para construir os principais mercados e seus mecanismos de forma endógena. Com isso, almeja dispor de uma plataforma que replique suficientemente padrões observáveis, de modo a permitir uma análise comparativa da magnitude de efeitos gerados em várias dimensões da economia a partir de alterações de comportamentos dos agentes e efeitos de possíveis alterações de políticas públicas e comportamentos.

O *PolicySpace2* reúne inúmeros dados oficiais e espaciais sobre as principais regiões metropolitanas do Brasil. Estão incluídos no modelo: limites municipais e intramunicipais; número de habitantes por gênero, idade, cor e qualificação dos indivíduos; tamanho médio da família; e número de firmas no nível de áreas de ponderação (APs) – equivalentes a grandes bairros ou vizinhanças. No nível das Unidades da Federação (UFs), há informações detalhadas sobre migração, mortalidade e fertilidade. Há, ainda, detalhes de distribuição de impostos no nível municipal.

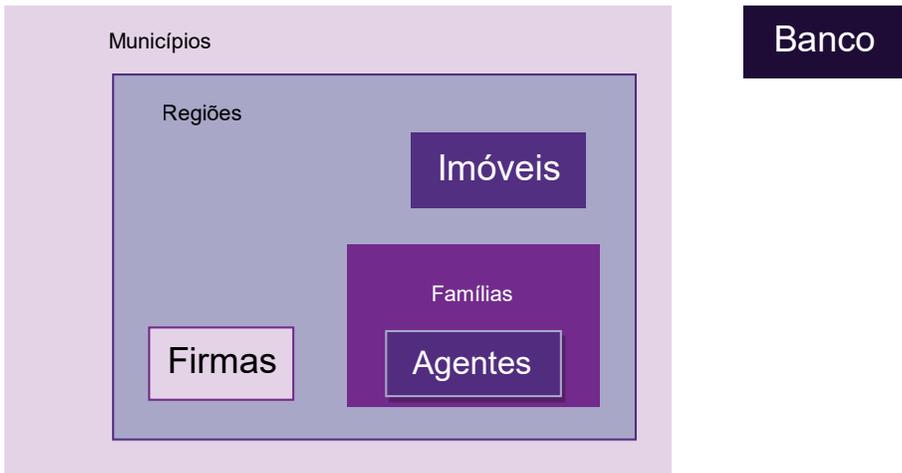
Os agentes estão espacialmente representados conforme a figura 1. Agentes (trabalhadores, indivíduos) estão agregados em famílias e alocados dentro de regiões que representam as APs do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), de acordo com o censo 2010. Imóveis e firmas também estão alocadas nas APs. Famílias, no contexto do modelo, sempre estão vinculadas a um endereço, cujo

---

1. “Describe what the program does, not what do you think the model does”.

imóvel pode ser próprio ou alugado. As famílias podem ter nenhum, um ou mais imóveis. As APs sempre constituem municípios para as áreas de concentração de população (ACPs) do IBGE. O banco – que fornece financiamentos imobiliários e remunera a poupança das famílias – é único e não está alocado espacialmente.

FIGURA 1  
**PolicySpace2: configuração espacial dos agentes**



Elaboração do autor.

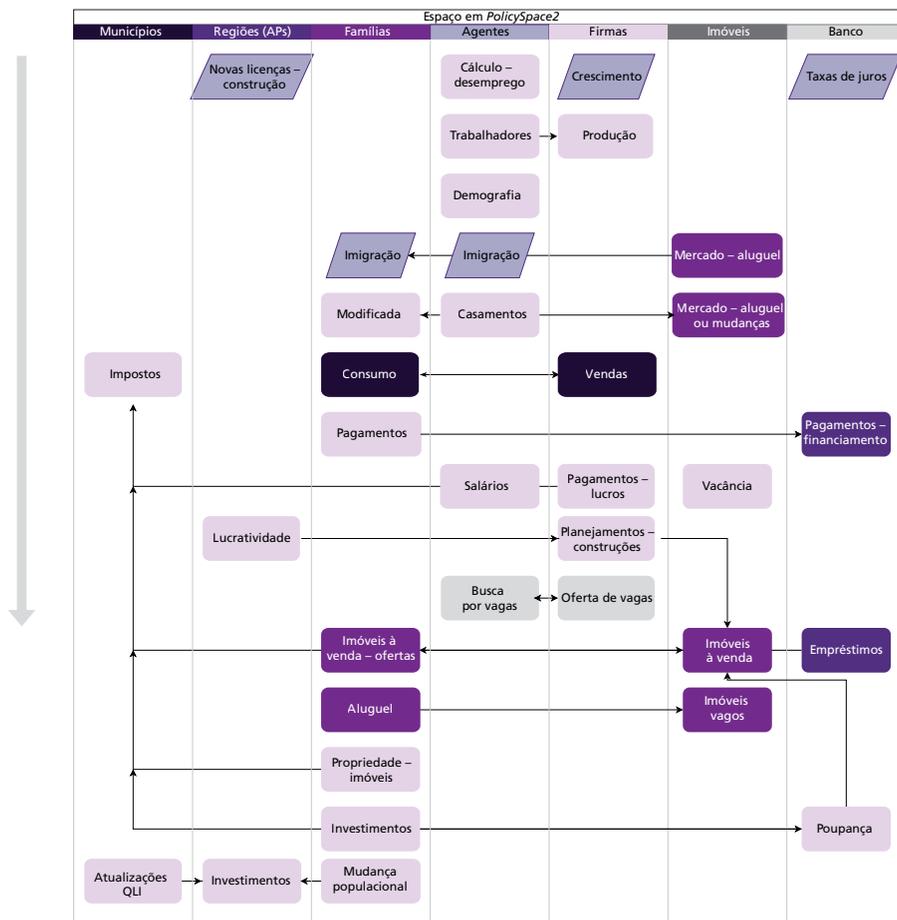
A sequência de processos está ilustrada na figura 2. O detalhamento da sequência e dos passos está detalhado na subseção 4.2, do capítulo 3. Os processos em formato de losango ocorrem de acordo com a frequência determinada exogenamente por meio de parâmetros. Logo no início do mês, há a criação de novas firmas, atualização dos juros remuneratórios dos investimentos das famílias e do financiamento imobiliário, e o desemprego corrente é calculado. Na sequência, os trabalhadores se deslocam até as firmas, sendo a distância computada, e realizam a produção.

A demanda de bens é endógena e varia de acordo com a capacidade de compra das famílias e os preços oferecidos pelas firmas. A demanda efetivamente realizada gera efeitos nos estoques e leva às firmas a necessidade de contratar ou desligar trabalhadores. O salário recebido e a poupança acumulada, por sua vez, determinam as possibilidades de inserção das famílias no mercado imobiliário de compra e venda ou de aluguel.

A capacidade arrecadatória dos municípios, ou o dinamismo real das firmas municipais em conjunto com o tamanho da população corrente, tem reflexo na magnitude de investimentos locais. Os investimentos municipais influenciam os

preços dos imóveis locais. Os preços dos imóveis sofrem influência também da renda média da vizinhança e das características intrínsecas do imóvel.

FIGURA 2  
PolicySpace2: processos sequenciais e inter-relações entre agentes



Elaboração do autor.  
Obs.: QLI – Índice de Qualidade de Vida.

Parte das firmas da economia produz residências, em vez de bens de consumo. Porções de salário não gasto em consumo ou recursos provenientes de vendas de imóveis alimentam depósitos no Banco Central, que geram juros e permitem empréstimos para financiamento imobiliário a outras famílias.

O encadeamento desses efeitos, em conjunto com transformações demográficas endógenas das famílias, é ilustrado e comunicado com a geração de gráficos e dados mensais, individuais, familiares, por vizinhança, por

municípios e gerais. Todo esse processo pode ser examinado para cada ação de cada agente. Logo em seguida, os processos demográficos de envelhecimento, mortalidade e fertilidade, bem como o processo migratório com a chegada de novas famílias é realizado. Novas famílias podem ser formadas a partir do casamento entre adultos de famílias existentes.

As famílias, então, participam do mercado de consumo, escolhendo firmas de acordo com máxima proximidade de sua residência ou melhor preço, entre uma amostra de firmas escolhidas de forma aleatória. Os pagamentos de financiamento imobiliário são processados, e a firma realiza seus processos decisórios em relação ao reajuste de preços de venda, contratação ou demissão da força de trabalho e planejamento de construção de novos imóveis para o caso das firmas construtoras.

Finalmente, os mercados de trabalho e de imóveis são processados, e as famílias depositam seus investimentos no banco. Durante os processos, ocorre arrecadação de impostos sobre consumo, sobre salários, sobre lucros, sobre transações imobiliárias e sobre a propriedade de imóveis. Esses recursos são redistribuídos entre os municípios, considerando o Fundo de Participação de Municípios (FPM) e as porções estaduais (igualmente entre os municípios) e locais (de acordo com a geração). Os investimentos resultam em melhoria do indicador de qualidade de vida QLI, que é ponderado pelas mudanças populacionais.

A descrição dos processos, em detalhes, é feita na seção 7, do capítulo 3.

## 1 ENDOGENEIDADE E ESPAÇO NO *POLICYSPACE2*

A diferença mais marcante do *PolicySpace2* em relação a outros modelos e propostas teóricas de compreensão dos mecanismos do mercado imobiliário talvez seja a incorporação de processos endógenos e espaciais.

Modelos tradicionais de mercado imobiliário usualmente abstraem por completo a noção espacial (Dipasquale e Wheaton, 1992). Modelos baseados em agentes, por sua vez, modelam os processos imobiliários a partir de salários exógenos (Baptista *et al.*, 2016), ainda que o processo de choques seja endógeno (Ge, 2017).

No *PolicySpace2* os salários são endógenos e gerados a partir do mercado de trabalho. A dinamicidade do mercado de trabalho, por sua vez, evolui de acordo com a capacidade de compra da população, que depende dos salários recebidos e das rendas com aluguéis, vendas de imóveis e juros sobre a poupança. Os preços dos imóveis também variam de forma endógena, a partir da pujança das firmas municipais e da renda média das famílias de cada vizinhança. Essas variações são em parte determinadas pela produtividade dos trabalhadores, dada pelos anos

de estudo e pela localização das firmas e seu acesso aos mercados consumidores, sendo que ambos seguem os dados empíricos observados em 2010.

A espacialidade se reflete no mercado de trabalho por meio dos critérios de decisão de contratar e ser contratado, para a firma e para o trabalhador. Para a firma, é possível que o sistema de seleção mensal seja feito por qualificação – empregados com mais anos de estudo recebem ofertas primeiro – ou por distância.

Empregados que residem mais próximo têm preferência. Esse critério foi introduzido para refletir o fato de que, entre trabalhadores com baixa escolaridade, a proximidade da firma pode ser relevante, bem como a probabilidade de conhecimento sobre a oferta da firma. Ademais, reflete a racionalidade do dispêndio com pagamento do vale-transporte pelas firmas. Esse critério é um dos exemplos nos quais o parâmetro pode ser escolhido de modo que essa regra gere efeito nulo. Ao ranquear as ofertas das empresas, o empregado desconta do salário oferecido o custo de transporte – particular ou público, de acordo com o decil de renda.

No mercado imobiliário, a espacialidade intrínseca reflete a intenção dos cidadãos de comprar os “melhores” imóveis da cidade – definidos como os mais caros (Goldstein, 2017) –, condicionados aos preços e a sua capacidade de pagamento. Os preços, por sua vez, seguem as características intrínsecas, mas também a renda das famílias na vizinhança e a prosperidade do município, *vis-à-vis* os outros municípios da mesma região metropolitana. As firmas construtoras se planejam de modo a ofertar imóveis nas regiões cujo lucro estimado é o maior.

Finalmente, no mercado de bens, os consumidores podem optar por pagar o menor preço ou comprar na firma mais próxima, refletindo o comportamento do comércio no atacado e no varejo.

Ainda do ponto de vista espacial e administrativo, note que os municípios, como entidades arrecadadoras e distribuidoras de recursos no espaço, estão presentes no modelo. Recolhem impostos sobre o pagamento de salários, sobre o lucro das empresas, sobre transações imobiliárias, sobre o patrimônio imobiliário e sobre o consumo. Esses recursos arrecadados como *proxy* de tributos reais são distribuídos conforme as regras gerais vigentes de partilha entre União, estados da Federação e municípios.

## 2 INTEGRAÇÃO E HETEROGENEIDADE

Com essa rápida descrição dos processos, detalhada no capítulo de métodos, é possível notar que um dos aspectos presentes em *PolicySpace2* é a integração entre as partes dos diversos mercados. É fácil ver essas relações e amarras entre os vários processos ao se realizar a análise de sensibilidade e investigação dos mecanismos

do modelo e registrar a variação dos efeitos no produto interno bruto (PIB), no coeficiente de Gini ou no desemprego quando se altera a produtividade dos trabalhadores ou a configuração inicial espacial das famílias a partir de regiões metropolitanas distintas.

Ademais, a heterogeneidade do *PolicySpace2* vai além da observada nas características dos próprios agentes, incluindo variações em relação a sua localização, constituição familiar e vínculos empregatícios. Os resultados do modelo contêm, por exemplo, o desemprego municipal. Esse tipo de informação é de difícil validação, uma vez que o IBGE só divulga informações agregadas de desemprego pela Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios Contínua (PNAD Contínua) para a região metropolitana como um todo.

### 3 CONTRIBUIÇÕES

A revisão de literatura, presente no capítulo 1, aponta a complexidade do mercado imobiliário e a dificuldade teórica e empírica de lidar com todos os fatores de influência simultaneamente. O *PolicySpace2* responde a essa revisão e consegue integrar consumo imediato das famílias e decisões de compra de longo prazo, em conjunto com alterações na composição da família e chegada de migrantes. Inclui ainda o mercado de construção e o processo de financiamento imobiliário e remuneração da poupança das famílias; a relevância da localização do imóvel, sua localização intraurbana, por meio da influência do bairro e seu acesso a empregos; e, principalmente, efeitos dinâmicos com retroalimentação de todos os processos ao longo do tempo.

Adicionalmente, o *PolicySpace2* se constitui como plataforma de análise de intervenções de políticas públicas com nível de integração entre elementos causais e mecanismos, com inclusão de dados empíricos. Não localizamos trabalhos similares dessa magnitude e amplitude. Há análises detalhadas, empírica e metodologicamente em relação à economia exclusivamente ou ao transporte ou conversão de uso do solo. Porém, não dessas três vertentes em conjunto.

As simulações realizadas permitiram, ainda, indicativos interessantes sobre os fatores de composição dos preços no mercado imobiliário e o papel da oferta e da intensidade da demanda das famílias. Para além do mercado imobiliário, o *PolicySpace2* ressalta a relevância da produtividade dos trabalhadores e da eficiência da gestão municipal.

### 4 FORMAÇÃO DE PREÇOS NO MERCADO IMOBILIÁRIO

Para além desse panorama dos comportamentos dos agentes no modelo, vale ressaltar os processos gerais de formação de preços.

No mercado imobiliário, o lado da oferta é desenhado como produto determinístico das características do imóvel (fixo) e sua localização (variável). Compõe o preço ainda a renda média das famílias residentes na vizinhança. Do lado da demanda, a família utiliza seus recursos em caixa, sua reserva para emergências (referente a seis meses do valor da renda permanente) e a poupança. Adicionalmente, verifica o valor máximo que arrecadaria em um potencial empréstimo.

A racionalidade da transação e formação de preços pode ser interpretada da seguinte maneira: a primeira opção ocorre quando a família antecipa o valor real (calculado utilizando elementos de regressão hedônica) do imóvel e o vendedor estima a poupança máxima da família (limitada a até 130% do valor do imóvel).<sup>2</sup> Nesse caso, o preço transacionado é a média das duas estimativas. Caso não haja consenso, porque o valor da poupança da família é insuficiente, a família verifica se consegue efetivar o empréstimo bancário prometido. Se o empréstimo é negado pelo banco, a família sai do mercado.

Uma segunda opção ocorre quando a poupança da família é insuficiente para arcar com o preço calculado do imóvel. Nesse caso, a família pode fazer uma oferta com valor inferior ao preço (até o limite de 20%). O vendedor aceitará de forma probabilística condicional ao tamanho da vacância de imóveis no mercado. Quando há percentual grande de imóveis à venda, as chances de aceitar a proposta com desconto são maiores.

Com esses comportamentos, os preços transacionados são uma combinação da capacidade real de compra das famílias, do preço calculado dos imóveis e sua vizinhança e do tamanho da oferta.

## 5 POSSIBILIDADE DE *DEFAULT*

Em *PolicySpace2* há três momentos no qual poderíamos entender como *default*. Quando o locador cobra o aluguel, a família busca sequencialmente seus recursos financeiros imediatamente disponíveis, suas reservas e sua poupança. Quando não há recurso algum, o locador não recebe o pagamento devido.

Da mesma forma, quando o banco cobra prestações de financiamento imobiliário, a família busca por alternativas. Entretanto, no caso de atraso, o banco grava a informação e tenta reaver os recursos ao longo dos meses seguintes, antes de emitir o certificado de conclusão do empréstimo.

Por fim, também é possível que, quando não houver recursos, a família realize consumo zero de bens em determinado mês. Os indicadores globais do

---

2. Esses valores são testados na análise de sensibilidade realizada.

modelo indicam que o consumo médio é constante e crescente. Isso não exclui, porém, que algumas famílias não realizem o consumo em alguns meses. Isso também pode ocorrer eventualmente quando nenhuma das firmas escolhidas tem produto disponível para vendas em dado momento.

## 6 LIMITAÇÕES, CAVEATS PRINCIPAIS E ANÁLISE FUTURA

A análise de uma plataforma como o *PolicySpace2* sempre será incompleta. Há inúmeros mecanismos, possivelmente centrais, que não estão incluídos nos processos existentes. Ainda que a avaliação de quais processos são centrais ou não seja subjetiva, o interesse e o campo de investigação do leitor costumam ser decisivos nesse apontamento.

De todo modo, o que se pode dizer é que o *PolicySpace2* foi construído com dois objetivos principais: ao mesmo tempo incorporar o cerne espacial à análise de mercado e integrar o mercado imobiliário ao escopo da economia mais ampla. Adicionalmente, o resultado está em processo contínuo de melhorias e incorporações, cuja escala e velocidade dependem também do interesse e engajamento de outros interessados em expandir a plataforma, dado que ela está disponível em código aberto e público.<sup>3</sup> Como o *PolicySpace2* é modular, novos detalhamentos, expansões e alterações de processos podem ser construídos a partir do desenvolvimento existente. Dito isso, vale ressaltar os aspectos do mercado imobiliário e da economia como um todo que ainda não constam do *PolicySpace2*.

Do ponto de vista da economia, a política, de forma genérica, ou os fatos relevantes da legislação e da institucionalidade do mercado, que influenciam as percepções e, por conseguinte, os preços, não estão presentes no modelo. Dessa forma, temas como greves, escândalos de corrupção, *impeachment*, pandemias, choques de oferta, nada disso está incorporado ao modelo. Embora geral e de difícil implementação, todos esses fatores influenciam as séries temporais, de modo que validar a trajetória de inflação do modelo com uma trajetória observada não é factível, nem objetivo presente ou futuro.

Outros mecanismos, entretanto, seriam passíveis de implementação. Por exemplo, a sofisticação do mercado de ativos que incorpore serviços bancários também às empresas, para além do financiamento imobiliário das famílias, ou incluir a diferenciação das firmas entre os vários setores da economia, com sua respectiva heterogeneidade de tamanho, mercado consumidor, porte e necessidade de qualificação.

---

3. Disponível em: <<https://github.com/bafurtado/policyspace2>>.

No detalhamento da produtividade dos trabalhadores, um aspecto relevante da construção do modelo seria incorporar um sistema de financiamento endógeno da melhoria da qualificação dos trabalhadores.

Do ponto de vista específico do mercado imobiliário, a nosso ver, apenas três aspectos não estão contemplados no *PolicySpace2*. Em primeiro lugar, não há densidade vertical, o que é relevante para destravar a oferta de residências e, com isso, manter os preços dos imóveis em sintonia com a demanda. Todavia, dado que a localização das residências é pontual, com um endereço em forma de latitude e longitude, enquanto o município possuir licenças de construção (endógenas) disponíveis, as firmas podem comprar as licenças (*proxy* para lotes de terra nua) e naturalmente densificar vizinhanças lucrativas. Embora esse processo não simule edifícios residenciais com vários pavimentos, a densidade dos pontos de imóveis pode ser adensada, condicionada ao número de licenças disponíveis.

Outro aspecto do mercado imobiliário não contemplado no modelo é a inversão de ativos estrangeiros no mercado imobiliário. Esse ponto parece especialmente determinante para cidades globais nas quais há interesse de grandes investidores externos. O *PolicySpace2* só contempla famílias migrantes com recursos equivalentes aos recursos das famílias iniciais, mas não inclui investidores com alta capacidade de investimento.

Finalmente, a escala de análise intraurbana do mercado imobiliário ainda não contempla nem a regulação e zoneamento urbanísticos, em termos de potenciais e restrições construtivas, nem a localização de amenidades urbanas físicas. Tão somente a amenidade de morar próximo a famílias com renda similar estão incluídas no modelo.

## 7 ALTERAÇÕES EM RELAÇÃO AO *POLICYSPEACE* ORIGINAL

O *PolicySpace2* é uma extensão do modelo original *PolicySpace* lançado em 2018 pelo Ipea (Furtado, 2018c). A seguir explicitamos os avanços feitos em relação à versão anterior. Para além do registro de alterações, a listagem também serve como exemplo de modularidade da proposta da plataforma.

- 1) O processo de remuneração endógena dos depósitos das famílias foi incluído.
- 2) O mercado de aluguéis foi introduzido no modelo.
- 3) Também foi incluído um setor de construção civil endógeno que fornece novos imóveis no mercado.
- 4) O efeito de afluência de famílias da vizinhança foi incluído de forma explícita no cálculo dos preços dos imóveis.

- 5) O processo de negociação foi sofisticado com a inclusão de possibilidade de acesso ao financiamento imobiliário e a tentativa de barganha por parte do comprador. A informação sobre a oferta de imóveis globais também passou a integrar o processo de formação de preços no mercado imobiliário.
- 6) O processo de construção de preços agora também inclui a possibilidade de a permanência do imóvel à venda por períodos mais longos influenciar os preços.
- 7) A nova versão permite a geração de dados de origem e destino de trabalhadores e firmas em formato diretamente aplicável ao modelo, ainda inédito, de análise de trânsito, realizado pelo consultor do Ipea Francis Tseng.<sup>4</sup> O modelo gera rotas de transporte público e privado, visualização e tempos de congestionamento a partir das heterogeneidades das famílias. Note que isso permite avaliar o tempo de congestionamento gerado por alterações de impostos ou produtividade dos trabalhadores, por exemplo.
- 8) O processo de consumo foi sofisticado, sendo que as famílias podem utilizar quaisquer recursos, inclusive de poupança, caso não tenham recursos para o consumo mensal.
- 9) A geração inicial das famílias do modelo foi alterada para garantir que toda família tenha pelo menos um adulto.
- 10) Firms são incorporadas mensalmente, de acordo com taxa mensal exógena. A alocação interna ao município favorece probabilisticamente as regiões endogenamente mais dinâmicas do município em termos de número de empregados e lucro.
- 11) O patrimônio imobiliário passou a ser contabilizado no orçamento das famílias e utilizado para construção da *renda permanente* e consequente endogeneização do processo de decisão entre consumo imediato e consumo de longo prazo.
- 12) Processos de migração foram incluídos a partir dessa versão.
- 13) Incluiu-se ainda processos de constituição de novas famílias a partir de casamento (de cidadãos solteiros ou casados).
- 14) Foi incorporado processo de herança no qual parentes de membros familiares que venham a falecer herdaram o patrimônio imobiliário. Todavia, não há imposto sobre herança implementado.

---

4. Disponível em: <[https://github.com/frmsys/transit\\_demand\\_model](https://github.com/frmsys/transit_demand_model)>.

- 15) A versão *PolicySpace2* transformou a origem censitária das informações do nível municipal para o nível intraurbano por meio da leitura das informações por APs do IBGE.
- 16) Os dados empíricos foram atualizados do ano de 2000 para 2010.
- 17) O sistema de financiamento imobiliário segue o Sistema de Amortização Constante (SAC), mais comum para o caso brasileiro.
- 18) O tamanho da vacância influencia o comportamento das firmas construtoras.
- 19) As taxas de juros seguem valores reais, nominais ou exógenos.
- 20) Algumas alterações de visualizações foram aprimoradas e novos gráficos adicionados.



## MÉTODOS: *POLICYSPACE2*

A descrição do método segue a consolidação da literatura por meio do protocolo Visão Geral, Conceitos de Projeto e Detalhes (Overview, Design Concepts and Details – ODD) (Grimm *et al.*, 2020).<sup>1</sup> O protocolo pressupõe a compreensão do modelo de forma progressiva e cada vez mais detalhada. O primeiro passo é a descrição dos propósitos e objetivos do modelo. Esse propósito servirá para ilustrar a adequação do modelo, na medida em que efetivamente atendeu ao propósito ou não. Na sequência se descrevem os agentes, seus atributos e escalas. Conhecidos os agentes, o modelador descreve o programa de execução de processos; em que ordem os acontecimentos ocorrem no âmbito do modelo. Nesse ponto, o leitor já tem um bom conhecimento das especificações do modelo, e o protocolo ODD recomenda a discussão dos conceitos subjacentes à modelagem proposta: os conceitos de desenho. Nesta seção, discutem-se os princípios basilares da modelagem e os aspectos conceituais de sistemas complexos. Finalmente, o detalhamento da inicialização do modelo, os dados necessários, a descrição, a racionalidade e a justificativa dos subprocessos, por exemplo, os mercados presentes em *PolicySpace2*, são descritos nas seções 5, 6 e 7. As fórmulas e parâmetros para cada processo central estão disponíveis na seção 7.

### 1 ODD: PROPÓSITO

Neste livro optou-se por utilizar na sua íntegra o protocolo ODD para descrição e análise do modelo. Originário da literatura epidemiológica, o ODD foi adotado, adaptado e ampliado pela comunidade de cientistas que se utilizam de modelagem baseada em agentes (Grimm *et al.*, 2006; 2020; Grimm e Railsback, 2012). O protocolo incorpora a descrição mais precisa do modelo construído, seus princípios fundamentais, propósito e detalhes. O rigor do protocolo exige, por exemplo, que ao iniciar a descrição se inclua a seguinte passagem: “A descrição do modelo segue o protocolo ODD (Visão Geral, Conceitos de Projeto e Detalhes) para modelos baseados em agentes” (Grimm *et al.*, 2010, p. 2763, tradução nossa).<sup>2</sup>

---

1. Esta descrição é compatível com a versão número 1.1. Disponível em: <<https://github.com/BAFurtado/PolicySpace2/releases/tag/1.1>>.

2. “The model description follows the ODD (Overview, Design Concepts and Details) protocol for describing individual and agent-based models”.

O primeiro item previsto no protocolo é a descrição do propósito do modelo. Dada a característica compreensiva do *PolicySpace2* e sua pretensão de se constituir como plataforma, estabelecemos dois propósitos centrais, cada qual com seu resultado associado, seguindo Edmonds *et al.* (2019). Como sugerido, o primeiro propósito se vincula ao teste de política pública realizado no capítulo 6. O segundo aos resultados do capítulo 5.

O primeiro propósito do *PolicySpace2* é ilustrar uma explicação potencial que diga como diferentes alternativas de investimento de recursos públicos municipais em políticas de habitação e distribuição de renda entre municípios podem resultar em comportamento comparativamente distinto nos indicadores econômicos locais. No caso simulado, a geração de famílias selecionadas para receber o auxílio, bem como o montante de recursos distribuídos e a forma como as benesses são ofertadas são endógenas ao processo. É possível compreender as vantagens de cada uma das alternativas: provimento de habitação, pagamento de aluguéis ou distribuição de auxílio pecuniário. Com isso, obtêm-se indicações comparativas relevantes para melhor inversão de recursos públicos. Os resultados são robustos para larga variação de parâmetros, processos e regiões metropolitanas (RMs) diferentes.

Adicionalmente, o *PolicySpace2* é um modelo cujo propósito é descritivo e útil para realizar analogias (Edmonds e Meyer, 2017, p. 45; Grimm *et al.*, 2020, p. 30).<sup>3</sup> Em especial, *PolicySpace2* se mostra capaz de articular facetas distantes de análise. Por exemplo, melhorias de produtividade no mercado de trabalho afetariam em que ordem de magnitude os preços dos imóveis ou o lucro das firmas? Ou ainda, como a presença de um estoque maior de imóveis desocupados afeta a poupança das famílias?

O *PolicySpace2* é descritivo no sentido em que possibilita analisar como configurações diferentes de políticas afetam as dinâmicas observadas. O modelo permite a representação quantitativa e formal de parâmetros e regras, bem como seus resultados associados. Perguntas que poderiam ser incluídas nesse item são: i) como o aumento percentual de firmas construtoras afeta os indicadores macroeconômicas e a concentração de renda; e ii) como a composição socioeconômica das famílias, dada pelo censo de 2010, afeta a dinâmica intrínseca de inflação e desemprego.

O *PolicySpace2* também permite avaliar a compatibilidade dos resultados com as hipóteses levantadas. Dessa forma, serve para ilustrar princípios gerais.

---

3. Ainda, conforme recomenda o protocolo ODD, o *PolicySpace2* está licenciado de acordo com a Licença MIT. O código completo do modelo está disponível em: <<https://github.com/bafurtado/PolicySpace2>>.

Finalmente, serve, ainda, como instrumento metodológico de realização de analogias. É fácil utilizar o modelo para raciocinar sobre o mercado imobiliário de forma endogenamente integrada ao restante do sistema econômico. Em especial, esse propósito é verificável por meio da flexibilidade da proposta e seu relativamente simples processo de alteração. Se uma dada regra para negociação de imóveis, por exemplo, não é satisfatória ou adequada para uma hipótese específica, ou para um conjunto de evidências, outras alternativas, como o leilão, podem ser implementadas.

A indicação explícita do propósito do modelo é relevante porque indica os padrões a serem replicados que servirão como critério de avaliação do modelo (Grimm e Railsback, 2012). Como nosso propósito inclui a possibilidade de “articular facetas distantes de análise” com vistas a compreender mecanismos do mercado imobiliário, os padrões a serem replicados envolverão aspectos distintos do ambiente econômico. Com isso, a intenção é verificar se o comportamento dos indicadores econômicos do modelo se mantém dentro de margens razoáveis, ao mesmo tempo que o mercado imobiliário também apresenta desempenho semelhante ao mercado real observado.

Nesse sentido, o modelo não cumpriria seus propósitos se alguma alteração sensata – por exemplo, aumento no influxo de migrantes, ou crescimento de firmas de construção, ou ainda alteração razoável dos juros – resultasse em desemprego de 90% ou coeficiente de Gini de 0,01, por exemplo. Ou, ainda, se a caracterização do mercado imobiliário resultante do modelo não guardasse semelhança com dados reais do mercado imobiliário.

Em geral, o *PolicySpace2* replica trajetórias esperadas de efeitos ou fatos estilizados no comportamento dos mercados. Por exemplo:

- o aumento do dinamismo no mercado imobiliário, quando maior número de famílias participa mensalmente no mercado, leva ao aumento do desempenho econômico, com maior volatilidade dos preços e aumento da desigualdade;
- o aumento da produtividade do trabalhador leva à redução dos preços na economia;
- a redução do número de firmas consultadas na tomada de decisão de compras no mercado de bens e serviços – menor competição – gera mais inflação; e
- quando há aumento da população, há um efeito de escala e eficiência com maior desigualdade e maior produção e consumo.

Outros efeitos – por exemplo, na riqueza das famílias ou no comportamento do produto interno bruto (PIB) e do desemprego – não são tão óbvios e podem sugerir conexões interessantes, como as que seguem:

- o fato de as empresas escolherem mais trabalhadores com o critério de distância, em detrimento da qualificação, sugere aumento nos preços; e
- o aumento dos impostos nas firmas leva à redução dos seus lucros, porém também leva ao aumento dos investimentos do governo, com aumento dos preços dos imóveis e, portanto, maior poupança para as famílias.

Com isso, os padrões específicos que o *PolicySpace2* espera replicar são:

- para o comportamento econômico em geral, comportamentos razoáveis dos indicadores de PIB, inflação, desemprego e coeficiente de Gini; e
- para o mercado imobiliário, semelhança na distribuição de preços de imóveis.

## 2 TRACE – FORMULAÇÃO DO PROBLEMA

De acordo com o procedimento de acompanhamento da modelagem sugerida pela metodologia Transparent and Comprehensive Model Evaluation (TRACE) (Grimm *et al.*, 2014), especificamos aqui a formulação do problema. O modelo deve precisar os clientes, a especificação da pergunta a ser respondida e os produtos necessários para fazê-lo. Adicionalmente, a aplicabilidade do modelo e suas possibilidades de extensão devem ser explicitadas.

O público-alvo do *PolicySpace2* é formado por cientistas e gestores públicos interessados em compreender os mecanismos mais amplos do mercado imobiliário. Como descrito, a intenção do modelo é fornecer meios de raciocinar e realizar analogias sobre o mercado imobiliário, permitindo observar escala de magnitude e análise comparativa de efeitos de implementação de alterações de políticas públicas e comportamentos. Esse raciocínio é possível desde que o modelo produza indicadores macroeconômicos adequados e guarde semelhança com os preços do mercado imobiliário. Adicionalmente, o *PolicySpace2* realiza teste de políticas públicas habitacionais alternativas. Em termos de extensão e extrapolação, algumas possibilidades são listadas a título de conclusão nas considerações finais.

Não excluimos a possibilidade de utilizar *PolicySpace2* para previsão específica do mercado imobiliário, desde que mais dados de construção da base inicial de imóveis sejam introduzidos. Também entendemos que seria possível incluir mecanismos ou análises adicionais que contribuam com a compreensão mais ampla de fenômenos já representados aqui, tais como a questão fiscal municipal; a

qualificação dos trabalhadores; a desigualdade e a mobilidade social; a mobilidade urbana e seus efeitos de emissão de CO<sub>2</sub>; e a análise de intersectorialidade ou de inovação nas firmas. Qualquer uma dessas análises adicionais deveria manter os resultados adequados gerais e serem validados para cada caso especificamente.

### 3 ODD: ENTIDADES, VARIÁVEIS DE ESTADO (ATRIBUTOS) E ESCALAS

O *PolicySpace2* contém seis entidades que interagem ao longo da simulação: *indivíduos*, que sempre se organizam em *famílias* e que habitam *domicílios*, com localização fixa; *firmas*, que contratam indivíduos, participam no mercado de trabalho e oferecem bens nos mercados de bens e imobiliário; *banco*, que recolhe depósitos e oferece empréstimos; e as entidades espaciais, os *municípios*, que podem estar subdivididos em áreas de ponderação (APs) ou não. Várias informações são coletadas mensalmente, portanto, atributos variáveis também são registrados a cada mês.

#### 3.1 Indivíduos, trabalhadores

Indivíduos no *PolicySpace2* possuem identificação própria (caractere, tamanho: 36); gênero (caractere: *male*, masculino; *female*, feminino); anos de estudo (inteiro: 1, 2, 4, 6, 8, 9 a 15); e mês de aniversário (inteiro: 1 a 12), que são invariáveis.

Adicionalmente, indivíduos registram a família a que pertencem (*family\_id*, caractere) e, porventura, a firma na qual trabalham, quando empregados (caractere). Quando não empregados, a variável assume o valor nulo (*none*). O pertencimento à família pode ser atualizado por meio do casamento, assim como o vínculo com a firma empregadora.

A idade dos indivíduos é obtida proporcionalmente aos dados oficiais, de acordo com a menor área espacial (município ou AP) no momento de criação (inteiro: de 0 a 100) e é atualizada anualmente, de acordo com os processos demográficos de aniversário.

Os indivíduos também registram uma variável numérica (*float*) *money*, que representa a carteira momentânea de recursos financeiros do indivíduo. Note que o trabalhador recebe individualmente recursos da firma, porém as decisões de compras são realizadas no âmbito da família, com a soma de recursos dos outros membros familiares. Indivíduos empregados também registram mensalmente, na variável *distance* a distância percorrida entre casa trabalho. Quando não empregados, a variável numérica retorna ao valor zero.

### 3.2 Famílias (coletivo)

As famílias congregam um ou mais indivíduos e são, na prática, o ambiente de tomada de decisões e partilhamento financeiro. Apenas a variável de identificação da família permanece a mesma durante toda a simulação. Todas as outras são atualizadas ao longo de cada processo.

A variável *members* registra os agentes membros da família. Como utilizado em modelagem por Programação Orientada a Objetos (Object-Oriented Programming – OOP), a variável contém o próprio indivíduo que compõe a família. Com isso, as variáveis do indivíduo, tais como sua carteira financeira, por exemplo, permanecem acessíveis de dentro da família, desde que o indivíduo se mantenha como membro.

A composição dos membros das famílias pode se alterar por meio de casamento ou falecimento; e por nascimento, filho de alguma mulher componente da família.

Outro objeto que é acessado como uma variável das famílias é *house*. Essa variável se refere ao domicílio no qual a família reside no momento, podendo ser proprietária ou locatária. Ao mesmo tempo, registra-se a identificação da região na qual a residência corrente está localizada (*region\_id*). Há ainda uma lista com eventuais propriedades de imóveis, denominada *owned\_houses*, que se altera quando há venda ou compra de algum imóvel pela família.

Outras variáveis numéricas, atualizadas mensalmente e registradas no âmbito da família incluem: balanço financeiro (*balance*); poupança (*savings*); riqueza – na qual se contabilizam os ativos financeiros e os imóveis (*wealth*); pagamento de eventuais prestações de empréstimos; e cálculo da renda permanente (*last\_permanent\_income*).

### 3.3 Firmas

As firmas possuem localização fixa (*address*), que consiste em objeto geográfico do tipo *point* da classe *shapely*, referindo-se as suas coordenadas. Todas as outras variáveis são atualizadas mensalmente e incluem o saldo disponível em conta (*total\_balance*), quantidade produzida (*amount\_produced*), preço corrente do produto<sup>4</sup> (*prices*), salários pagos (*wages\_paid*), lucros auferidos e impostos pagos (*taxes\_paid*). A quantidade vendida (*amount\_sold*), em número de unidades do bem (*float*) e o faturamento (*revenue*) são reinicializados em zero, no início de cada mês. Finalmente, as firmas também registram o preço atribuído ao produto.

---

4. O *PolicySpace2* só conta com um produto homogêneo por firma – diferenciado pela localização da venda – e pelo preço. Contudo, a programação conta com um inventário que poderia incluir novos produtos, também endogenamente gerados, mas que permanecem com apenas um produto.

Adicionalmente, as firmas de construção, especificamente, contêm a informação se estão construindo ou não (booleana, *building*), o inventário de imóveis construídos e ainda não vendidos (*houses\_inventory*), o custo, o tamanho, a qualidade e a região do domicílio em construção (*building\_region*, *building\_size*, *building\_cost*, *building\_quality*). Finalmente, há uma organização do fluxo de caixa da firma, de modo que a venda do imóvel não é contabilizada à vista, mas, sim, em prestações. Para permitir o fluxo de pagamento dos funcionários, os dados são registrados na variável (*cash\_flow*), que é um dicionário contendo o mês de pagamento e a prestação.

### 3.4 Domicílios

Os domicílios mantêm também uma identificação única, endereço, qualidade e região de localização, todos atributos invariáveis. O preço (*float*, *price*) é ajustado a partir da alteração de preços da região e outros fatores.<sup>5</sup> O domicílio, especificamente, contém a identificação da família (*family\_id*) que se refere ao ocupante (proprietário ou locatário) e da família proprietária (*owner\_id*). Quando em locação, a residência mantém informação referente ao pagamento de aluguel (*rent\_data*); e, quando desocupada, registra o número de meses à venda (*on\_market*).

### 3.5 Banco

Um banco concentra depósitos dos clientes – identificados separadamente –, registra os recursos disponíveis em caixa (*float*, *balance*), referente ao lucro com empréstimos e dispêndios e o total de ativos (*outstanding\_loans*). Mantém ainda uma carteira com os depósitos e prazos identificados. A cada concessão de empréstimo efetivada, uma instância, denominada *loan*, é criada e registra a idade do contrato, o valor do principal, o saldo devedor (principal mais juros), os pagamentos realizados e o número de atrasados, bem como duas informações referentes à liquidação do empréstimo (*paid\_off*) ou a existência de pagamentos em atraso (*delinquent*).

### 3.6 RMs, municípios e APs

Centrais na espacialidade do *PolicySpace2*, as regiões são APs construídas pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Em alguns casos, o município possui apenas uma AP, que coincide espacialmente com os municípios. Do ponto de vista de localização e geração de dados espaciais, as APs são utilizadas como elemento espacial sempre que há informação disponível nesse nível (gênero, idade, população). Também em relação ao mercado imobiliário, cada AP tem

---

5. Ver detalhes na subseção 7.7.

seu índice de qualidade de vida (Quality of Life Index – QLI), atualizado de forma individual. Ou seja, o valor é o mesmo para todas as APs do município no início, porém se atualizam de acordo com os ganhos (ou perdas) proporcionais de população, ao longo da simulação. Do ponto de vista de arrecadação de impostos e registro de informações estatísticas macroeconômicas (PIB, inflação, orçamento), o município é a unidade de referência. Funciona como centro de arrecadação, recebendo o orçamento e redistribuindo de forma proporcional às populações de cada AP. Com isso, mantém como atributos o QLI (*index*), o PIB (*gross domestic product* – GDP), a população (*pop*), além de dicionários que registram tributos com valores mensais e acumulados (*treasure, cumulative\_treasure, applied\_treasure*). Por fim, cada região contém um número exógeno de licenças para construção de novas residências (*licenses*).

### 3.7 Escalas

Em termos temporais, a escala de operação do *PolicySpace2* é mensal. Os processos descritos, conforme a sequência da subseção 4.2, se sucedem todos os meses. Por padrão, a simulação roda de janeiro de 2010 a dezembro de 2020, portanto por 120 ciclos. Entretanto, o modelo também pode ser configurado para ser iniciado em 2000, a partir dos dados do censo 2000 e das APs de 2000, e durar quantos meses o modelador escolher, até no máximo 2030. A partir de 2030 não estão configurados os dados de mortalidade do IBGE, portanto não é possível rodar para anos posteriores.

Em termos espaciais, como descrito na subseção anterior, o *PolicySpace2* opera no nível intraurbano, com os limites oficiais das APs do IBGE, que são agregações de setores censitários e mantêm dados amostrados ponderados estatisticamente. As APs se agregam em municípios que são entidades do modelo e operam na arrecadação e distribuição de impostos. Finalmente, cada simulação é independente para uma Área de Concentração de População (ACP) do IBGE (2016), o que equivale à parte mais dinâmica e central das 46 RMs utilizadas.

Com isso, não há, portanto, migração ou viagem entre RMs. Para o caso de São Paulo, por exemplo, que apresenta várias RMs muito integradas e próximas, é possível simular as de Campinas, Santos e São Paulo em conjunto. Todavia, nesse caso, haverá deslocamentos diários entre qualquer ponto das RMs no seu conjunto, embora mediados pelo custo de transportes.

## 4 ODD: VISÃO GERAL DE PROCESSOS E SEQUÊNCIA DE PASSOS EXECUTADOS

A intuição geral do modelo e a visão geral dos processos são apresentadas inicialmente no capítulo 2. As fórmulas e a racionalidade baseadas na literatura são feitas para cada processo na descrição dos submodelos (seção 7 do capítulo 3). O relevante

nesse ponto de acordo com a prescrição do protocolo ODD é a ordem de execução de cada etapa e de cada fase e qual a racionalidade para cada ordenamento. Ao mesmo tempo, são detalhadas as variáveis que são atualizadas, a cada passo.

O *PolicySpace2* é uma simulação com periodicidade mensal que, na configuração-padrão, ocorre 120 vezes (2010-2020). A chamada central do modelo ocorre por meio do programa *main.py*, executado pelo intérprete Python (versão 3.7). Esse módulo determina o número de simulações que serão executadas e compatibiliza os parâmetros para cada simulação. No modo-padrão (*python main.py run*),<sup>6</sup> a simulação é executada apenas uma vez, de acordo com os parâmetros estabelecidos no arquivo *params.py* e as informações sobre data inicial e final, nome da RM, percentual de população a considerar, local de salvamento, entre outros detalhes de cada execução.

Quando a chamada é feita no modo *sensitivity*, que envolve a simulação com variação de parâmetros e produção de gráficos comparativos, o módulo *main.py* organiza cada execução individual, para cada grupo de parâmetros.

#### 4.1 Geração de agentes

Três processos são executados sequencialmente. Em primeiro lugar, ocorre a geração de agentes determinada pelos parâmetros escolhidos. Como esse processo é demorado, é possível salvar os agentes já criados e apenas ler os arquivos correspondentes na próxima simulação. Também é possível realizar o ajuste para que agentes novos sejam criados a cada simulação.

Os arquivos salvos são específicos para uma dada combinação de parâmetros que influenciam a geração dos agentes. Assim que qualquer alteração em qualquer desses parâmetros, necessariamente, leva à geração de novo conjunto de agentes. Os parâmetros que influenciam a geração de agentes são os descritos a seguir.

- 1) *Members\_per\_family*: utilizado apenas quando a data inicial de simulação é o ano de 2000. Para 2010, o número de membros da família é lido diretamente dos dados das APs.
- 2) *House\_vacancy*: determina a vacância no número de imóveis de saída do modelo no primeiro mês.
- 3) *Simplify\_pop\_evolution*: é um parâmetro de simplificação do processo de geração de agentes por idade. Caso seja determinado como falso, esse parâmetro gera a população probabilisticamente para cada ano de idade. Quando verdadeiro, que é a escolha-padrão, as idades dos agentes são sorteadas em seis grupos agregados de idades.

---

6. Ver a seção 8, que descreve a operacionalização da simulação.

- 4) *Percentage\_actual\_pop*: é o percentual da população da RM a ser considerada. Como padrão, utilizamos 1% da população. É possível rodar com 100% da população, mas a demanda computacional é relativamente grande e só simulamos nesse caso para a RM de Ipatinga, em Minas Gerais.
- 5) *T\_licenses\_per\_region*: refere-se ao número de novas licenças para construção por AP a cada mês. O valor-padrão é *random*, o que, na prática, leva à geração de uma ou nenhuma licença por AP por mês, o que parece mais do que suficiente para abastecer o mercado de construção civil simulado, uma vez que sobram muitas licenças ao final do processo.
- 6) *Percent\_construction\_firms*: determina o percentual entre as firmas do modelo que serão firmas de construção civil. O número de firmas em si é proporcional ao percentual da população simulada e iniciada a partir de dados reais de número de firmas por APs (no ano-padrão de 2010).
- 7) *Starting\_day*: pode ser determinado como janeiro de 2000 ou janeiro de 2010, sendo este último o parâmetro-padrão.

Para detalhes do processo de geração de agentes, ver a subseção 4.1. Aqui, o relevante é especificar a ordem de geração dos agentes. Os primeiros agentes a serem criados são as regiões, quais sejam, as menores unidades espaciais de análise a partir das APs do IBGE. É feita uma iteração sobre as regiões, sem ordem específica, uma vez que elas são independentes entre si, e a geração depende somente dos dados. A partir de então, para cada região são criados, sucessivamente, os agentes, as famílias e os imóveis para aquela região.

O número de agentes criados para cada região é dado pelo percentual de população real naquela determinada região (AP), de acordo com o número de agentes de cada gênero e de cada idade. Uma vez criados os agentes e as famílias de cada região, os agentes são alocados como membros de cada família de forma separada para adultos (acima de 21 anos) e crianças. Os agentes são embaralhados de forma aleatória antes de serem alocados às famílias.

A alocação de adultos é feita de forma tão equânime quanto possível, de modo que as famílias tenham proporções similares de adultos. A alocação de crianças é feita para todas as crianças com a escolha das famílias de forma aleatória, de modo que possa haver famílias com mais crianças e famílias com nenhuma criança.

Na sequência, os imóveis são embaralhados e distribuídos a um percentual das famílias, de acordo com parâmetro exógeno. Nessa primeira parte do processo, a intenção é que cada família desse percentual seja possuidora de seu próprio

imóvel. Os imóveis restantes são alocados de forma aleatória às famílias e poderão ser alugados pelas famílias que não possuem imóveis. Isso é repetido para cada região da simulação corrente. Na prática, algumas famílias recebem mais de um imóvel e outras nenhum imóvel.

Ao final do processo, cada agente pertence a uma família que possui um endereço de residência, podendo ser em imóvel próprio ou alugado e todos os imóveis possuem alguma família que é proprietária, embora nem todos os imóveis estejam ocupados.

Um segundo processo geral apenas controla a passagem de dias e a cada mês processa todos os passos descritos a seguir. Embora nenhum processo seja executado diariamente, trimestralmente ou anualmente, essa possibilidade existe na programação do modelo.

#### 4.2 Processos mensais

Após a inicialização dos agentes – por meio de geração ou leitura –, a simulação percorre as mesmas atividades, mês a mês, até o fim do período estabelecido. A chamada de comandos ocorre na ordem apresentada a seguir.

- 1) Os juros mensais e os juros de financiamento imobiliário são lidos de dados exógenos.
- 2) Cada região (AP) disponibiliza novas licenças para a construção civil (exógeno). Como o processo é independente, a ordem não altera a execução.
- 3) Novas firmas são incorporadas ao modelo. Enquanto o número absoluto de firmas segue o padrão exógeno empiricamente observado, sua alocação em cada AP se dá probabilisticamente de acordo com o número de empregados e lucro médios.
- 4) As firmas atualizam sua produção. Esse processo também é independente para cada firma e depende apenas do número de funcionários e da qualificação deles.
- 5) Os processos demográficos de mortalidade, fertilidade e envelhecimento, com parâmetros de probabilidade exógenos e dados oficiais, são executados. O processo ocorre anualmente, no mês de aniversário de cada agente. As coortes são operadas por Unidade da Federação (UF), que é a origem das probabilidades, e por ordem crescente de idade. O primeiro processo que ocorre é o avanço de idade, para em seguida serem atualizadas a probabilidade de casamento (para aqueles acima de 21 anos) e a probabilidade de morte. Para as mulheres, adicionalmente

para aquelas entre 14 e 50 anos, é verificada a probabilidade de dar à luz. Caso positivo, um novo agente é criado e incorporado à família da mãe.

- 6) Em seguida, ocorrem os processos de imigração e casamento. Por município, é calculado, a partir de dados exógenos e estimação linear para os anos sem informação, o número de migrantes anual, alocando igualmente para cada mês do ano. O mesmo procedimento descrito no processo de geração é realizado. Primeiro ocorre a geração dos agentes, depois das famílias e então a alocação de agentes nas famílias novas. Entretanto, no momento de alocação do imóvel, a família é direcionada ao mercado de aluguéis. As famílias que não conseguirem alugar um imóvel não são inseridas no modelo.
- 7) No processo de casamento, todos os agentes – com sua probabilidade de realizar novo casamento atualizada anualmente no mês de aniversário – são incluídos probabilisticamente em uma lista. A lista é embaralhada e são formados pares de forma aleatória. O casamento e a formação da nova família só se efetivam se a nova família consegue encontrar imóvel para alugar.
- 8) O mercado de bens tem início com o consumo das famílias. As famílias selecionam uma amostra das firmas de modo aleatório e tamanho fixado de forma exógena por parâmetro.
- 9) O banco cobra as prestações de financiamento imobiliário devidas, de acordo com a ordem presente na sua carteira, família a família.
- 10) As firmas avaliam o faturamento, pagam impostos e calculam lucros ou prejuízos. Pagam seus empregados e decidem se atualizam os preços.
- 11) Antes do planejamento da construção civil, a vacância de imóveis global mensal é calculada. Para cada firma construtora, ocorre o processo de planejamento de novos imóveis e, na sequência, a verificação se imóveis anteriormente planejados foram concluídos. Caso afirmativo, eles entram no portfólio de vendas da firma.
- 12) O mercado de trabalho se inicia com a formação de uma lista que inclui todos os agentes em idade laboral (entre 16 e 70 anos) que não estão trabalhando. Na sequência, de forma probabilística, de acordo com parâmetro exógeno, as firmas avaliam se participam do mercado de trabalho naquele mês. Se optarem pela participação, podem demitir um empregado ou abrir um posto de trabalho novo.
- 13) Os candidatos e as firmas são embaralhados. Verifica-se, de acordo com o último salário existente do candidato e o decil de renda correspondente,

se há posse de carro para transporte individual ou não. As vagas disponíveis são divididas de acordo com o parâmetro exógeno entre aquelas cujo critério é por proximidade e aquelas por qualificação. Cada uma das listas é ordenada de forma que as firmas que pagam maiores salários escolhem primeiro. O processo por qualificação ocorre primeiro e é seguido do processo por proximidade. Para cada firma que inicia o processo de contratação, uma amostra de candidatos é selecionada.

- 14) Depois do processo de seleção, entretanto, as firmas e os candidatos são organizados de acordo com o valor do indicador geral de ofertas, qual seja, cada candidato que participou de cada processo seletivo realiza a classificação da firma de acordo com o salário e o custo de transporte. Adicionalmente, a qualificação também é incluída no cálculo do indicador para o caso das firmas que se utilizaram desse critério. Com isso, o ordenamento final é o *score* da soma da qualificação do candidato (lado da firma), mais o salário descontado do custo real de transporte (lado do candidato). A firma do par candidato-firma com *score* mais alto realiza a contratação e ambos saem do mercado. O próximo par realiza a contratação, e assim sucessivamente, sempre que o par ainda permanecer no mercado.
- 15) Logo em seguida, as transações do mercado imobiliário se realizam. Uma amostra das famílias determinada por parâmetro exógeno é escolhida. Todos os imóveis têm seus preços atualizados, e aqueles desocupados integram a lista de imóveis à venda e atualizam a informação referente a quanto tempo estão disponíveis no mercado. As famílias são ordenadas por poder de compra, incluindo potenciais financiamentos imobiliários. Os imóveis são divididos entre o mercado de aluguéis e de vendas de acordo com a proporção de parâmetro exógeno.
- 16) O mercado de aluguéis ocorre primeiro. Nesse caso, as famílias são ordenadas de acordo com sua variável de renda permanente. Os imóveis para alugar compõem uma amostra aleatória. Se há imóvel cujo aluguel é menor que a renda permanente da família, ela escolhe um imóvel aleatório. Todavia, quando a família já está instalada – não é migrante ou proveniente de novo casamento –, concretizará a mudança somente quando a mudança for para uma residência melhor (mais cara). Quando o aluguel não é compatível com a renda da família, propõe um desconto, proporcional ao tamanho da oferta de imóveis vagos, para o imóvel de aluguel mais barato.
- 17) No mercado de compra e venda, a família escolhe uma amostra de imóveis disponíveis no mercado e tenta comprar o imóvel mais caro na

amostra. Se o imóvel escolhido está nos limites de sua poupança, negocia o preço e realiza a compra. Se o imóvel está dentro dos limites de sua poupança acrescida de financiamento, a família solicita financiamento imobiliário. Caso o financiamento seja negado, a família sai do mercado. Se o imóvel está acima dos limites da poupança da família, acrescido do financiamento potencial, busca o próximo imóvel mais barato.

- 18) As famílias fazem investimentos, quando é o caso.
- 19) Municípios investem os impostos arrecadados em melhorias públicas.
- 20) As estatísticas e informações mensais do modelo são coletadas.

## 5 ODD: CONCEITOS DE DESENHO DO MODELO

O desenho do modelo buscou representar os processos do ponto de vista das famílias e firmas com suporte na literatura, quando disponível. Seguindo a proposta de construção da descrição do modelo ODD, os detalhes de cada submodelo constam na seção 7.

### 5.1 ODD: princípios básicos – processo de decisão dos agentes

O princípio básico norteador do *PolicySpace2* foi a intenção de descrever os processos do complexo mercado imobiliário de forma inicialmente simples e intuitiva. A partir desse modelo básico, foram incorporados dados empíricos constituintes e um conjunto de parâmetros razoáveis no intuito de observar o comportamento da economia após alterações nos processos e nos parâmetros. Com isso, busca-se compreender melhor os mecanismos de interação e conexão entre a economia como um todo e o mercado imobiliário em específico, ao mesmo tempo que se incluem várias dimensões de análise ao problema. O *PolicySpace2* reúne no mesmo modelo as idiosincrasias e localização do bem imóvel, o mercado de construção assíncrono, a relevância dos processos de produção, mercado de trabalho e salários endógenos, o financiamento imobiliário e as alterações nas famílias em um ambiente empírico específico para cada RM brasileira.

Entre as tradições de modelagem, o *PolicySpace2* consegue unir tradições puramente econômicas e não espaciais, como as revisadas por Dawid e Gatti (2018), aos modelos com origem em análises de mobilidade (Waddell, 2011), incluindo salários endógenos, ausentes nas análises típicas de mercado imobiliário (Baptista *et al.*, 2016; Guerrero, 2020; Hamill e Gilbert, 2016) e ainda mercados de trabalho, a exemplo do modelo seminal de Neugart e Richiardi (2012). Além de incluir aspectos de todas essas abordagens é espacialmente mais detalhado que modelos da tradicional corrente de mudanças de uso do solo (Parker *et al.*, 2003), com processos espaciais presentes em todos os mercados.

Em termos de concepção e desenho de modelagem, note que tradicionalmente na literatura econômica processos são instantâneos com resolução de equações e ajuste de preços de forma a equilibrar o mercado. Na prática, entretanto, a firma só conhece a demanda após efetivado o consumo das famílias e não tem informações suficientes para determinar com precisão preços e salários. Alguns pontos centrais da simulação se baseiam em abordagens de modelagem presentes na literatura, outros foram incluídos a partir de nossa própria concepção. Marcantemente, destacamos a seguir – de forma complementar à descrição dos submodelos – processos de difícil desenho e como foram implementados.

- 1) Decisão de preços da firma: Blinder (1994) faz uma revisão das práticas das firmas a partir de um *survey* e identifica vários padrões distintos na tomada de decisões de preços. Incorporamos algumas das sugestões de comportamento das firmas conforme propostas por Blinder ao incluir parâmetros exógenos que controlam a frequência com que as firmas atualizam seus preços. Tampouco as firmas avaliam o mercado de trabalho todos os meses, mas usualmente em alguns intervalos de três ou quatro meses. Adicionalmente, optou-se pelo comportamento no qual a firma observa o próprio inventário para estabelecer preços (Seppecher, Salle e Lavoie, 2017).
- 2) Decisão de salários: os salários são determinados a partir das receitas da firma, descontados os impostos e o tamanho de desemprego global. Quanto maior o desemprego, menor o volume de receitas a ser distribuído entre os trabalhadores. A distribuição é feita de forma proporcional à produtividade de cada um.
- 3) Decisão de consumo das famílias: a decisão de consumo das famílias é baseada no cálculo da sua renda permanente (Dawid e Gatti, 2018), de modo que é proporcional aos recursos monetários disponíveis, à poupança da família e ao seu patrimônio. Na prática, todos os valores que excedem o cálculo da renda permanente são direcionados à poupança, enquanto valores até a renda permanente são direcionados ao consumo. Eventualmente, quando não há recursos imediatos para pagamento de empréstimos, aluguéis ou consumo, os recursos são subtraídos da poupança.
- 4) Mercado de trabalho e decisões de contratação: os processos utilizados seguem em geral aqueles descritos na literatura (Neugart e Richiardi, 2012). Incluem, por exemplo, a relação negativa entre a oferta de trabalhadores (desemprego) e a definição dos salários. Segue também a busca das firmas por trabalhadores mais qualificados. Adicionalmente, *PolicySpace2* se utiliza do fator de proximidade, mais especificamente

o custo de transporte condicionado ao acesso aos serviços públicos e privados de transportes, como critério do trabalhador na escolha da firma. Não está incluído nenhum processo de interação ou de redes sociais na amostra que a firma se utiliza para os processos seletivos.

- 5) Processo de negociação de imóveis no mercado imobiliário: o processo de definição de preços tradicional segue um arcabouço mais abstrato (Dipasquale e Wheaton, 1996) de difícil aplicação na prática ou em ABM, já que não é microfundamentado e não descreve o caminho para o equilíbrio. Ainda assim, o cálculo de preços de imóveis a partir de regressões hedônicas está bem estabelecido na literatura, segundo o texto seminal de Rosen (1974). O preço transacionado, todavia, é de difícil mensuração (Glaeser e Nathanson, 2017). No *PolicySpace2* desenhamos um processo relativamente engenhoso que permite preços acima e abaixo do mercado. Descrito em detalhes na subseção 7.7, o processo de negociação em si envolve duas fases. Do lado da demanda, o comprador faz uma avaliação hedônica do preço, incorporando as características intrínsecas do imóvel, a qualidade de vida municipal, que evolui de acordo com o dinamismo de suas empresas e é ponderada pelo peso da população de cada AP e a renda média das famílias da vizinhança como *proxy* para aspectos de percepção (Galster, 2001; Furtado, 2011). Do lado da oferta, o vendedor estima corretamente a poupança real da família, incluídos potenciais financiamentos bancários. O ajuste de preços, por sua vez, é feito como média das duas estimativas, quando a poupança é suficiente. Caso contrário, o vendedor verifica o tamanho da oferta de imóveis global no mercado (a vacância) e pode aceitar probabilisticamente um certo nível de desconto.
- 6) Eficiência da gestão municipal: um parâmetro exógeno transforma linearmente os recursos arrecadados e transferidos para o erário municipal em alterações do QLI do município. Esse indicador é utilizado na formação de preços do mercado de imóveis. Todavia, note que esse fator é apenas um elemento componente referencial do preço estimado, e o efetivo preço transacionado dependerá da capacidade de poupança da família.
- 7) Decisão de participação no mercado imobiliário e decisão entre alugar ou comprar: não encontramos elementos suficientes para caracterizar quando as famílias decidem participar no mercado imobiliário (Furtado e Souza, 2020), sendo que apenas temos indicações empíricas da frequência com que o fazem. Também não obtivemos indícios do processo de decisão entre morar em imóvel próprio ou alugar, sendo

que a análise dos dados empíricos sugere que tanto famílias com maior ou com menor poder econômico escolhem alugar ou comprar (Furtado e Galindo, 2010). Assim, esses dois processos são operados por meio de parâmetros exógenos.

- 8) Decisão de conceder financiamento imobiliário: o processo de decisão de concessão de empréstimo se inicia pela avaliação de três critérios-padrão: i) se o banco possui recursos para empréstimo; ii) se a família requisitante já não possui algum empréstimo; e iii) se o conjunto de empréstimos já oferecidos não ultrapassa o percentual exogenamente fixado de exposição do banco, ou seja, se não excedeu a quantidade de depósitos que devem ser retidos compulsoriamente.
- 9) Produtividade das firmas: a produtividade das firmas varia de acordo com a qualificação dos seus empregados (Gaffeo *et al.*, 2008). Dois parâmetros fazem um ajuste global da produtividade e a consequente quantidade de produtos que cada firma produz.

## 5.2 ODD: emergência

Dado o nível de complexidade para o qual o *PolicySpace2* evoluiu, com o número de mecanismos, parâmetros e dados empíricos, é difícil dizer qual resultado é especificamente emergente. A análise de sensibilidade – realizada inúmeras vezes no processo de construção e desenvolvimento do modelo e analisada no capítulo 5 – sugere, entretanto, que a produtividade dos trabalhadores é o mecanismo singular de maior influência no comportamento geral da economia. Em relação ao mercado imobiliário, a eficiência da transformação de recursos arrecadados em melhoria do QLI também parece ser especialmente influente nos preços finais transacionados no mercado imobiliário.

Um terceiro fator de relevância no modelo é a composição empírica inicial das vizinhanças. Simulações que envolvem exatamente o mesmo conjunto de parâmetros iniciais, mas que se utilizam de dados para RMs diferentes, resulta em comportamento com trajetória diferente para alguns indicadores centrais, tais como a evolução do desemprego, do PIB ou o lucro das empresas, por exemplo.

De todo modo, para grande conjunto de variações analisadas, há crescimento ou manutenção do PIB e dos empregos, com inflação relativamente comportada, com poucas combinações em que supera 20%. O coeficiente de Gini também se mantém estável para todas as configurações com a maioria dos valores finais entre 0,4 e 0,55. Os pagamentos de impostos e o consumo geral das famílias também são preservados para a grande maioria das configurações de parâmetros e mecanismos.

### 5.3 ODD: adaptação

Vários mecanismos incluem tomada de decisão a partir da situação observada localmente e sua consequente adaptação, entre as quais se encontram as que se seguem.

- Famílias decidem solicitar financiamento imobiliário caso o imóvel mais caro da sua amostra esteja acima do valor da sua poupança disponível.
- Os candidatos escolhem a firma de acordo com critério de ranqueamento, que inclui seu próprio custo de transporte, com sua característica de usuário de transporte público ou individual.
- Novos casais abandonam planos de criação de novas famílias se não obtêm sucesso no mercado de aluguéis. O mesmo ocorre com novas famílias imigrantes.
- As firmas contratam ou dispensam empregados de acordo com sua *performance* de vendas realizada no mercado de consumo.
- As firmas construtoras ponderam a rentabilidade projetada e o tamanho da oferta corrente de imóveis ao planejar construir novos imóveis.

### 5.4 ODD: objetivos

Não há no *PolicySpace2* funções de utilidade explícitas. De todo modo, podemos listar alguns objetivos buscados pelos agentes ao longo da simulação.

- Candidatos em idade laboral sempre buscam empregos.
- Imóveis desocupados sempre estão disponíveis para aluguel ou venda.
- Famílias sempre buscam comprar o imóvel mais caro de sua amostra, embora somente se mudem para o mais caro (melhor) quando pelo menos um membro da família esteja empregado.
- Firms buscam contratar trabalhadores com maior qualificação possível ou que morem mais próximos, no intuito de reduzir seu próprio custo de transporte subsidiado.
- Vendedores buscam extrair a maior poupança das famílias compradoras.
- Bancos buscam realizar empréstimos para famílias que possuem patrimônio proporcionalmente suficiente para arcar com os pagamentos.
- Famílias buscam manter seu consumo em sintonia com sua renda permanente calculada.

### 5.5 ODD: aprendizado

O *PolicySpace2* não contém métodos endógenos de alteração de comportamento a partir de experiências anteriores. Antevemos a possibilidade de implementar alteração endógena de qualificação do trabalhador.

### 5.6 ODD: previsão

Também não há previsão explícita no *PolicySpace2*. Em três momentos, os agentes consideram implicações futuras de ações presentes.

- 1) Na construção civil, o planejamento para a construção de novos imóveis envolve a lucratividade presente, bem como o tamanho da oferta presente para decidir se inicia processo de construção de imóveis que ficarão prontos no futuro.
- 2) As famílias, ao realizarem o cálculo de renda permanente, consideram os juros correntes na economia e o impacto sobre seu patrimônio futuro para decidir sobre parcela de consumo presente.
- 3) As firmas observam a demanda anterior e seu consequente efeito sobre suas finanças para decidir no presente sobre o aumento ou a redução do tamanho da equipe de trabalhadores e sua capacidade de produção futura.

### 5.7 ODD: percepção

Globalmente, apenas os indicadores referentes ao desemprego e a vacância geral de imóveis são conhecidos de todos os agentes. O resto das informações são restritas aos agentes no momento de sua interação, conforme a seguir.

- No caso da negociação no mercado imobiliário, as famílias conhecem os preços calculados dos imóveis de uma pequena amostra. Os vendedores estimam (acertadamente) a poupança das famílias, quando ocorre a decisão conjunta de preços. Adicionalmente, as famílias conseguem estimar a componente da renda média das famílias da vizinhança ao calcular os preços dos imóveis em oferta da sua amostra.
- As firmas observam apenas sua receita, a qualificação de seus trabalhadores e o desemprego global para determinar salários. Os preços são atribuídos por meio de informações da própria firma.
- As firmas de construção civil conseguem calcular a rentabilidade prevista no planejamento de novos imóveis a partir de médias de tamanho, qualidade e preço de alguns imóveis para as regiões pretendidas.

- Os trabalhadores sabem o salário oferecido pela firma, quando participam de um processo seletivo e também calculam a distância e o custo de transportes da sua residência corrente à firma.
- Os bancos conhecem o patrimônio de seus clientes, bem como sua presença ou ausência na carteira no momento de decidir sobre a concessão de financiamento imobiliário.
- As famílias conhecem os preços e as distâncias de uma amostra de firmas no momento da decisão sobre consumo.
- Os municípios conhecem o quantitativo de sua população mensalmente. Também são efetivos na cobrança de todos os impostos, portanto, conhecem os proprietários e locatários de imóveis, os que transacionaram imóveis, o consumo das famílias, o pagamento dos trabalhadores e o lucro das firmas.

### 5.8 ODD: interação

Os agentes interagem entre si nos três mercados; e com o banco, quando necessitam financiamento ou desejam fazer investimentos, conforme adiante.

- No mercado imobiliário, a interação é mediada pela competição, sendo que a família busca comprar o imóvel mais caro, de melhor qualidade, melhor qualidade, da sua amostra e alugar o mais barato da amostra que seu orçamento permita.
- No mercado de bens, a interação também é mediada pelos preços e localização das firmas, entre aquelas contidas na amostra – que varia todo mês – da família.
- Também no mercado de trabalho, a contratação é mediada pela competição entre os agentes, considerados os critérios de maior qualificação e custo de proximidade à firma.

Há outros dois processos de interação implícitos. O primeiro se refere à influência da renda do conjunto de famílias de uma dada vizinhança nos preços dos imóveis daquela localidade. O segundo se refere à influência da dinâmica arrecadatória das firmas de um dado município e seu impacto, via arrecadação de impostos, no QLI municipal.

### 5.9 ODD: estocasticidade

Processos aleatórios são utilizados inúmeras vezes ao longo de uma simulação como no *PolicySpace2*. De forma geral, todo processo descrito como probabilístico – como a participação no processo de casamento, fertilidade ou mortalidade – implica sortear um número entre zero e um, por exemplo, e verificar se o número é maior ou menor

que a probabilidade que se testa. Também são processos aleatórios todas as vezes que há uma seleção de amostra entre os agentes do modelo. A título de exemplo, os dados de entrada sugerem que um homem de 79 anos de idade, residente no Distrito Federal, em 2020, tem uma probabilidade de 0,0438 de morrer ao longo do próximo ano. No mês de aniversário, o modelo processa um número aleatório. Se o valor sorteado é superior à probabilidade, o agente permanece na simulação.

A semente (*seed*) que determina o processo gerador de números aleatórios na simulação é controlada de modo que seja possível replicar exatamente a mesma simulação, utilizando-se da mesma semente, independentemente dos inúmeros processos aleatórios existentes. A aleatoriedade é contrabalançada pela simulação do modelo repetidas vezes, com sementes diferentes, e o resultado é apresentado como média das várias simulações.

Os seguintes processos envolvem estocasticidade.<sup>7</sup>

- 1) Geração de agentes:
  - a) no pareamento entre qualificação e anos de estudo;
  - b) na atribuição de idade, entre o grupo de idade;
  - c) na alocação de recursos financeiros iniciais;
  - d) no mês de aniversário;
  - e) na entrada de imigrantes, a partir da escolha de um agente existente para replicar as características – exceto recursos financeiros;
  - f) no momento de embaralhar e alocar os agentes nas famílias;
  - g) na escolha do endereço pontual do imóvel dentro da AP;
  - h) no tamanho e qualidade do imóvel;
  - i) na alocação de urbano ou rural para municípios com somente uma AP;
  - j) no processo de alocação de imóveis às famílias; e
  - k) no balanço financeiro inicial das firmas.
- 2) No mercado imobiliário:
  - a) na composição da amostra de imóveis que cada família verifica;
  - b) na probabilidade da concessão de financiamento imobiliário pelo banco, para transpor o critério de montante de recursos emprestados em proporção ao patrimônio da família;

---

7. A lista não tem garantia de exaustão. Busque o código disponível no GitHub referenciado para uma análise ainda mais detalhada. Disponível em: <[www.Github.com/bafurtado/policyspace2](http://www.Github.com/bafurtado/policyspace2)>.

- c) na avaliação do vendedor, se aceita proposta de desconto sobre o preço calculado, em proporção à vacância de imóveis globais;
  - d) na escolha do imóvel a ser locado, entre aqueles que cabem no orçamento na amostra selecionada;
  - e) na avaliação da firma construtora, se decide por começar a construir um novo imóvel;
  - f) na produtividade, adicional ao *markup* da firma construtora; e
  - g) no incremento de licenças para construção das APs, mensalmente.
- 3) No mercado de trabalho:
- a) ao verificar se a firma participa do mercado em determinado mês;
  - b) na escolha de qual trabalhador demite, uma vez que a decisão está feita;
  - c) na construção da amostra de candidatos que a firma avalia;
  - d) no embaralhamento dos postos de trabalho disponíveis; e
  - e) na probabilidade, de acordo com o decil de renda do último salário do trabalhador, para a posse de carro particular.
- 4) No mercado de bens:
- a) na composição da amostra de firmas a serem avaliadas pela família;
  - b) na escolha do critério de decisão por preços ou por proximidade; e
  - c) na decisão da firma se atualiza os preços.
- 5) Demografia:
- a) na decisão de mortalidade, vinculada aos dados de entrada;
  - b) na decisão de fertilidade e consequente processo de geração de novo agente;
  - c) na distribuição de patrimônio e dívidas dos agentes que morrem e são os últimos de uma dada família, mas que geraram descendentes em outras famílias; e
  - d) na composição dos agentes que participam do processo de casamento, no embaralhamento da lista.

### 5.10 ODD: coletivos

O grande coletivo do *PolicySpace2* é a família. A família se comporta como unidade decisória nos processos de consumo e imóveis, mas é composta pelos seus membros que atuam de forma individual no mercado de trabalho.

### 5.11 ODD: observação – dados coletados

O processo de coleta e armazenamento de dados pode ser configurado no módulo *run.py*. É permitido gravar dados mensalmente, trimestralmente ou anualmente. Dados de firmas, bancos, empresas construtoras, por municípios e gerais são sempre salvos. Opcionalmente, podem-se salvar ainda os dados sobre os agentes individuais, sobre os agentes que morreram ao longo da simulação, sobre os imóveis e sobre as famílias.

Como último processo mensal, a chamada para o salvamento dos dados é feita. O módulo *output.py* então calcula e salva a série de estatísticas sobre cada grupo de agentes escolhidos. O arquivo com dados gerais, por exemplo, calcula e salva para o conjunto da RM as seguintes informações:

- o mês corrente;
- índice de preços;
- índice do PIB;
- crescimento do PIB;
- desemprego;
- média de trabalhadores por firma;
- riqueza das famílias;
- poupança das famílias;
- balanço total das firmas;
- o lucro das firmas;
- coeficiente de Gini;
- consumo acumulado das famílias;
- inflação;
- QLI dos municípios;
- vacância de imóveis;
- média dos preços dos imóveis;
- famílias que estão alugando imóveis;

- proporção de famílias cujo aluguel é menos que 30% do seu orçamento mensal;
- investimento dos municípios a partir de recursos divididos de forma equânime;
- localmente: Imposto Predial e Territorial Urbano (IPTU), Imposto de Transmissão de Bens Imóveis (ITBI) e parcela sobre o consumo;
- ou por meio do Fundo de Participação dos Municípios (FPM): porções do Imposto sobre Produtos Industrializados (IPI), Imposto de Renda (IR); e
- impostos pagos pelo banco.

Todas essas estatísticas são reportadas na forma de gráficos de evolução ao longo do período da simulação.

Na simulação-padrão (*run*), os gráficos apenas demonstram a evolução dos indicadores para a configuração-padrão dos parâmetros e a RM escolhida – o Distrito Federal e entorno.

Os resultados do modelo contribuem com o propósito da simulação, em especial ao realizar a análise da simulação do tipo *sensitivity*, na qual é possível comparar resultados para intervalos de alterações de parâmetros.

## 6 ODD: INICIALIZAÇÃO DO MODELO E DADOS DE ENTRADA NECESSÁRIOS

O modelo pode ser inicializado para cada uma das RMs em análise.<sup>8</sup> A inicialização do modelo pode ocorrer com a mesma *seed*, ou seja, com o mesmo processo gerador de número aleatório, de modo a repetir exatamente os mesmos resultados. Ou com *seed* diferente, de modo a produzir resultados distintos a cada simulação.

Além da RM escolhida, é necessário identificar os elementos a seguir.

- A porcentagem da população a ser utilizada como amostra. Usualmente rodamos as simulações com aproximadamente 1% a 2% da população. O modelo salva a geração inicial de agentes, de modo que outra simulação, com a mesma RM escolhida e o mesmo percentual de população, precisa apenas ler os agentes salvos anteriormente. Outros fatores devem permanecer os mesmos para a leitura de agentes.
- A proporção média de membros por família – para 2000.

---

8. Manaus, Belém, Macapá, São Luís, Teresina, Fortaleza, Crajubar (atual RM do Cariri: conurbação de Juazeiro do Norte, Crato e Barbalha), Natal, João Pessoa, Campina Grande, Recife, Maceió, Aracaju, Salvador, Feira de Santana, Ilhéus-Itabuna, Petrolina-Juazeiro, Belo Horizonte, Juiz de Fora, Ipatinga, Uberlândia, Vitória, Volta Redonda-Barra Mansa, Rio de Janeiro, Campos dos Goytacazes, São Paulo, Campinas, Sorocaba, São José do Rio Preto, Santos, Jundiá, São José dos Campos, Ribeirão Preto, Curitiba, Londrina, Maringá, Joinville, Florianópolis, Porto Alegre, Novo Hamburgo-São Leopoldo, Caxias do Sul, Pelotas-Rio Grande, Campo Grande, Cuiabá, Goiânia, Brasília.

- Percentual de vacância de residências.
- Decisão de simplificação da população por grupos de idades.<sup>9</sup>
- O ano de início da simulação (2000 ou 2010). A vacância de residências é estimada a partir da análise do censo 2000 (Nadalin, Furtado e Rabetti, 2018).

Os dados necessários para rodar o *PolicySpace2* incluem:<sup>10</sup> i) a proporção população urbana por município;<sup>11</sup> ii) o Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDHM), calculado pela Fundação João Pinheiro (FJP) e pelo Ipea;<sup>12</sup> e iii) os *shapefiles* (arquivos georreferenciados) das unidades estatísticas mínimas consideradas, sendo que, no caso do *PolicySpace2*, essas são as APs do IBGE, para os municípios com mais de uma AP, e o próprio município para aqueles sem subdivisões estatísticas. Adicionalmente, são utilizadas também as áreas urbanas, conforme delimitadas pelo IBGE, de acordo com o padrão de setores censitários.<sup>13</sup>

Quando do início do modelo em 2000, as áreas de ponderação desenhadas para o censo 2000 são utilizadas. Quando o início do modelo é especificado para 2010, então, as APs do censo 2010 são utilizadas. Note que as APs têm desenho, espacialização geográfica, quantidade e código distinto entre os dois censos. Ambas as APs utilizadas foram construídas a partir dos *shapefiles* de setores censitários do IBGE e da listagem de setores que compõem cada AP.

O número de firmas por APs do IBGE, na verdade o número de estabelecimentos, é fruto do esforço da pesquisadora Vanessa Nadalin, que processou as bases originais da Relação Anual de Informações Sociais (Rais) do antigo Ministério do Trabalho e georreferenciou, no ambiente proprietário do sistema ESRI/Galileo, as coordenadas geográficas de localização de cada empresa por meio de seu endereço e Código de Endereçamento Postal (CEP).

A partir das Rais georreferenciadas processadas, fizemos o cálculo do número de estabelecimentos por AP, para cada conjunto de APs (2000 e 2010). A simulação, quando começa em 2000, utiliza dados das Rais de 2002 e 2012. Quando começa em 2010, utiliza dados das Rais de 2010 e 2017. Note que para 2010 foram incorporados todos os municípios e não apenas aqueles pertencentes às ACPs de interesse. Por motivo de manutenção de sigilo, as APs

9. Parâmetros denominados: *members\_per\_family*, *house\_vacancy*, *simplify\_pop\_evolution* no modelo.

10. Uma vez que os dados utilizados são necessários no momento da inicialização do modelo, escolhemos descrevê-los aqui, embora o protocolo ODD recomende fazê-lo na seção imediatamente seguinte.

11. População residente, por sexo e situação do domicílio. Disponível em: <<https://sidra.ibge.gov.br/tabela/202>>.

12. Disponível em: <<http://atlasbrasil.org.br/2013/>>.

13. Disponível em: <[geoftp.ibge.gov.br/organizacao\\_do\\_territorio/malhas\\_territoriais/malhas\\_de\\_setores\\_censitarios\\_divisoes\\_intramunicipais](http://geoftp.ibge.gov.br/organizacao_do_territorio/malhas_territoriais/malhas_de_setores_censitarios_divisoes_intramunicipais)> e <[geoftp.ibge.gov.br/organizacao\\_do\\_territorio/tipologias\\_do\\_territorio/areas\\_urbanizadas\\_do\\_brasil](http://geoftp.ibge.gov.br/organizacao_do_territorio/tipologias_do_territorio/areas_urbanizadas_do_brasil)>.

com menos de três estabelecimentos foram todas atualizadas com a informação de três estabelecimentos.<sup>14</sup>

Os dados por gênero e idade para 2010 foram extraídos diretamente da tabela 1.378 do Sistema IBGE de Recuperação Automática (Sidra).

As estimativas da população proveem dos dados preparados pelo IBGE para o Tribunal de Contas da União (TCU) e divulgados anualmente.<sup>15</sup> O modelo utiliza as estimativas para inferir o crescimento populacional, para além do processo endógeno de fecundidade e mortalidade existentes no modelo.

Para 2000 foram extraídos os anos de estudo por área de ponderação (V4300). Para 2010, estava disponível a informação de nível de instrução (V6400), com a seguinte estrutura:

- sem instrução e fundamental incompleto;
- fundamental completo e médio incompleto;
- médio completo e superior incompleto;
- superior completo; e
- não determinado.

A partir dessa informação, o modelo transforma, de modo aleatório (distribuição uniforme), em anos de estudo.<sup>16</sup>

Também são utilizadas as séries do Banco Central ( $n^{os}$  433, 4.390, 25.497) descritas na seção 6, referentes aos dados necessários para inicialização.

Finalmente, para 2010, o número de membros por família deixa de ser exógeno – parâmetro escolhido pelo modelador –, sendo substituído pelo tamanho médio das famílias, no âmbito das APs, conforme apurado pelo IBGE no censo 2010.

O processo de geração das famílias do modelo ocorre uma vez, antes do início da simulação, de acordo com as escolhas feitas pelo modelador. Por celeridade, é possível utilizar agentes previamente criados em simulações subsequentes, desde que os parâmetros de criação permaneçam os mesmos.

---

14. Foram imputadas sete APs para 2002 e cinco para 2012, ambas com APs baseadas no censo 2000. Para 2010, como foram utilizadas as APs de todos os municípios, 64 APs continham menos de três estabelecimentos, sendo imputados o mínimo de três. Para 2017, foram 38 imputações.

15. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/populacao/9103-estimativas-de-populacao.html?=&t=downloads>>.

16. Mapa entre informação disponível (nível de instrução) e transformação em anos de estudo: um para um ou dois; dois para quatro ou seis ou oito; três para nove ou dez ou onze; quatro para doze ou treze ou quatorze; e cinco para um ou dois ou quatro ou seis ou oito ou nove.

## 6.1 Regiões

O processo de criação de todas as entidades no *PolicySpace2* se inicia pela importação dos limites geográficos das mínimas áreas utilizadas, quais sejam, as APs do IBGE. Assim, dependendo do ano de início da simulação (2000 ou 2010), as *shapefiles* correspondentes serão utilizadas. A informação necessária para criação de cada região, como referenciada no modelo, é apenas seu código único – e seus limites geográficos.

Ao longo da simulação, a região mantém uma série de informações agregadas referentes às famílias e firmas localizadas no seu território e atualizadas mensalmente. São elas: i) população; ii) IDHM; iii) PIB; iv) número de licenças disponíveis para novas construções; v) registro do orçamento, referente a transferências e impostos recebidos; e vi) soma de deslocamentos realizados pelas famílias.

Entre esses, todos se iniciam com zero e são calculados endogenamente pelo modelo, menos o índice IDHM, cujo valor para o primeiro mês é lido a partir dos dados disponibilizados pelo Ipea e pela FJP no Atlas do Desenvolvimento Municipal. A partir de cada região, utilizando seu código de AP no IBGE, as demais entidades são criadas no âmbito de cada região.

## 6.2 Agentes

O número de agentes, ou indivíduos, de cada região é determinado a partir das informações de gênero e idade para cada AP. Adicionalmente, anos de estudo de cada agente derivam dos resultados da amostra do censo. Desse modo, apenas o mês de nascimento (distribuição uniforme) e um estipêndio de recursos financeiros (também com distribuição uniforme, entre 1 e 34) não seguem informações cadastrais.

Ao longo da simulação, outros fatores relevantes para os agentes são reajustados de forma endógena: i) pertencimento à família (mortalidade, casamento); ii) emprego e salário; e iii) deslocamentos para trabalho.

## 6.3 Famílias

As famílias vão reunir o orçamento dos agentes e realizar compra e venda ou aluguel de imóveis. A participação no mercado de bens também ocorre no âmbito da família. No momento de criação, o número de famílias é dependente do número de indivíduos; e o parâmetro exógeno, do número médio de membros por família. Para 2010, essa informação é lida diretamente do número médio de membros por família por AP do IBGE.

Uma vez criados os agentes e as famílias, é realizado um processo de alocação dos indivíduos em cada família. Os agentes gerados são inicialmente divididos entre adultos (acima de 21 anos) e crianças. O primeiro passo busca, na medida

da disponibilidade dos agentes, alocar pelo menos um adulto para cada família. A distribuição busca manter um número similar de adultos por família, de acordo com o número de adultos e de famílias existentes na região. Na sequência, da mesma forma, as crianças são distribuídas entre as famílias existentes.

#### 6.4 Residências

O número de residências criadas é sempre algum percentual maior que o número de famílias, de modo que sempre há um número de residências vazias (Nadalin e Iglioni, 2016). Esse percentual é determinado como parâmetro do modelo, sugerindo-se valores entre 9% e 11% do número de famílias. As residências criadas possuem tamanho entre 20 m<sup>2</sup> e 120 m<sup>2</sup> e uma qualidade nos níveis entre 1 e 4. Os dois parâmetros são escolhidos de forma uniforme.

O preço inicial da residência é produto do seu tamanho, nível de qualidade e IDHM da região de localização da residência. Com isso, ao longo de todo o *PolicySpace2*, a composição do preço depende de características intrínsecas da residência (tamanho e qualidade), mas também de um fator de localização, que, como se verá, é variável a partir do desenvolvimento do modelo.

Quanto ao endereço, nos municípios onde não há subdivisões por APs, a localização das residências é escolhida de acordo com a proporção entre urbano e rural municipal, utilizando-se dos *shapefiles* do IBGE para áreas urbanizadas (2000 e 2010).<sup>17</sup> Nesses casos, dada a decisão probabilística de localização em área urbana ou rural, são selecionadas coordenadas geográficas que estejam contidas nos polígonos urbanos ou rurais municipais correspondentes. Quando o município possui mais de uma AP, a localização da residência ocorre em qualquer local que esteja dentro da AP. Note que municípios que contêm mais de uma AP são mais populosos e contêm APs com menores extensões territoriais.

Entre as residências criadas, uma porção, determinante por um parâmetro exógeno, é distribuída de forma linear (uma residência por família da lista). A porção restante é distribuída de forma aleatória entre todas as famílias. Quando a família recebe uma residência, registra a propriedade e, se ainda sem endereço, se muda. Desse modo, algumas famílias podem ficar sem residência, enquanto outras podem receber mais de uma. As famílias que ao fim do processo permanecem sem imóvel se dirigem ao mercado de aluguéis. Ao final do processo, todas os imóveis estão registrados no nome de alguma família.

---

17. Disponível em: <[https://geoftp.ibge.gov.br/organizacao\\_do\\_territorio/tipologias\\_do\\_territorio/areas\\_urbanizadas\\_do\\_brasil/](https://geoftp.ibge.gov.br/organizacao_do_territorio/tipologias_do_territorio/areas_urbanizadas_do_brasil/)>.

## 6.5 Firmas

O número de firmas por APs é determinado a partir do número de firmas inicialmente existentes na AP, conforme dados processados da Rais para 2000 e 2010. Adicionalmente, um percentual dessas firmas, de acordo com parâmetro exógeno, é criado como firma de construção, que atuará no mercado de construção de imóveis. Além da localização aleatória, no interior da região, as firmas também recebem um patrimônio em espécie inicial que segue um valor retirado de uma distribuição beta (com parâmetro alfa = 1.5 e beta = 10), multiplicado por 10 mil. As firmas participam do mercado de trabalho, admitindo e demitindo funcionários. O tamanho e a qualificação da sua força de trabalho determinam a produção que é vendida no mercado de bens. As decisões localmente condicionadas das firmas envolvem o estabelecimento de preços e salários e os momentos de contratação e redução de funcionários. Firmas construtoras adicionalmente decidem em qual região construir novas residências.

## 6.6 Bancos

Nesta versão, o *PolicySpace2* possui apenas um banco que recebe e remunera depósitos de clientes e realiza empréstimos. Sua criação considera apenas um parâmetro exógeno, qual seja, a taxa de juros básica da economia. Ao longo da simulação são utilizadas as séries do Banco Central relativas: i) ao Índice Nacional de Preços ao Consumidor Amplo (IPCA) – série 433; ii) à taxa média mensal de juros das operações de crédito com recursos direcionados (pessoas físicas, financiamento imobiliário com taxas de mercado) – série 25.497; e iii) à taxa de juros (Selic acumulada no mês) – série 4.390.

## 7 ODD: SUBMODELOS

Esta seção descreve em detalhes, fundamenta e justifica subprocessos do *PolicySpace2*, incluindo o propósito e a racionalidade de cada submodelo, bem como os parâmetros e as fórmulas. Com isso, detalharemos os mercados – de bens, de trabalho e imobiliário –, a racionalidade das firmas, do agente bancário e dos empréstimos imobiliários, além dos processos demográficos – mortalidade, fecundidade, imigração e casamento. Os valores dos parâmetros-padrão estão listados no apêndice deste livro.

### 7.1 ODD: racionalidade das firmas

As firmas ( $i$ ) participam do mercado de trabalho, contratando e dispensando trabalhadores ( $l$ ), do mercado de bens, com vendas às famílias ( $h$ ) e, para firmas do tipo construção, no mercado imobiliário, produzindo e vendendo residências ( $H$ ). A sequência que envolve as firmas é a que se segue.

- Crescimento exógeno de firmas novas, de acordo com o crescimento populacional observado.
- A quantidade produzida varia com o número de empregados e sua qualificação.
- Ao realizar vendas, as firmas atualizam balanço e faturamento mensal e realizam pagamento de imposto sobre consumo no ato da venda (detalhes no mercado de bens).
- Cálculo e pagamento de salários, proporcionais à qualificação/produktividade.
- Pagamento de imposto da firma e cálculo de lucros.
- Tomada de decisão sobre preços e ajustes.
- Firmas do tipo construtoras planejam e constroem residências.
- Tomada de decisão sobre atuação no mercado de trabalho e participação.
- Participação no mercado imobiliário para firmas construtoras.

### 7.2 ODD: novas firmas

O número positivo<sup>18</sup> de novas firmas é determinado de forma exógena, mantendo a base de firmas empiricamente observadas em um dado período (crescimento de número de estabelecimentos entre 2002 e 2012 para simulações que começam em 2000 e entre 2010 e 2017 para simulações de 2010). As novas firmas para cada município ficarão localizadas probabilisticamente nas APs mais dinâmicas. Especificamente, há maior probabilidade de a firma se localizar nas APs cuja média de lucros e de empregados, igualmente, é proporcionalmente maior. Escolhida a AP, a criação da firma ocorre da mesma forma que as firmas criadas no primeiro mês da simulação.

### 7.3 ODD: produção

Ao ser criada, cada firma ( $i$ ) gera um produto próprio. Embora a simulação comporte a criação de vários produtos por firma, apenas um item é produzido por firma. A produção da firma ( $Q_i$ ) é proporcional à qualificação de cada empregado ( $q_l$ ), elevada a um fator alfa de produtividade exógeno e ajustada por um parâmetro beta.

$$Q_{i,t} = \sum_l \frac{q_l^\alpha}{\beta} \quad (1)$$

18. Nesta versão de *PolicySpace2* não há morte de firmas. Entretanto, pode ocorrer que haja firmas que não possuem empregados e, portanto, não geram nova produção.

Portanto, a quantidade produzida por firma ( $Q_{i,t}$ ) é o somatório, para todos os empregados, dos anos de estudo (qualificação) ajustados por dois parâmetros de produtividade, elevado a alfa ( $\alpha$ ) e dividido por beta ( $\beta$ ).

#### 7.4 ODD: tomada de decisão sobre preços – via estoque

A firma verifica se a quantidade vendida no mês é superior ao estoque presente. Caso positivo, ela aumenta o preço de acordo com um percentual de *mark-up* ( $\pi$ ) definido de forma exógena pelo modelador. Nesse sentido, compara sua realidade (a produção realizada) com o comportamento da demanda para tomada de decisão cuja ordem de magnitude é externa. A frequência com que a firma verifica se os preços são alterados é determinada pelo parâmetro  $\zeta$ .

#### 7.5 ODD: tomada de decisão sobre salários

As firmas ( $i$ ) decidem os salários ( $\omega_{l,t}$ ) de cada trabalhador ( $l$ ) de acordo com as vendas totais ( $TR_{i,t}$ ) e o desemprego global corrente ( $U_t$ ) e o ponderam pela produtividade de cada trabalhador ( $q_l^\alpha$ ), retendo o imposto do trabalhador na fonte ( $tax_l$ ).

Para firmas de construção civil, as receitas na venda de imóveis são contabilizadas ao longo de um período de 24 meses ( $n$ ), de modo a manter um fluxo de caixa para pagamento dos salários mais constante, dadas a venda e a produção mais concentradas.

$$\omega_{l,t} = TR_{i,t} * (1 - U_t) * \frac{q_l^\alpha}{\sum_l q_l^\alpha} * (1 - tax_l) \quad (2)$$

#### 7.6 ODD: mercado de bens

Vendas. Tomada de decisão sobre consumo e poupança. Cada família escolhe a firma na qual vai realizar seu consumo e o valor a ser gasto, decidindo com igual probabilidade ( $P(.5)$ ) se por preço ou por distância, dada uma amostra de firmas ( $\zeta$ ). A quantidade de produto adquirida vai depender do preço e da decisão de consumo da família. Os bens e serviços são homogêneos, e a tecnologia é fixa (Lengnick, 2013). No ato da venda, os impostos sobre o consumo são recolhidos. A firma vende toda a produção solicitada pela família, até o limite de sua disponibilidade.

A decisão das famílias entre quanto alocar para consumo imediato e quanto para poupança é baseada na prática corrente de modelagem macroeconômica. Dawid e Gatti resumem assim o cálculo da renda permanente ( $PI_{b,t}$ ): “É uma função linear entre riqueza patrimonial e renda presente e futura. (...) Toda renda

em excesso à renda permanente é poupada e adicionada ao patrimônio financeiro” (Dawid e Gatti, 2018, p. 78, tradução nossa).<sup>19</sup>

$$PI_{h,t} = i_t * \overline{Y_{h,t0-t}} + i_t * \frac{\overline{Y_{h,t0-t}}}{r_t} + w_t * r_t \quad (3)$$

Sendo  $r_t$  os juros correntes ( $t$ ),  $i_t = r_t / (1 + r_t)$ ,  $\overline{Y_{h,t0-t}}$  a renda média de salário da família para todos os períodos anteriores da simulação e  $w_t$  é a riqueza patrimonial da família, incluindo imóveis e depósitos bancários.

### 7.7 ODD: mercado imobiliário

A cada mês da simulação, a chamada para o mercado imobiliário ocorre após todos os subprocessos anteriores. O único processo que se realiza depois é a distribuição de impostos e coleta de dados. A participação no mercado se dá inicialmente pela seleção de residências disponíveis para venda ou aluguel e de famílias interessadas em um ou outro. Do lado da oferta, a disponibilidade de residências é endógena, com todos os imóveis desocupados incluídos no mercado. Do lado da demanda, há uma porção endógena, gerada a partir do casamento e da formação de novas famílias. Adicionalmente, buscam o mercado as famílias migrantes, que entram na simulação, a partir do crescimento estimado pelo IBGE anualmente. Por fim, as famílias existentes são aleatoriamente escolhidas para participar no mercado ( $\sigma$ ), refletindo a estatística empírica que sugere que, em média, cerca de 6% das famílias se mudam ao ano (Causa, Woloszko e Leite, 2019).

O mercado de aluguel é definido a partir de uma porção exógena de famílias e imóveis, dado que a decisão de comprar ou alugar é de difícil racionalidade, consideradas as incertezas acerca do futuro comportamento macroeconômico (Malmendier e Steiny, 2017; Furtado e Souza, 2020). As famílias selecionadas para participar do mercado cujo orçamento – incluídos potenciais empréstimos bancários – não contém recursos suficientes para comprar o imóvel mais barato disponível no mercado participarão apenas do mercado de aluguéis. Com isso, a inicialização do mercado imobiliário se dá com a construção de quatro grupos de agentes: famílias em busca de imóveis para compra ou aluguel e imóveis desocupados disponíveis para venda ou aluguel.

De todo modo, mensalmente, o valor de venda dos imóveis é atualizado ( $P_{ask}$ ). O preço é resultado direto das características do imóvel ( $H_{s,q}$ ) (tamanho e qualidade) e sua localização ( $N_{m,t}$ ). A localização, por sua vez, é atualizada também mensalmente pelo QLI do bairro (AP do IBGE) ( $m$ ). Já o indicador depende dos

19. “Linear function of current and expected future incomes and of financial wealth. (...) All income in excess of permanent income will be saved and added to financial wealth”.

impostos recolhidos ( $tax_t$ ) e repassados ao município, ponderado pela variação de população ( $\frac{pop_{m,t-1}}{pop_{m,t}}$ ) e por um parâmetro linear de ajuste de magnitude ( $\psi$ ).

$$N_{m,t} += \sum_m tax_t * \psi * \frac{pop_{m,t-1}}{pop_{m,t}} \quad (4)$$

Adicionalmente, o preço pode (ou não) sofrer um desconto dado pelo tamanho da oferta global de imóveis ( $V$ ) à venda na RM, a depender de um parâmetro de decisão; e também pela proporção da renda familiar na vizinhança normalizada entre zero e um para o conjunto da RM ( $\tau$ ) (Ge, 2017). Finalmente, o número de meses que o imóvel está à venda ( $T$ ) pode interferir no preço, limitado no seu decaimento ( $\gamma$ ) e com intensidade ajustada ( $\kappa$ ).

$$P_{ask} = (1 + V) * H_{s,q} * N_{m,t} * (1 + \tau * N_q) * ((1 - \gamma) * e^{\kappa * T} + \gamma) \quad (5)$$

No lado das famílias, a oferta ( $P_{offer}$ ) inclui uma estimativa de crédito imobiliário ( $L_h$ ) quando a poupança não é suficiente. As famílias buscam comprar o melhor imóvel, equivalente ao mais caro (Goldstein, 2017). O preço final ( $P$ ) transacionado é a média simples do preço de venda e de oferta.

$$P_{offer} = S_h \vee S_h + L_h \text{ if } P_{ask} < P_{offer}$$

$$P = \frac{(P_{ask} + P_{offer})}{2} \quad (6)$$

O empréstimo do banco é limitado pelo fator *loan-to-value* (LTV), de modo que a proporção entre o valor do empréstimo e o preço do imóvel não pode ultrapassar certa proporção. Adicionalmente, há um limite superior ( $\rho_+$ ) e outro inferior ( $\rho_-$ ) para o preço final. Quando o preço de venda está acima da oferta total, porém nos limites do limite inferior, há uma probabilidade de que o vendedor aceite o desconto de forma proporcional à vacância corrente no mercado ( $P(\sum Listed / \sum h)$ ).

$$\frac{L_h}{P} \leq LTV$$

$$\text{if } \frac{P_{ask}}{P_{offer}} > \rho_+ \rightarrow P = P_{offer} * \frac{\rho_+}{2}$$

$$\text{if } P_{ask} > S_h > \rho_- \rightarrow P = S_h | P(\sum Listed / \sum h) \quad (7)$$

O box 1 apresenta a listagem sequencial dos eventos que ocorrem no mercado imobiliário.

## BOX 1

## Mercado imobiliário: sequência de passos

- 1) Seleção aleatória de famílias interessadas na compra ou aluguel. Famílias criadas por meio de casamento e famílias imigrantes que acabaram de chegar são adicionadas.
- 2) Inclusão de todas as residências desocupadas.
- 3) Atualização dos preços de todos os imóveis (vendas e aluguel).
- 4) As famílias interessadas em compra consultam o banco para a possibilidade de empréstimos potenciais. Verificam qual é o limite de crédito, dada a idade do membro mais velho, o orçamento familiar de longo prazo e os juros.
- 5) A entrada no mercado imobiliário se dá por ordem de poder de compra, com as famílias com maior recursos e acesso a crédito escolhendo primeiro.
- 6) Entre os domicílios desocupados cujos donos são famílias, e não construtoras, seleciona-se um percentual<sup>1</sup> para o mercado de aluguéis. Portanto, o tamanho da oferta de domicílios para alugar é exógeno. Do lado da oferta, de forma endógena, os interessados em aluguéis são famílias sem recursos financeiros para compra.
- 7) Sequencialmente, as famílias escolhem, de forma aleatória, uma subamostra de imóveis.<sup>2</sup> Ordenam os imóveis do grupo de acordo com o mais caro, que indica maior qualidade (Gilbert, Hawksworth e Swinney, 2009; Goldstein, 2017), e verificam se sua poupança, ou poupança mais crédito, é suficiente para comprar a residência. Se não houver imóveis no seu grupo ou se o banco não fornecer o empréstimo, e a poupança existente não for suficiente para efetuar a compra, a família sai do mercado.
- 8) O preço da transação é a média entre a oferta de poupança da família e o preço calculado da residência, limitados a uma proporção superior por um parâmetro exógeno. Desse modo, há um ajuste entre a oferta e a demanda, com o vendedor estimando corretamente a capacidade de pagamento do comprador, e o comprador realizando uma análise precisa do valor do imóvel.
- 9) No caso em que a poupança da família é menor do que o preço estimado de venda, a família pode realizar uma oferta com valor inferior ao pedido pelo vendedor. A probabilidade de o vendedor aceitar é igual ao tamanho da oferta. Portanto, se há 10% de vacância de imóveis em um determinado mês, há 10% de chances de o vendedor aceitar a oferta.
- 10) Efetivada a transação, o imposto sobre transferência de propriedade é recolhido; e o dinheiro, transferido da família compradora para a vendedora ou firma de construção.
- 11) A família compradora então possui dois domicílios pelo menos e decide se vai se mudar ou não.
- 12) As famílias e os domicílios para alugar são enviados ao mercado de aluguel. O mercado de aluguel também recebe famílias imigrantes ou de recém-casados.
- 13) A família, no mercado de aluguel, também busca uma subamostra de imóveis.<sup>3</sup> Escolhe de forma aleatória um imóvel cujo valor do aluguel é compatível com seus gastos mensais (por meio do cálculo da renda permanente).
- 14) Caso não haja nenhum imóvel nessas condições, a família busca negociar um desconto que pode variar de acordo com o tamanho dos imóveis disponíveis. Quanto menor o número de imóveis em oferta menor o desconto solicitado.
- 15) Uma vez escolhido o imóvel, a família e o preço, a família que já possui residência fixa (alugada ou própria) verifica se o imóvel a alugar é de melhor qualidade (mais caro), em relação ao atual. A família que não está alocada (imigrante ou recém-casada) se muda.
- 16) Coleta pagamento de aluguel.

Elaboração do autor.

Notas: <sup>1</sup> Parâmetro: *RENTAL\_SHARE*: valor-padrão = 0.4.

<sup>2</sup> Parâmetro: *SIZE\_MARKET*: valor-padrão = 10.

<sup>3</sup> Utiliza-se o mesmo parâmetro do mercado de imóveis, *SIZE\_MARKET*, multiplicado por três, no intuito de garantir uma subamostra maior no mercado de aluguéis, uma vez que é mais competitivo.

## 7.8 ODD: vendas

No caso de vendas, as famílias em busca de imóvel para comprar são ordenadas, e aquelas com maiores recursos financeiros – incluídos possíveis empréstimos bancários – escolhem primeiro. Cada família então “visita” (monta um grupo de possibilidades) que é três vezes superior ao número de firmas que a família consulta no mercado de bens. Tipicamente, com os valores-padrão, a família examina inicialmente trinta imóveis entre aqueles à venda; retira da amostra os imóveis que são mais caros que sua capacidade de pagamento, com

possibilidade de empréstimo; e tenta então comprar o melhor imóvel, ou seja, o mais caro (Goldstein, 2017).

Quando demanda empréstimo, o sucesso na transação é dependente da aprovação do crédito pelo banco. Caso o saldo em poupança seja suficiente, ou consiga o empréstimo, a família compra o imóvel. O valor do financiamento imobiliário ( $L_h$ ) é no máximo um percentual ( $\chi$ ) da renda permanente da família ( $PI_h$ ) e o máximo entre o número de meses ( $m$ ) até que o membro mais velho da família atinja 75 anos de idade ou o empréstimo atinja 360 meses. Caso o empréstimo não seja concedido pelo banco, a família tenta realizar a compra do segundo imóvel da sua lista.

$$L_h = PI_h * \chi * m \quad (8)$$

O preço do imóvel é baseado, de um lado, na capacidade de pagamento da família e, de outro, no preço calculado do imóvel. A intuição é que o vendedor estima o valor máximo que a família tem à disposição, e o comprador faz a oferta com base no preço calculado do imóvel. O preço final é estabelecido como a média simples dos dois. Se a etapa anterior é vencida, ou seja, se a poupança é maior que o preço estimado do imóvel ou se a poupança, mais o empréstimo bem-sucedido, é maior que o preço, então a transação é firmada. O imóvel é transferido e registrado para a família compradora. Os recursos mudam de mãos e o ITBI é pago para a região onde está localizado o imóvel.

Toda vez que a família compra um imóvel, ela avalia a possibilidade de se mudar para o novo imóvel. Caso a família não tenha outra residência, muda-se para o imóvel adquirido. Caso tenha outra residência, irá se mudar para o imóvel com menor valor – refletindo, portanto, sua localização, tamanho e qualidade – se todos adultos da família estiverem desempregados. Se ao menos um adulto da família está empregado, a família se muda para o imóvel com maior valor.

O mercado de aluguéis e vendas é descrito na próxima subseção.

### 7.9 ODD: aluguel

Assim como no mercado de vendas, as famílias em busca de aluguel examinam uma amostra de imóveis para alugar. O preço do aluguel é dado por um percentual fixo do preço do imóvel, que é variável. A família busca, inicialmente, um imóvel que esteja dentro das suas possibilidades de pagamento mensais, conforme o cálculo da sua renda permanente. Caso não consiga, faz então uma oferta para o imóvel mais barato entre aqueles inicialmente selecionados. A redução percentual na oferta feita é equivalente ao tamanho de imóveis disponíveis no mercado. Se o número-padrão máximo de imóveis para alugar está disponível,

essa redução é de 0,03 ponto percentual (p.p.), ou perto de 10% do índice-padrão (0,29%) sobre o preço do imóvel. Se a lista de imóveis disponíveis está restrita, essa solicitação de redução é menor. Finalmente, depois da negociação, nos casos das famílias novas (migrantes, casamento), o contrato é firmado, e a família se muda. Caso a família já possua residência na RM, ela verifica se a qualidade (preço) da nova residência é melhor. Caso contrário, desiste do aluguel. Nos casos em que as famílias não conseguem honrar o pagamento do aluguel, os proprietários arcam com o prejuízo. De todo modo, os números de calote permanecem baixos ao longo da simulação.

### 7.10 ODD: mercado de construção civil

Firmas construtoras são derivadas da entidade principal firmas, com algumas alterações específicas. Dois são seus principais métodos: i) planejar e operacionalizar a construção de uma residência nova; e ii) e efetivamente construir uma. A primeira etapa de planejamento é a escolha da região onde vai se construir, de acordo com aquelas que tenham lotes disponíveis. Os lotes (chamados na simulação de *licenses*) são oferecidos pela prefeitura como novos loteamentos e custam o preço-índice da região ( $N_{m,t}$ ) vezes o percentual de custo do lote em relação ao custo do empreendimento ( $1 + v$ ). A determinação do tamanho do novo domicílio ( $H_s$ ) e a qualidade ( $H_q$ ) escolhidas são aleatórias. Entretanto, impactam o custo, que é calculado como o produto entre o tamanho e a qualidade, e a produtividade da firma, que é função da sua margem de lucro  $f(\pi)$ . A construtora, em seguida, a partir do planejamento do domicílio, escolhe casas similares – ou seja, com diferença no tamanho maior ou menor que dez e qualidade maior ou menor que um – nos locais onde há lotes disponíveis. Depois calculam-se os preços médios ( $P_{ask,m,t}$ ), limitados a cem residências por região (APs) em análise. A construtora opta por construir na região ( $N$ ) com maior lucro  $N_{\pi,m,t}$ .

$$N_{\pi,m,t} = \overline{P_{ask,m,t}} - \left( H_s * H_q * f(\pi) * N_{m,t} * (1 + v) \right) \quad (9)$$

O processo de construção da residência propriamente dito ocorre por meio da acumulação de produtos que a firma tradicional produz. Quando a quantidade de produtos acumulada é maior ou igual ao custo da construção, a firma faz o ajuste financeiro, registra o novo imóvel e disponibiliza-o para venda no mercado imobiliário. O tamanho da oferta (vacância de imóveis  $V$ ) compõe os preços no momento da negociação.

### 7.11 ODD: bancos e financiamento imobiliário

O sistema financeiro do *PolicySpace2* é simplificado e tem como objetivo apenas remunerar os depósitos das famílias e fornecer recursos para o financiamento

imobiliário. Um banco apenas controla a burocracia de empréstimos e os depósitos das famílias. Em primeiro lugar, ao longo do mês simulado, o banco recolhe os pagamentos dos financiamentos imobiliários das famílias; em seguida, abre a possibilidade de crédito para o financiamento das famílias no mercado imobiliário; e, finalmente, remunera os investimentos das famílias.

O banco tem restrições que são observadas no pedido de empréstimo às famílias para financiar aquisição de imóveis. É necessário que o banco tenha recursos em caixa superior ao pedido de empréstimo. Mais do que isso, é necessário que o total de recursos já disponibilizados à sociedade não exceda o percentual definido pelo modelador (o encaixe de regulação obrigatório). Por fim, o banco não concede novo empréstimo à família que não concluiu o pagamento de transações anteriores. Cada família só pode ter, portanto, um empréstimo ativo.

O crédito máximo disponível pode ser consultado pela família e é obtido pelo cálculo da sua renda permanente, limitado ao percentual máximo de endividamento, dado por um parâmetro exógeno. Adicionalmente, considera-se o número de anos, convertido em meses, para que o membro mais velho da família alcance a idade máxima. Por fim, o montante a ser possivelmente emprestado é definido pelo comprometimento máximo mensal vezes o número de meses até o prazo mensal, dividido pelos juros. Adicionalmente, o empréstimo está limitado a uma razão do preço do imóvel, estipulada pelo parâmetro LTV.

Os juros sobre os depósitos são fixos, estabelecidos de forma exógena, fixados no momento do contrato, de acordo com a série do Banco Central, e creditados mensalmente. O custo do financiamento também segue o valor de mercado observado para pessoas físicas. As prestações são cobradas a partir dos depósitos realizados pelo cliente e disponíveis na conta. Se os recursos são suficientes para o pagamento mensal devido, ele é realizado. Eventuais prestações em atraso são acumuladas e podem ser pagas em períodos subsequentes, imediatamente após a existência de saldo.

### **7.12 ODD: demografia – mortalidade, fecundidade, envelhecimento e herança**

Três processos do ciclo de vida dos agentes – dada a sua dinamicidade – são inseridos no *PolicySpace2*: mortalidade, fecundidade e envelhecimento.

O envelhecimento é operado de forma direta. Dado o mês de aniversário que cada agente recebe no ato de criação (*sic*), quando o mês corrente é o mês de aniversário, a idade do agente é aumentada em um ano. O mês de aniversário também é utilizado como o mês anual de *check-up* do agente, conferindo a probabilidade oficial, de acordo com a tábua de mortalidade estadual por gênero e ano-calendário, e a possibilidade de fecundidade. Mulheres com idade entre 14 e 50 anos verificam ainda a probabilidade de engravidar, também de acordo

com dados de fertilidades estaduais, por idade e ano-calendário. O processo de nascimento é como o processo de criação de agentes inicial. A criança é adicionada à família da progenitora.

Quando ocorre um falecimento, o atestado de óbito é registrado (os dados ficam disponíveis na lista denominada *grave*). Se o agente falecido não é o último membro da família, os imóveis, a poupança e a dívida permanecem com a família. O agente é desligado nos registros da firma, caso trabalhasse. Entretanto, caso o agente falecido seja o último da família, verifica-se a existência de parentes oriundos da família original, caso o agente tenha se casado a partir do início da simulação (2010).<sup>20</sup> Nesse caso, há a necessidade de inventário e uma série de verificações são realizadas, entre as quais as que se seguem.

- O imóvel de residência é desocupado.
- Se o agente falecido tem dívida com o banco e parentes, o parente que recebe o imóvel mais caro recebe também a dívida. Se houver ainda outros parentes e imóveis, eles são distribuídos de forma aleatória (dada a indivisibilidade imediata do imóvel). Caso só haja dívida, ela é distribuída aleatoriamente entre os parentes.
- O saldo de poupança é sacado do banco e distribuído entre os parentes de forma igualitária.

### 7.13 ODD: imigração

O processo de imigração se dá no início dos processos mensais, logo após a conferência demográfica (envelhecimento, mortalidade, fecundidade) e antes do consumo e da interação nos mercados. O propósito central deste submódulo é manter a população total compatível com os níveis de crescimento observados nas metrópoles ao longo do período. Assim, para cada ano, a cada mês, a população equivalente a 1/12 dos migrantes é criada e adicionada ao modelo. Para tal, utilizam-se dados municipais estimados para o período 2001-2017. Dados faltantes são estimados por uma função linear simples.

O processo de geração é similar ao do início da simulação do *PolicySpace2*. Por municípios, os novos agentes estimados são criados e então alocados às famílias, do mesmo modo que o módulo gerador inicial. As novas famílias passam na sequência pelo processo de aquisição ou aluguel de imóveis. Diferentemente do momento inicial, no qual todas as famílias conseguem um imóvel, no processo migratório, respeitando a lógica de que a criação de imóveis é endógena ao modelo, as famílias que não conseguem um imóvel – por falta de recursos ou por

---

20. Note que, nesse caso, o registro genealógico de parentes do modelo só opera para casamentos a partir do ano de início da simulação. Não é factível estimar vínculos familiares anteriores.

falta de oferta no mercado de aluguéis – não são adicionadas à simulação. Quando conseguem residência, os novos agentes e as famílias são registrados no modelo.

#### 7.14 ODD: casamento

A possibilidade de casamento ocorre logo após a imigração. A inserção do casamento ao *PolicySpace2* traz dinamicidade às famílias. É possível a criação de novas famílias a partir de adultos solteiros ou com a separação de casais existentes e a formação de novas uniões. Essa dinâmica própria das famílias afeta o suporte econômico do modelo de várias formas, conforme descrito a seguir.

- Em primeiro lugar, a família é o coletivo de tomada de decisão financeira, participando dos mercados de bens e imobiliário em conjunto.
- A família também é o repositório de riqueza, tanto em termos de bens imóveis mantidos no portfólio quanto em depósitos bancários.
- Adicionalmente, mudanças familiares levam à configuração endógena da participação no mercado imobiliário, já que, ao casar, membros de famílias com outros adultos precisam adquirir ou alugar uma nova casa.

O processo começa de forma exógena, de acordo com o parâmetro que determina a proporção de agentes que vão participar do processo. No modelo-padrão, essa proporção inicial é de 3,4% de pessoas ao mês. Desse contingente de pessoas, uma segunda verificação de probabilidade por idade é aplicada. Finalmente, considera-se ainda uma restrição adicional com truncagem, com probabilidade zero de casamentos para agentes com até 20 anos. Não são consideradas restrições de gênero. As pessoas selecionadas são embaralhadas e pareadas duas a duas. As opções a seguir são consideradas para cada par de nubentes.

- Se ambas as famílias originais possuem pelo menos um outro adulto (21 anos ou mais), os nubentes deixam a família e compõem uma família nova, caso sejam bem-sucedidos no mercado imobiliário.
- Se apenas uma das famílias possui outro adulto, então o nubente da família que tem adulto deixa a família e se muda para a família com o outro nubente. Nesse sentido, deixa para trás os bens familiares, mas passa a compartilhar os bens da nova família.
- Caso ambas as famílias não tenham outros adultos, mas, possivelmente, tenham crianças, então elas se juntam em uma nova família única, com todos os bens das famílias componentes.

### 7.15 ODD: mercado de trabalho

Os processos do mercado de trabalho são a penúltima ocorrência do mês, imediatamente anteriores ao mercado imobiliário. O primeiro passo é a oferta dos agentes, seguida do interesse das firmas e do ajuste entre candidatos e empresas. As escolhas dos trabalhadores interessados são ponderadas pela sua mobilidade e pelos salários oferecidos. Firmas não avaliam o mercado de trabalho todos os meses. Entram no mercado de trabalho seguindo o parâmetro exógeno de frequência ( $\iota$ ) – que, claro, pode ser ajustado para todos os meses, por exemplo. Quando no mercado, as firmas participam como contratante se tiverem lucro – ou estabilidade financeira, lucro zero. Quando em prejuízo, mandam embora um empregado, escolhido de forma aleatória.

Compõem o grupo de candidatos todos aqueles que não estejam aposentados (menos que 70 anos), não são menores de idade (mais que 16) e não estejam trabalhando no momento. A lista de candidatos a empregos é embaralhada de forma aleatória, todos os meses. Os candidatos a emprego avaliam no ranqueamento de ofertas as distâncias (endógenas) entre residência e firma, a sua capacidade financeira e a consequente utilização do sistema de transporte público ou privado e os salários potencialmente oferecidos.

Pareamento. Em primeiro lugar, as firmas são divididas de forma aleatória entre o grupo que vai buscar candidatos seguindo o critério de qualificação e o grupo que enfatiza proximidade. Os tamanhos dos grupos são definidos por um parâmetro exógeno ( $\eta$ ) que pode, inclusive, ser zero (todos por qualificação) ou um (todos por proximidade). As firmas de cada grupo são ordenadas de forma decrescente pelos salários-base oferecidos, considerado o desemprego corrente no modelo-padrão. Na prática, isso significa que as empresas são ordenadas em relação a um percentual do seu faturamento recente. Adicionalmente, quanto maior o desemprego global, menor o percentual do faturamento das firmas que será previsto como pagamento de salários. Firmas com faturamento alto escolhem primeiro.

Cada firma então seleciona um grupo aleatório de candidatos entre aqueles que permanecem ao longo do processo sem receber um aceite de nenhuma firma. O tamanho desse grupo de entrevistas é determinado de forma exógena ( $\sigma$ ). A classificação dos candidatos envolve um ajuste dos interesses da firma e do próprio candidato. Do lado da firma, a qualificação entra no cômputo do cálculo; do ponto de vista do candidato, o salário potencial da firma ( $w_{i,t}$ ) e a distância entre sua residência e a firma ( $d_{i,b-i,t}$ ), ponderada pelo sistema de transporte disponível para o candidato ( $c_{i,t}^{tr}$ ), dado seu nível de renda anterior. Na prática, candidatos com acesso a veículo privado penalizam mais fortemente a distância, tanto pelo custo monetário quanto pelo custo de tempo de deslocamento.

$$s_{l,i,t} = q_l + \sum_i w_{l,t} - d_{l,h-i,t} * c_{l,t}^{tr} \quad (10)$$

No pareamento apenas por proximidade, a qualificação não é incluída no cálculo, e a escolha da firma é baseada na proximidade, ponderada pelo sistema de transportes disponível ao candidato. De acordo com o nível dos decis do último salário (endógeno) e dados empíricos, o modelo utiliza as probabilidades associadas aos decis de renda para identificar trabalhadores com e sem veículo privado. No mês seguinte, o processo é iniciado novamente, construindo novas listas de firmas e candidatos e realizando o pareamento.

### 7.16 ODD: arrecadação e distribuição de impostos

O processo de arrecadação e distribuição de impostos manteve o processo descrito em Furtado (2018b; 2018c).<sup>21</sup> A cada evento gerador, cinco tipos de impostos são coletados. São eles: sobre o consumo das famílias (*proxy* para o Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços – ICMS); sobre os salários pagos aos trabalhadores (*proxy* para o Imposto de Renda da Pessoa Física – IRPF); sobre os lucros das empresas (*proxy* para o Imposto de Renda da Pessoa Jurídica – IRPJ); sobre a propriedade (*proxy* para o IPTU); e sobre a transferência de imóveis (*proxy* para o ITBI). Uma vez coletados, os impostos são redistribuídos ao final do mês de acordo com duas regras, estabelecidas por meio de parâmetros: i) presença ou ausência do FPM, com valor-padrão de presença; e ii) manutenção de orçamentos municipais como se encontram ou, alternativamente, fusão do caixa municipal em um único orçamento no âmbito da RM (ACP), sendo o *status quo* o valor-padrão.

#### 7.16.1 ODD: FPM

A primeira forma de distribuição ocorre de acordo com o FPM ( $FPM\_DISTRIBUTION = True$ ). A arrecadação é dada a partir de um percentual (23,5%)<sup>22</sup> dos impostos sobre os salários dos trabalhadores e os lucros das firmas. A distribuição entre os municípios de uma RM segue a mesma proporcionalidade observada na distribuição real de FPM.

21. Naquela simulação, os casos extremos de recursos distribuídos de forma exclusivamente local ou igualitária também foram testados.

22. Esse percentual segue a legislação do FPM sobre IRPF e IRPJ. O percentual pode ser alterado por meio do parâmetro  $TAXES\_STRUCTURE$ , com a chave FPM. Não há IPI no modelo. A proporcionalidade exógena é observada anualmente até 2016. Daí em diante, utilizam-se os valores de 2016.

### 7.16.2 ODD: fusão de orçamentos municipais

A segunda forma de distribuição segue a proposta alternativa de fusão do orçamento municipal e, conseqüentemente, sua redistribuição de forma igualitária ponderada pela população entre os municípios. O *status quo*, todavia, *ALTERNATIVE0 = True*, mantém os municípios independentes, de modo que a arrecadação municipal (tributos municipais e cota-parte do ICMS) gera benefícios somente para o município de localização das empresas, independentemente da residência dos trabalhadores.

Todos os recursos arrecadados e transferidos ao tesouro municipal são convertidos de forma linear por meio de parâmetro ( $N_{m,r}$ ) e revertidos em aumento ou redução do QLI municipal, conforme fórmula apresentada na seção 7. Note que os parâmetros alteram tão somente a forma como os tributos arrecadados são distribuídos espacialmente, não alteram o montante de recursos. Todavia, apenas a redistribuição é suficiente para gerar efeitos distintos e robustos nos indicadores macroeconômicos.

### 7.17 ODD: desenho de experimentos de políticas

Esta subseção descreve os mecanismos implementados para realizar o teste de desenho experimental de políticas públicas no âmbito municipal. A discussão e os resultados da análise constam do capítulo 6. A partir de recursos endógenos de tributos arrecadados em cada município, de acordo com as cinco aproximações de tributos (IRPF, IRPJ, ICMS, ITBI, IPTU), o experimento consiste em reter um percentual, definido por meio de parâmetro ( $\delta$ ), e aplicá-lo em três políticas distintas. As aplicações são comparadas com a simulação para a qual não há retenção de recursos e não há aplicação de política, que é considerado o caso-padrão.

Na aplicação das alternativas de políticas, é realizado um cadastro endógeno de famílias a partir da listagem das famílias com menor renda permanente ( $PI_{h,r}$ ) até o quantil determinado exogenamente ( $\theta$ ). Quando há aplicação da política, as famílias que foram incluídas no registro ao longo do último ano e ainda residem no mesmo município são ordenadas de acordo com o cálculo de renda permanente, de modo que a família mais carente de todas será a primeira a receber eventual auxílio da política.

As políticas públicas no âmbito municipal estão descritas a seguir.

- 1) *Baseline*: no caso-padrão, não há retenção de recursos, e o investimento ocorre normalmente para incremento do QLI municipal.
- 2) Aquisição e distribuição de imóveis: no experimento no qual *POLICIES* tem o valor *buy*, o recurso disponível é utilizado para compra de imóveis municipais e transferência da propriedade às famílias. Nesse caso, os imóveis prontos e ainda disponíveis no portfólio das firmas construtoras

e localizados no município que implementa a política são selecionados. Os imóveis então são ordenados de forma que o mais barato disponível será o primeiro a ser eventualmente adquirido pelo governo municipal. Excluem-se dessa política as famílias que possuem imóvel, sendo elegíveis apenas as que sejam inquilinas. Com as famílias e os imóveis ordenados e o montante a ser aplicado disponível, o município compra os imóveis e os transfere às famílias de forma sucessiva, até que os recursos se esgotem. As famílias contempladas se mudam imediatamente. O ITBI incidente na transação é arrecadado normalmente e transferido aos cofres municipais, o que na prática configura um desconto ao município em relação ao preço de mercado ofertado pela construtora.

- 3) *Vouchers* para pagamento de aluguel: no experimento no qual *POLICIES* está designado como *rent*, da mesma forma, apenas as famílias que não possuem imóvel próprio são habilitadas. Nesse caso, novamente, enquanto perdurem os recursos disponíveis, a prefeitura distribui *vouchers* que garantem o pagamento do aluguel da residência corrente das famílias pelos próximos 24 meses. Caso a família se mude de imóvel, o valor referente aos pagamentos restantes, quando houver, são revertidos ao mesmo fundo e beneficiará outras famílias. O *voucher* também só é fornecido uma vez a cada dois anos para a mesma família. Entretanto, caso a família ao fim do período seja novamente adicionada ao registro, pode eventualmente receber novamente o auxílio.
- 4) Auxílio monetário. O terceiro experimento é selecionado quando *POLICIES* é ajustado para *wage*. Nesse caso, todo o recurso mensal disponível é distribuído igualmente entre as famílias de cada cadastro municipal como auxílio pecuniário. As famílias permanecem no cadastro pelo período de um ano. Nessa hipótese, não há requisito de ausência de imóvel próprio. Ou seja, se a renda da família se encontra abaixo do quantil de renda, conforme determinado pela política, ela será incluída no cadastro e receberá o auxílio mensal dos recursos disponíveis, dividido pelo número de famílias habilitadas naquele mês.

## 8 OPERACIONALIZAÇÃO DA SIMULAÇÃO

A simulação do modelo *PolicySpace2* demanda a instalação do programa de código aberto e gratuito Python<sup>23</sup> e várias de suas bibliotecas.<sup>24</sup>

23. Disponível em: <<http://python.org>>.

24. Para acessar a lista completa, ver o repositório do GitHub. Disponível em: <<https://github.com/BAFurtado/PolicySpace2/blob/master/requirements.yml>>.

A simulação-padrão se utiliza da versão 3.6 do Python, mas também já simulamos na versão 3.7 e 3.8. As bibliotecas de cunho geográfico (*gdal*, *fiona*, *shapely* e *geopandas*) não são de instalação imediata, por isso sugerimos a instalação via o agregador de bibliotecas do Python chamado Conda.<sup>25</sup> Nossa versão Conda foi 4.8.4. Utilizamos ainda, ao longo de toda a produção e dos testes, a interface com licença educacional *PyCharm Professional*, disponibilizada pela *JetBrains*. A simulação foi realizada de forma concomitante e intercambiável em computadores com sistemas operacionais Windows e Linux. Sugerimos ainda a criação de um ambiente específico para a simulação, de modo a evitar conflitos entre versões de bibliotecas. Use a seguinte sequência de comandos no terminal (com Conda instalada) para criar, ativar o ambiente e instalar as bibliotecas:

```
conda create --name ps2 python=3.6
conda activate ps2
conda install shapely gdal -c conda-forge
conda install fiona pandas geopandas numba
descartes scipy seaborn pyproj matplotlib six
cyclor statsmodels joblib scikit-learn flask
flask-wtf psutil -c conda-forge
```

Com isso, o modelador terá criado um ambiente, ativado o ambiente e instalado as principais bibliotecas de forma conjunta, garantindo a compatibilidade de versões entre elas.

Para rodar a simulação em si é necessário clonar o repositório no GitHub, o que pode ser feito também no terminal do seu computador, com o programa Git instalado, por meio do comando *git clone*.<sup>26</sup>

Na sequência, ajuste, pelo menos, a opção *output\_path* do arquivo *conf/run.py*, de modo a escolher o local de gravação da saída de tabelas e gráficos do modelo. Outras alterações podem ser feitas no módulo de parâmetros, no arquivo *conf/params.py*.

O *PolicySpace2* contém de forma automatizada a execução de várias simulações paralelas, utilizando-se de mais de um *core* do computador. Todos os comandos aceitam os parâmetros *-n 3* para especificar o número de vezes – por exemplo, três – que a simulação será executada, apresentando resultados individuais e as médias. Adicionalmente, é possível especificar *-c 4*, para identificar o número de *cores* do computador que serão utilizados de forma simultânea. Assim, o comando mais simples para uma simulação é *run*:

---

25. Disponível em: <<https://anaconda.org/anaconda/conda>>.

26. Disponível em: <<https://github.com/BAFurtado/PolicySpace2.git>>.

```
python main.py run
```

Para executar uma simulação com um determinado conjunto de parâmetros dez vezes, utilizando-se de dois núcleos do computador, use o comando:

```
python main.py -c 2 -n 10 run
```

A análise de sensibilidade, também embutida na simulação, solicita que, para cada parâmetro contínuo, o modelador informe, na seguinte ordem, separado por dois pontos: nome do parâmetro: valor mínimo do parâmetro: valor máximo do parâmetro e número de intervalos entre o mínimo e o máximo. Assim:

```
python main.py sensitivity ALPHA:0:1:7
```

No caso de parâmetros do tipo verdadeiro ou falso, apenas o nome do parâmetro é suficiente, por exemplo:

```
python main.py sensitivity WAGE_IGNORE_  
UNEMPLOYMENT
```

Especialmente no caso de comparação entre RMs, basta que o modelador inclua os nomes das regiões de interesse, separadas por hífen e entre aspas duplas, conforme o exemplo a seguir:

```
python main.py sensitivity "PROCESSING_ACPS-  
BRASILIA-CAMPINAS-FORTALEZA-BELO HORIZONTE"
```

Também é possível combinar parâmetros contínuos, booleanos ou nomes de RMs, desde que separados os parâmetros por espaços:

```
python main.py -n 4 -c 12 sensitivity  
MARKUP:0.05:0.15:4 WAGE_IGNORE_UNEMPLOYMENT  
"PROCESSING_ACPS-BRASILIA-VITORIA"
```



## VALIDAÇÃO, AVALIAÇÃO E PRIMEIROS RESULTADOS

### 1 APLICAÇÃO TRACE

Esta descrição do *PolicySpace2* tenta se aproximar tanto quanto possível da proposta de validação e avaliação de modelos de simulação encapsulados na proposta Transparent and Comprehensive Model Evaluation (TRACE) – cuja tradução livre, que adotaremos aqui, seria algo como Modelo Transparente e Completo de Avaliação,

que traz evidências que indicam que nosso modelo foi desenhado de forma consciente, corretamente implementado, testado exaustivamente, bem compreendido e usado de forma adequada para o propósito para o qual foi criado (Grimm *et al.*, 2014, p. 131, tradução nossa).<sup>1</sup>

Pode-se dizer que a proposição do TRACE seria uma etapa de análise de simulações que evolui da tríade análise-validação-resultados para uma fusão dos termos de “avaliação” e “validação” no intuito de descrever e avaliar o processo completo de modelagem e, por conseguinte, mais bem avaliar a qualidade e credibilidade do modelo (Augusiak, Brink e Grimm, 2014; Grimm *et al.*, 2014; Schmolke *et al.*, 2010).

Dessa forma, a seguir, veremos os princípios sobre os quais se baseia a proposta TRACE incorporada à descrição de *PolicySpace2*.

- 1) Formulação do problema: explicitação do contexto de tomada de decisão na qual o modelo será utilizado. Isso foi realizado na seção *TRACE – formulação do problema*, do capítulo 3.
- 2) Descrição do modelo: conforme recomendado por TRACE, a descrição do *PolicySpace2* segue o formato do protocolo Visão Geral, Conceitos de Projeto e Detalhes (Overview, Design Concepts and Details – ODD) e é feito ao longo do capítulo 3.
- 3) Avaliação de dados e parâmetros: este item avalia a qualidade dos dados utilizados para parametrizar o modelo e os padrões utilizados para calibrar o modelo. Os dados de entrada e geração de agentes são todos

---

1. “‘Transparent and Comprehensive Model Evaluation’, which provides supporting evidence that our model was thoughtfully designed, correctly implemented, thoroughly tested, well understood, and appropriately used for its intended purpose”.

de bases de dados oficiais. A calibração do modelo, realizada em busca do propósito de alcançar indicadores macroeconômicos razoáveis, bem como distribuição de preços no mercado imobiliário semelhante aos observados, foi feita de forma endógena – ou seja, observando os próprios resultados do modelo para avaliar sua inserção no propósito original. A decisão sobre os parâmetros seguiu dados da literatura, quando conhecidos. Para aqueles parâmetros de difícil identificação real, foram realizadas exaustivas seções de análise de sensibilidade, cujos comentários quanto aos resultados seguem no capítulo 5. O protocolo ODD, por sua vez, sugere que os parâmetros sejam descritos em cada submódulo. Assim, no apêndice, fazemos a explicação dos parâmetros nos submódulos correspondentes, em conjunto com as fórmulas que os incluem. Seguem parâmetros adicionais presentes no *PolicySpace2* e sua racionalidade, conforme descrito a seguir.

- Os cinco parâmetros que funcionam como *proxy* dos impostos principais também são parâmetros aproximados, médios, estimados pela literatura (Afonso, 2014): sobre o consumo, 30% do Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços (ICMS); sobre o trabalho e sobre o lucro das firmas, 15% do Imposto de Renda Pessoa Física (IRPF) e Imposto de Renda Pessoa Jurídica (IRPJ); sobre transações imobiliárias, o Imposto sobre a Transmissão de Bens Imóveis (ITBI); e sobre propriedade, o Imposto Predial e Territorial Urbano (IPTU), 0,5%. Respectivamente: *TAX\_CONSUMPTION*, *TAX\_LABOR*, *TAX\_FIRM*, *TAX\_ESTATE\_TRANSACTION*, *TAX\_PROPERTY*.
- Condicionantes bancários referentes à possibilidade de financiamento também foram utilizados conforme dados observados para o caso brasileiro: *MAX\_LOAN\_AGE*, idade máxima do mutuário mais velho para fim do prazo do financiamento (75 anos); *MAX\_LOAN\_BANK\_PERCENT* ( $v$ ), taxa máxima de empréstimos do banco em relação aos depósitos à vista (70%); *LOAN\_PAYMENT\_TO\_PERMANENT\_INCOME*, comprometimento do pagamento de prestações mensais da família em relação à sua renda permanente (50%); e *MAX\_LOAN\_TO\_VALUE* (LTV), referente ao máximo valor do empréstimo em relação ao preço do imóvel financiado (30%).
- *PERCENTAGE\_ENTERING\_ESTATE\_MARKET* ( $\phi$ ), frequência de participação da família no mercado imobiliário – aproximadamente 6% das famílias se mudam a cada ano (Causa, Woloszko e Leite, 2019).
- Sobrepreço das firmas *MARKUP* ( $\pi$ ), que buscam uma taxa de lucro acima dos custos de 5%. Esses valores empíricos costumam ir até 15%, embora a teoria neoclássica preveja lucros nulos. Também esse parâmetro é explorado na análise de sensibilidade.

- Amostras para grupos de candidatos a emprego, busca de residências e número de firmas pesquisado no mercado de bens. Esses parâmetros geram resultados que são robustos em relação a variações. *HIRING\_SAMPLE\_SIZE* ( $\sigma$ ) e *SIZE\_MARKET* ( $\zeta$ ).
- Um importante parâmetro para o modelo é a conversão de recursos arrecadados pelo município para alteração no indicador de qualidade de vida *MUNICIPAL\_EFFICIENCY\_MANAGEMENT* ( $\psi$ ). Esse parâmetro foi calibrado de modo que o indicador siga como *proxy* do Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDHM). Seu valor inicial em 2010 é igual ao do indicador e evolui de modo a ficar próximo da unidade ao fim do período.
- Talvez o conjunto de parâmetros mais relevante do modelo e ao mesmo tempo de difícil identificação, embora com conteúdo de interpretação interessante, seja o duo de parâmetros de produtividade – *PRODUCTIVITY\_EXPONENT* ( $\alpha$ ), *PRODUCTIVITY\_MAGNITUDE\_DIVISOR* ( $\beta$ ). Em conjunto – o primeiro como expoente, o segundo como divisor –, determina a quantidade produzida pela soma da qualificação dos trabalhadores das firmas. Seus valores foram determinados de modo endógeno pela calibração do modelo. Embora não tenham um equivalente que conheçamos, servem para indicar o que ocorre na economia e em qual magnitude, quando há relativamente incremento ou decréscimo na produtividade dos trabalhadores. São exaustivamente trabalhados na análise de sensibilidade.
- Outros dois parâmetros, com influência bem menor no modelo, mas com difícil contraparte empírica e que refletem observações de comportamento registradas na literatura (Blinder, 1994), são aqueles referentes à frequência com que a firma participa no mercado de trabalho e reflete sobre alterações nos preços (*LABOR\_MARKET* –  $\iota$ ).
- Cinco outros parâmetros se referem explicitamente à presença, ausência ou magnitude de implementação de regras e mecanismos. São eles: o percentual de firmas que incluem proximidade como método de escolha para classificação de candidatos (*PCT\_DISTANCE\_HIRING* –  $\eta$ ), parâmetro que pode ser definido em 0; a presença ou ausência da regra de distribuição de recursos municipais utilizando-se da regra do FPM (*FPM\_DISTRIBUTION*); a distribuição de recursos municipais de acordo com a divisão municipal corrente, ou como se a região metropolitana se comportasse como somente um município (*ALTERNATIVE0*); a presença ou ausência da influência do desemprego global nas decisões sobre salários (*WAGE\_IGNORE\_UNEMPLOYMENT*); e a influência do tamanho da oferta de imóveis sobre o cálculo dos preços (*OFFER\_SIZE\_ON\_PRICE*).

- Efeito de vizinhança (*NEIGHBORHOOD\_EFFECT* –  $\tau$ ). A influência da renda média das famílias da vizinhança nos preços dos imóveis já foi estimada por volta de dois terços do total (Furtado, 2009).
- Parâmetros iniciais: vários parâmetros do *PolicySpace2* são efetivos apenas no mês inicial da simulação e derivam de observações empíricas. Depois são substituídos por interações endógenas. Em especial: percentual inicial de famílias que alugam (*RENTAL\_SHARE*); tamanho da oferta excedente de imóveis, a vacância (*HOUSE\_VACANCY*); e proporção do preço do imóvel como base para o custo do aluguel (*INITIAL\_RENTAL\_PRICE*).
- Tempo de vacância do imóvel: esses dois parâmetros – desconto máximo (*MAX\_OFFER\_DISCOUNT* –  $\gamma$ ) e velocidade do aumento do desconto (*ON\_MARKET\_DECAY\_FACTOR* –  $\kappa$ ) – associam o tempo que o imóvel permanece desocupado como influência na depreciação do preço estimado de venda. Também foi testado com vários valores e influencia pouco nos resultados.
- Processo de negociação de imóveis: esses dois parâmetros – *CAPPED\_TOP\_VALUE* ( $\rho+$ ) e *CAPPED\_LOW\_VALUE* ( $\rho-$ ) – limitam a volatilidade do processo negocial, excluindo possibilidades em que a poupança da família seja o dobro do preço estimado, por exemplo, e o vendedor consiga impor preço superior (ou inferior) aos limites estabelecidos.
- Custo de transportes: dois parâmetros ponderam o custo de transportes como critério para ranqueamento das firmas que oferecem vagas pelo candidato (*PRIVATE\_TRANSIT\_COST* e *PUBLIC\_TRANSIT\_COST*). O próprio candidato calcula o indicador considerando as distâncias para as firmas e a probabilidade de ele ou ela possuir ou não veículo particular.
- Custo do terreno: é o percentual do custo de construção repassado ao poder público municipal como forma de retorno pela compra do terreno (*LOT\_COST* –  $\nu$ ). Não há estimativa precisa da razão entre o custo do terreno e o do imóvel, que inclusive podem variar em trajetórias distintas. Como regra de dedo, o indicador mais comum se situa entre 10% e 25% do preço do imóvel (Bostic, Longhofer e Redfearn, 2007).
- Prazo para integralização dos recursos de vendas de imóveis no pagamento de salários (*CONSTRUCTION\_ACC\_CASH\_FLOW* –  $n$ ): dado que o volume de recursos de vendas de imóveis é substancial, o fluxo de caixa de empresas e famílias precisa ser organizado de modo que o influxo

de capital não seja utilizado imediatamente no mês seguinte, como acontecia no *PolicySpace* (Furtado, 2018c). Assim, no *PolicySpace2*, as famílias podem depositar recursos financeiros que excedem sua renda permanente mais sua reserva para emergências (seis meses); as firmas construtoras, por sua vez, ao vender imóveis do seu portfólio, distribuem ao longo de um número de meses ( $n$ ) os recursos entre seus empregados.

- 4) Avaliação conceitual do modelo: a concepção do *PolicySpace2* é aditivamente desenhada a partir do entendimento de como a literatura caracteriza o mercado imobiliário. A partir de modelos tradicionais que são muito abstratos (Dipasquale e Wheaton, 1994), ou da compreensão de que seus resultados empíricos são insuficientes (Glaeser e Nathanson, 2017), buscaram-se fundamentos na literatura de modo que os processos, no seu conjunto, se assemelhassem aos observados. O processo de negociação no mercado imobiliário, em especial, construído na conjunção da poupança das famílias, e o preço hedônico calculado dos imóveis (Rosen, 1974), com limites paramétricos e espaciais (Furtado, 2009), parece suficientemente embasado. Ademais, processos endógenos geradores de salários são fundamentados na produtividade de trabalhadores, conforme modelado por trabalhos anteriores (Gaffeo *et al.*, 2008; Lengnick, 2013), e seguem padrões já estabelecidos pela literatura (Dawid e Gatti, 2018) e descritos de acordo com as melhores práticas (Augusiak, Brink e Grimm, 2014; Grimm *et al.*, 2020).
- 5) Verificação dos resultados do modelo: os resultados do modelo e sua comparação com dados reais são feitos nas seções 4 e 5 deste capítulo. Adicionalmente, TRACE recomenda que se explicita até que ponto os resultados são gerados a partir de dados do ambiente ou das entradas do modelo. Para o caso do mercado imobiliário no *PolicySpace2*, não há informação referente a imóveis introduzidos como dados de entrada no modelo. As informações se referem somente às empresas, aos agentes e às famílias, à configuração espacial e a processos demográficos de alteração ao longo do período. No âmbito municipal, o indicador de IDHM é utilizado como referência para o indicador de qualidade de vida (Quality of Life Index – QLI) em 2010, para cada município da região metropolitana em análise.
- 6) Análise do modelo: a análise de sensibilidade que busca verificar a robustez da simulação a variações nos parâmetros é feita no capítulo 5, justamente porque permite, ao mesmo tempo, verificar a relevância de determinados parâmetros sobre a simulação, mas também compreender possíveis desdobramentos do modelo a choques exógenos. Se a configuração-padrão consegue replicar minimamente o fenômeno em

tela, então alterações nos parâmetros – por exemplo, a produtividade dos trabalhadores, ou a relevância que se dá ao impacto da vizinhança nos preços – podem iluminar aspectos de política pública.

- 7) Corroboração dos resultados do modelo: este item do TRACE verifica se dados e padrões que não foram utilizados, e talvez nem conhecidos à época da concepção e do desenvolvimento do modelo, corroboram seus resultados. Para o caso do *PolicySpace2*, utilizamos dados de imóveis coletados majoritariamente ao longo do primeiro semestre de 2020, quando grande parte do modelo já estava desenvolvido. Ademais, como mencionado no item anterior, a simulação não se utiliza de dados de imóveis. Dito isso, vale esclarecer que a análise descritiva dos dados reais levantou aspectos relevantes da compreensão dos mecanismos, em especial ressaltando elementos que não estão presentes no modelo. Para o caso da região metropolitana do Distrito Federal, que é utilizada no caso-padrão de comparação entre dados reais e simulados, há bairros com preços extremamente elevados, mas que, porém, não apresentam elementos factuais (amenidades, proximidades, infraestrutura) suficientes para justificar seus preços que não seja o lançamento de um “novo bairro de luxo”, com preços superiores a todas as outras vizinhanças da capital. Os dados reais também ressaltaram a relevância da manutenção do imóvel parado no mercado, até que as propostas de compras (ou seja, a poupança das famílias no *PolicySpace2*) estivessem compatíveis com o preço estimado pelo vendedor. Essas observações, em conjunto com material anteriormente desenvolvido que aponta especificamente para a atratividade da vizinhança por meio de sua percepção e sua influência nos preços (Furtado, 2009; Galster, 2001), levou à incorporação da renda média das famílias no processo de composição do preço do vendedor no modelo. Também foi introduzido no modelo, após a avaliação dos dados reais, o fator de depreciação dos preços de acordo com o tempo que permanece em oferta no mercado. De todo modo, ambas essas implementações podem ser “desligadas” do modelo por meio do ajuste dos parâmetros para zero.

## 2 VERIFICAÇÃO E TESTE

Programas de computador estão sempre sujeitos a erros e execuções e podem não funcionar exatamente da maneira como o modelador imaginou (Galán *et al.*, 2009). *PolicySpace2* não é diferente, e é possível que alguma implementação seja executada de maneira distinta da imaginada. Alguns procedimentos foram implementados para garantir que erros de inconsistências e implementação fossem minimizados ou inexistentes.

- 1) Uma simulação com todos os parâmetros e opções de salvamento listados como verdadeiro gera 63 gráficos diferentes e as planilhas correspondentes com detalhes mensais e estados de cada agente. Com isso, o modelador pode observar indicadores sobre o comportamento das famílias, dos bancos, das firmas, das regiões e dos mercados que fornecem desenho bem preciso da evolução dos processos ao longo do período analisado.
- 2) A análise de sensibilidade realizada de forma automatizada e já embutida na programação permite testar situações nas quais algumas regras e determinados mecanismos estão ausentes e comprovar se os gráficos gerados confirmam a ausência ou presença. Por exemplo, o parâmetro de distribuição de recursos (*FPM\_DISTRIBUTION*), quando escolhido como falso, gera gráficos com distribuição nula de recursos nessa modalidade, como esperado. O mesmo ocorre quanto ao número de famílias agraciadas igual a zero, quando o fator de distribuição de políticas está desligado.
- 3) Em vários momentos da execução do programa de simulação, comandos do tipo *assert* fazem a verificação durante o processamento, garantindo, por exemplo, que famílias não permaneçam sem endereço ou que imóveis sempre tenham proprietários.
- 4) Alguns poucos testes específicos também foram adicionados, como verificar se firmas construtoras aumentaram a oferta de imóveis; se o banco efetivamente empresta recursos às famílias; e se não há famílias sem endereço.
- 5) Talvez a verificação mais rigorosa seja exatamente o processo de descrever, simular e analisar os resultados. Para a descrição, cada processo do código em si foi revisitado, conferido e testado. Para os resultados, os gráficos e as combinações de parâmetros possíveis foram exaustivamente simulados.
- 6) Finalmente, foi feita uma conferência específica para os fluxos de recursos entre os agentes de modo a garantir que não havia “criação” de recursos ao longo dos processos e o modelo pudesse ser encaixado como *cash-flow consistent*. Ou seja, não há criação de recursos para além do montante inicial na geração dos agentes. Precisamente, a construção de recursos se dá por meio da produtividade dos trabalhadores nas firmas. O banco só opera com recursos depositados pelas próprias famílias, para além do capital inicial. Os mercados também só operam a partir das disponibilidades de pagamento das firmas ou das famílias. Processos subjacentes de decisão sobre preços podem variar – por exemplo, na

transformação de recursos municipais na alteração do indicador de qualidade de vida ou na decisão de *markup* da firma –, porém os preços só se realizam de fato de acordo com a existência de recursos.

### 3 CARACTERIZAÇÃO DOS DADOS EMPÍRICOS PARA VALIDAÇÃO

*PolicySpace2* buscará validação por meio da comparação de dados empíricos de preços e características de imóveis para as Áreas de Concentração de População (ACPs) de Brasília, com o Distrito Federal incluso e os municípios adjacentes do entorno. Dados de aluguéis e vendas foram coletados de sítios da internet no período entre outubro de 2018 e junho de 2020, em 41 datas distintas, com mais regularidade a partir de março de 2020. As informações são preenchidas por usuários individuais e corretores de imóveis e disponibilizadas sem formatação rigidamente estruturada, de forma que ocorrem imprecisões e erros eventuais no registro de dados. Assim, a base foi simplificada, excluindo-se valores extremos (quantil acima e abaixo de .05) e observações sem dados para área útil, por exemplo. Buscaram-se detalhes – quando disponíveis – referentes a: i) endereço; ii) bairro; iii) dia da oferta do imóvel e dia da coleta da informação; iv) despesas com condomínio; v) área útil; vi) número de banheiros; vii) número de quartos; viii) número de vagas; e ix) latitude e longitude. Adicionalmente, para aqueles imóveis com endereços e sem informação georreferenciada, utilizou-se o Sistema Galileo ©ESRI, disponível no Ipea, para acrescentar latitude e longitude, quando o endereço descrito assim o permitiu.

A base de dados empírica comparada consta com as seguintes características medianas: o imóvel típico para aluguel na região de Brasília e entorno no primeiro semestre de 2020, baseado na mediana dos dados de 8.840 ofertas, tem preço de R\$ 2.500,00 – área útil de 115 m<sup>2</sup>, dois banheiros, três quartos, duas vagas, custos de condomínio/Imposto Predial e Territorial Urbano (IPTU) de R\$ 638. Está anunciado há dezenove dias e apresenta custo por metro quadrado de R\$ 20,24 em 66 denominações de bairros distintas.

O típico imóvel para venda, por sua vez, baseado em 23.103 observações, em 61 bairros distintos, está em oferta por R\$ 750 mil. Tem área útil de 126 m<sup>2</sup>, três quartos e três banheiros, com duas vagas. O preço de venda por metro quadrado mediano está em R\$ 6.011.

### 4 RESULTADOS: INDICADORES MACROECONÔMICOS

Nesta seção, retomamos o propósito específico do modelo e verificamos se os resultados alcançados são compatíveis e adequados. O propósito inicial foi assim resumido: “[*PolicySpace2* busca] verificar se o comportamento dos indicadores econômicos do modelo se mantém dentro de margens razoáveis, ao mesmo tempo que o mercado

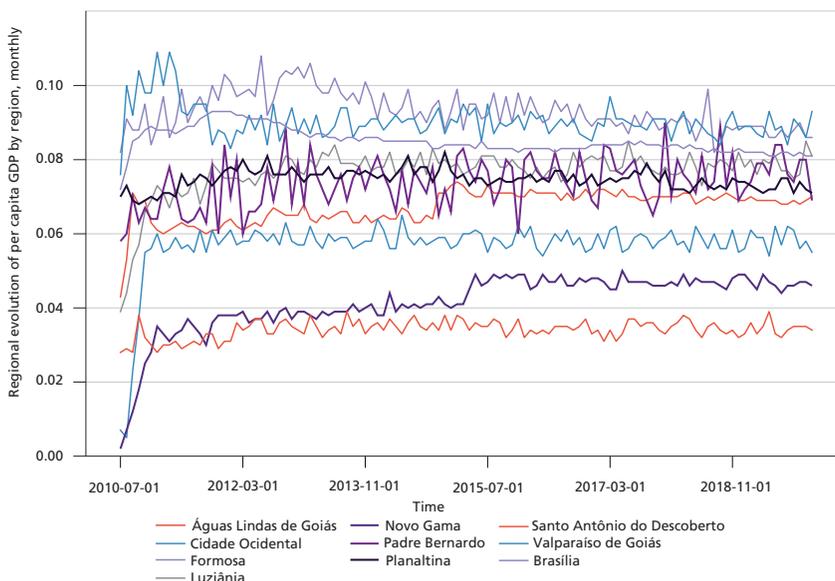
imobiliário também apresenta desempenho semelhante ao mercado real observado”. No capítulo 5 utilizamos resultados do *PolicySpace2* para ilustrar sua capacidade como modelo descritivo, que permite analogias e serve como base para raciocinar sobre o mercado imobiliário de forma endogenamente integrada ao restante do sistema econômico, e no capítulo 6 realizamos o teste de política habitacional.

Considerada a simulação-padrão, para o caso do Distrito Federal, com parâmetros estabelecidos conforme seu valor descrito no apêndice deste livro – e formatação-padrão na plataforma GitHub<sup>2</sup> –, temos indicadores macroeconômicos gerais, como veremos a seguir.<sup>3</sup>

- 1) O produto interno bruto (PIB) do período sobe um pouco no início da simulação e depois se mantém com variações regulares (gráfico 1). A volatilidade é reduzida após o período inicial, variando em 1 ou 2 pontos percentuais (p.p.) ao redor de zero. Observa-se variação endógena não linear nas curvas. Há variabilidade entre os comportamentos municipais.

GRÁFICO 1

## ACP de Brasília: evolução do PIB por municípios (2010-2020)



Elaboração do autor.

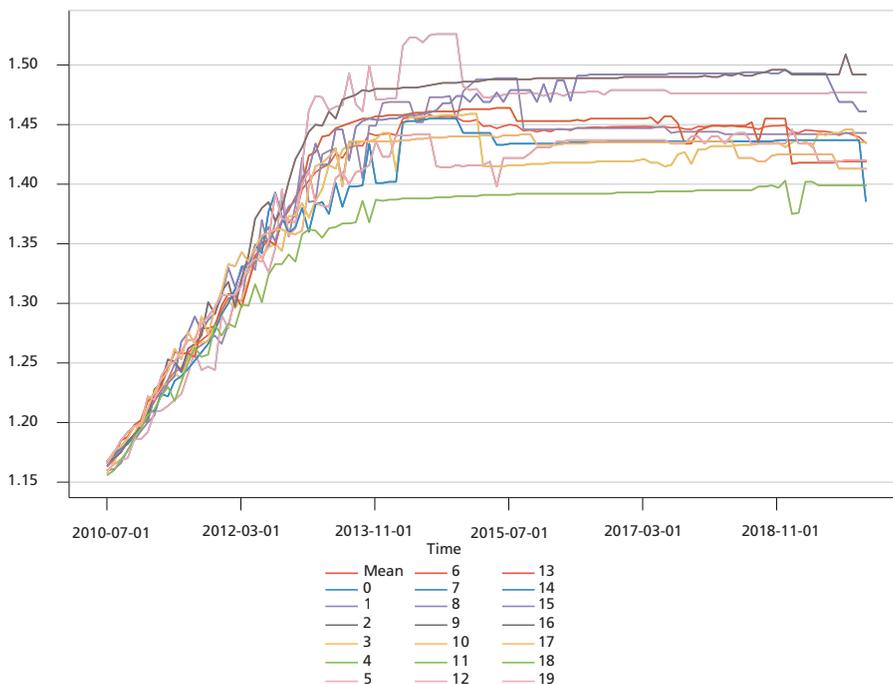
2. Disponível em: <<https://github.com/bafurtado/policyspace2>>.

3. Os resultados foram simulados vinte vezes, apresentada a média dos resultados. Para algumas figuras (que incluem dados regionais – gráfico 1 –, por exemplo), apenas o resultado de uma simulação é apresentado (embora a tendência geral se verifique). Variações de parâmetros também são apresentados em relação a vinte simulações de cada valor de parâmetro. Como padrão excluímos dos resultados os primeiros seis meses da simulação.

- 2) Os preços cresceram cerca de 40% no período, com volatilidade da inflação maior nos primeiros três anos da simulação, que depois se mantém com menor variação (gráfico 2).

GRÁFICO 2

ACP de Brasília: nível de preços médio (2010) = 1.00, vinte simulações

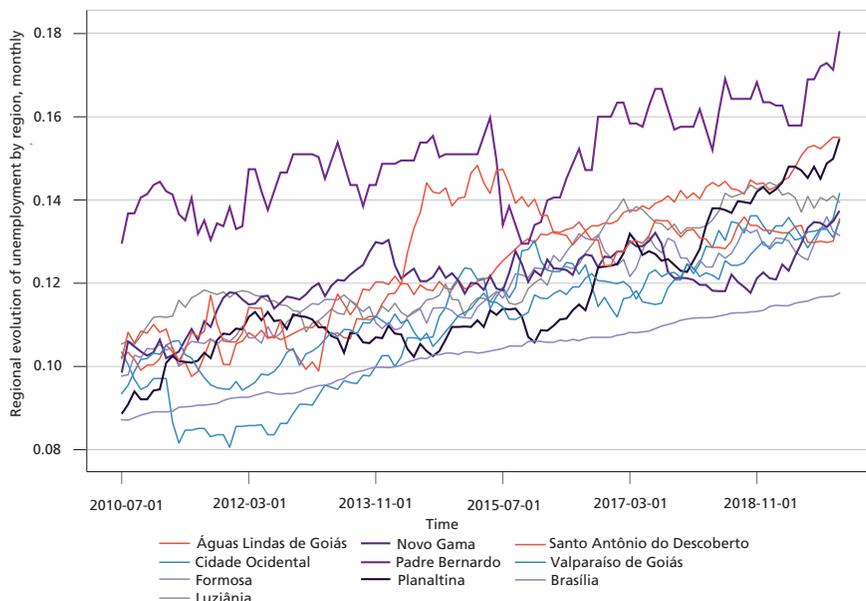


Elaboração do autor.

- 3) O desemprego, para o caso de Brasília, e a configuração-padrão de parâmetros mostram-se em contínua elevação, passando de aproximadamente 8% no início do período para 11% no final (gráfico 3). Como esperado, há maior volatilidade e desemprego em níveis superiores para os municípios do entorno, sendo que Padre Bernardo, em Goiás, atinge o maior nível de desemprego, na faixa de 16%. O desemprego tem comportamento não necessariamente crescente, mas dentro da faixa de até 15% para outras regiões metropolitanas testadas com o mesmo conjunto de parâmetros.

GRÁFICO 3

## ACP de Brasília: evolução do desemprego regional (2010-2020)

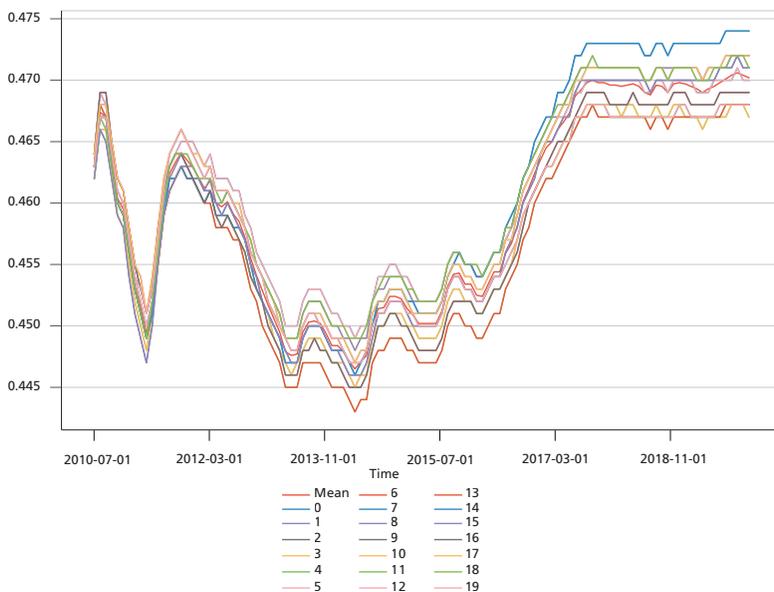


Elaboração do autor.

- 4) O coeficiente de Gini varia ao longo da simulação, atingindo uma média de 0,47 ao final do período (gráfico 4). Entretanto, para o cálculo do Gini municipal, temos Brasília com valor próximo a 0,46 e os municípios do entorno com valores mais baixos, mais homogêneos ao longo da simulação, com valores entre 0,34 e 0,46 (gráfico 5). De fato, regiões mais pobres, como o entorno do Distrito Federal, tendem a ser mais homogêneas do que as sedes e o conjunto das regiões metropolitanas.

GRÁFICO 4

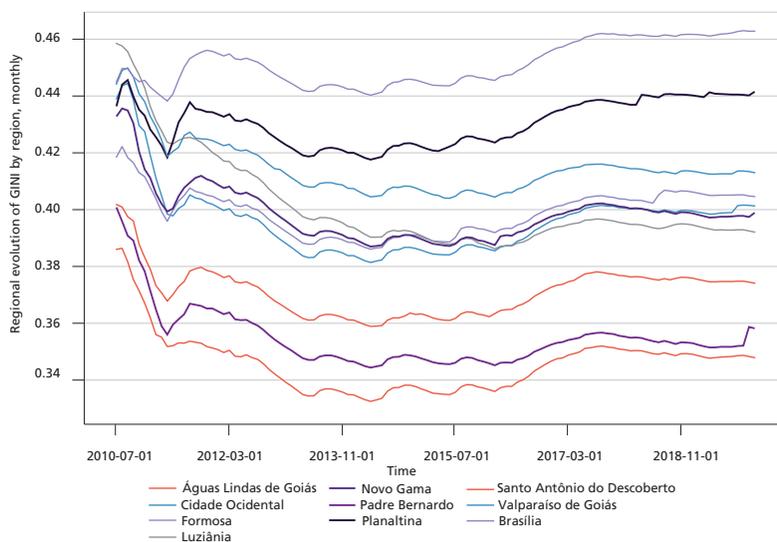
## ACP de Brasília: evolução do coeficiente de Gini (2010-2020)



Elaboração do autor.

GRÁFICO 5

## ACP de Brasília: evolução do coeficiente de Gini para os municípios (2010-2020)



Elaboração do autor.

Esses quatro indicadores, em conjunto, nos parecem apresentar comportamentos e níveis próximos ao que se deveria esperar de uma economia como a brasileira, no contexto da região metropolitana do Distrito Federal e entorno, caracterizando *PolicySpace2* como uma simulação que consegue apresentar indicadores macroeconômicos gerais dentro de parâmetros razoáveis.

Adicionalmente, outros indicadores da simulação que caracterizam a economia podem ser assim resumidos. Em relação ao comportamento dos bancos, há incremento regular e contínuo da base de empréstimos, com aumento dos prazos médios; e aumento dos níveis de depósitos, a partir do segundo ano da simulação, com manutenção do número de clientes em atraso em níveis relativamente altos. O valor dos empréstimos permanece em patamares constantes. Entre as firmas de construção civil, pouco mais de metade delas observa incremento do número de funcionários de cerca de 20%, enquanto o restante apresenta estabilidade ou incremento menos pronunciado de pessoal. A poupança das famílias aumenta ao longo da simulação, com variação da renda permanente, em sintonia com a flutuação de juros observada. Na média, o consumo das famílias aumenta nos três primeiros anos, depois baixa um pouco e se mantém. As firmas apresentam redução do capital inicial, com alguma volatilidade e certo incremento nos dois últimos anos. Os lucros apresentam grande volatilidade, embora mantendo-se, na grande maioria dos meses, em território positivo. Finalmente, ressalte-se, como detalhado na seção seguinte, que *PolicySpace2* replica alguns mecanismos básicos esperados da economia, tal como ilustrado na introdução. Assim, aumento da produtividade gera, por exemplo, redução dos preços, enquanto redução do número de firmas consultadas na decisão de consumo pelas famílias leva a aumento de preços.

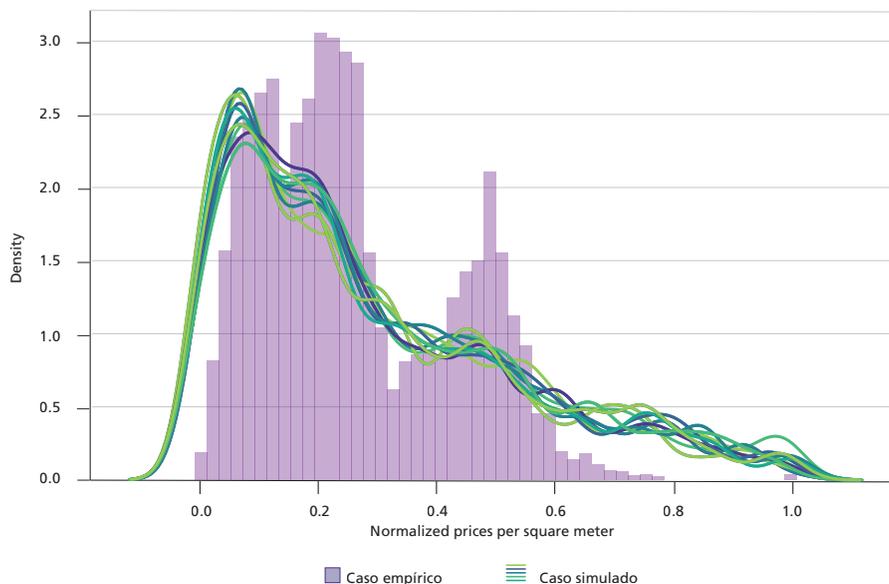
## 5 RESULTADOS: MERCADO IMOBILIÁRIO

A comparação de dados reais e simulados para o mercado imobiliário de compra e venda de imóveis é feita por meio dos histogramas de preços por metro quadrado normalizados.

O histograma sugere que os dados reais coletados para o Distrito Federal incluem dois picos de concentração de preços – o primeiro e maior nos valores mais baratos e outro pico nos valores médios, com poucos imóveis entre os mais caros (gráfico 6). Os preços para os dados simulados também apresentam um pico nos valores mais baratos, porém são mais bem distribuídos que os dados reais no que se refere aos imóveis mais caros.

GRÁFICO 6

Brasília: histogramas comparativos de preços de imóveis para o caso empírico e o caso simulado (2010-2020)

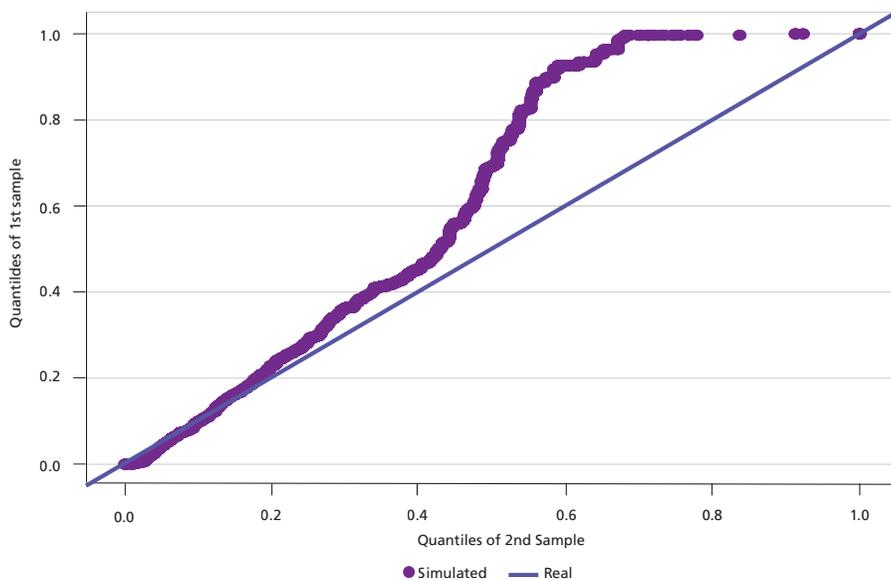


Elaboração do autor.

Esse comportamento fica mais explícito no gráfico quantil-quantil (Q-Q), um gráfico de probabilidades utilizado para comparar duas distribuições, plotando o quantil de uma distribuição contra o quantil de outra. De fato, o comportamento segue parecido até pouco antes do quantil 0,5, quando há um deslocamento da curva de dados simulados com maior presença de imóveis mais caros do que aqueles da base de dados reais (gráfico 7).

GRÁFICO 7

Brasília: gráfico Q-Q para dados empíricos e simulados (2010-2020)



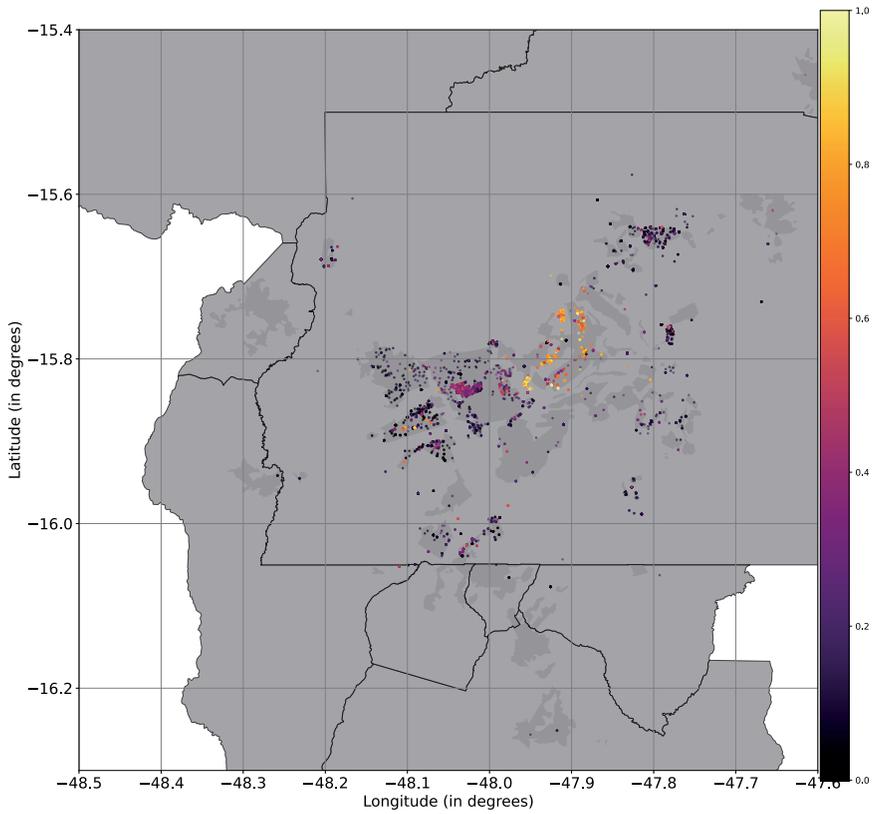
Elaboração do autor.

Finalmente, a análise espacial de distribuição de imóveis mostra que os dados reais para o caso do Distrito Federal se localizam em regiões nas quais não há necessariamente firmas ofertando empregos ou acesso a comércio. Preferencialmente, áreas exclusivamente residenciais unifamiliares horizontais (como as regiões do Lago Sul e Lago Norte) ou residenciais multifamiliares verticais (figura 3).

Os dados simulados, por sua vez, favorecem regiões do Distrito Federal que concentram população, empregos e firmas, marcadamente a porção mais ao sudoeste do território, e estão distribuídos de forma mais homogênea, tanto nas áreas urbanas quanto nas rurais (figura 4).

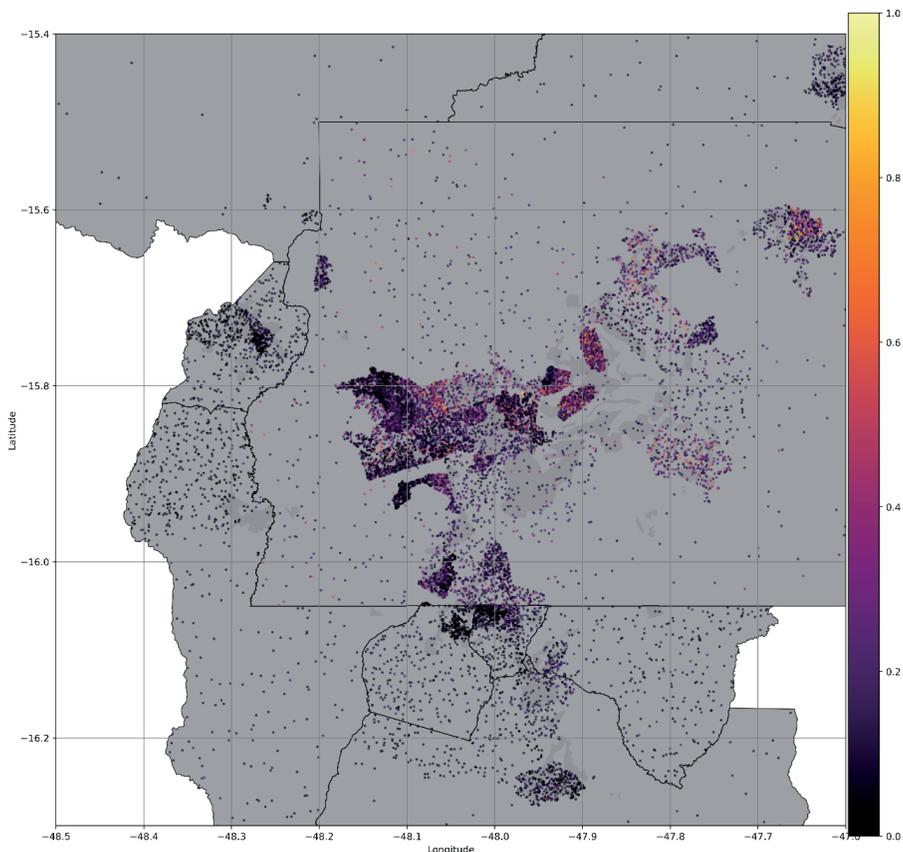
FIGURA 3

Distribuição de dados de vendas de imóveis empíricos, normalizados, custo por metro quadrado (2020)



Elaboração do autor.

FIGURA 4  
Distribuição de dados de imóveis da simulação, normalizados, preços por metro quadrado, valores para último mês da simulação (2010-2020)

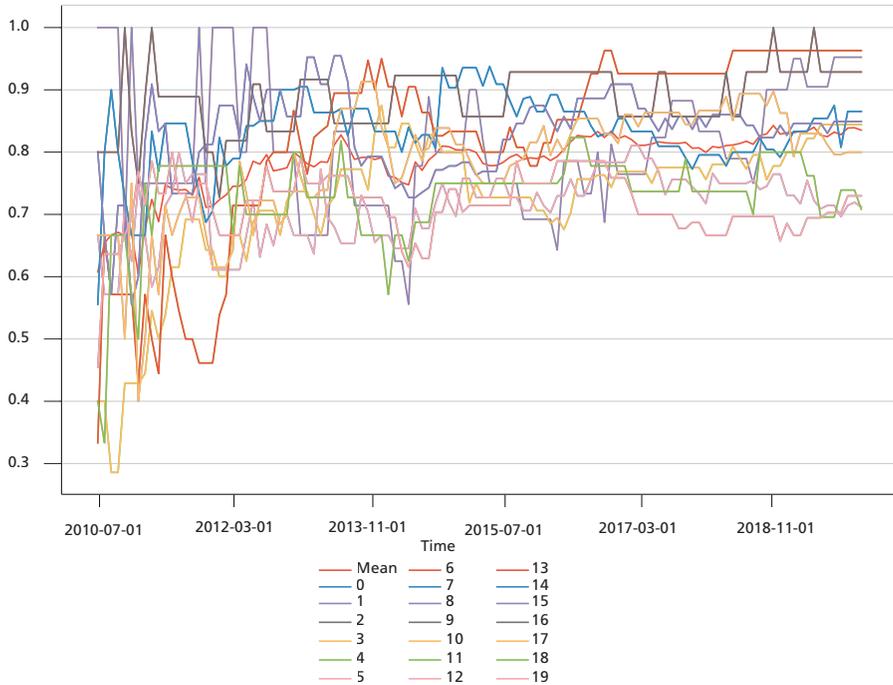


Elaboração do autor.

## 6 COMPORTAMENTOS DIVERGENTES

Três comportamentos do *PolicySpace2* parecem divergir de resultados compatíveis com o esperado. Dois deles se referem à inadequação dos salários das famílias para manter suas obrigações. No primeiro caso, percentual de famílias em alto patamar (80%) solicitam empréstimos ao banco, porém não conseguem manter os pagamentos em dia (gráfico 8). Note que a simulação se utiliza de juros reais de financiamento imobiliário para uma população que é representativa em termos de desigualdade da realidade brasileira. Nossa hipótese é que esse resultado demonstra o que ocorreria se todas as famílias, de forma indiscriminada e sem viés, solicitassem ao agente financeiro empréstimos imobiliários.

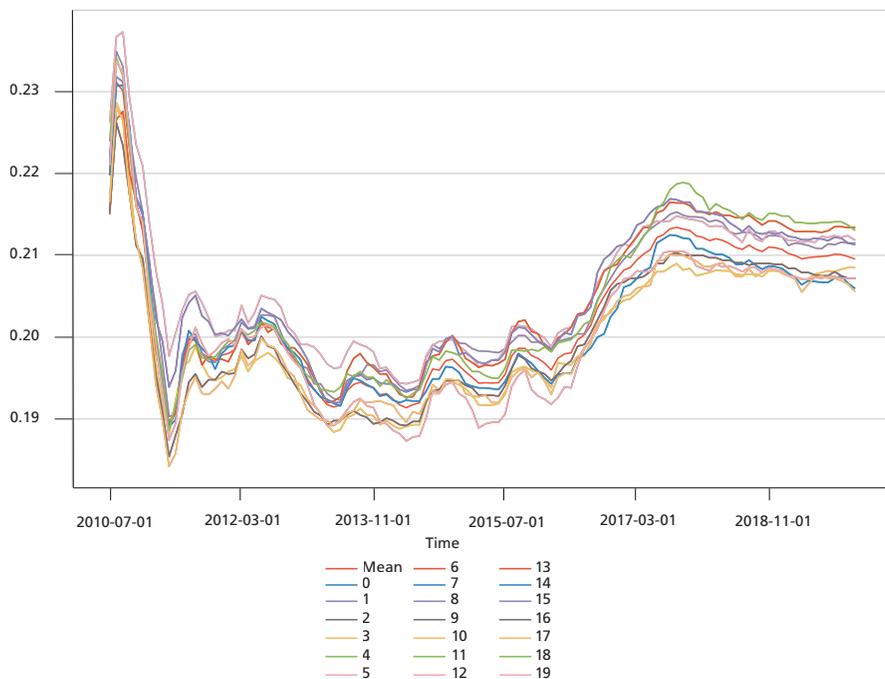
GRÁFICO 8  
**Financiamentos imobiliários inadimplentes**  
 (Em %)



Elaboração do autor.

Adicionalmente, apenas cerca de 20% das famílias que alugam conseguem pagar alugueis que estejam abaixo do limite de 30% da sua renda permanente (gráfico 9). Esse número deveria estar por volta de 70% das famílias. Em outras palavras, os alugueis correntes do modelo parecem estar muito acima da capacidade de pagamento das famílias. Provavelmente, isso decorre dos mecanismos de construção do modelo que dirige todas as famílias sem imóvel próprio e que não são bem-sucedidas no mercado de compra e venda para o mercado de alugueis. Portanto, parte das famílias mais pobres da simulação participam do mercado de alugueis. A realidade empírica, todavia, inclui famílias sem recursos financeiros, mas que são proprietárias da sua residência, ainda que em condições precárias.

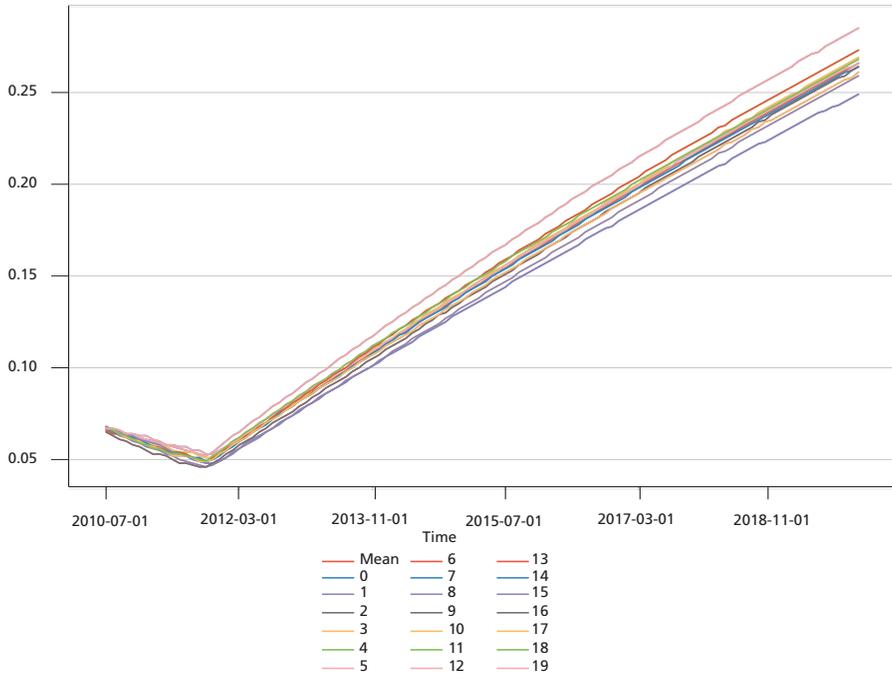
**GRÁFICO 9**  
**Famílias cujo aluguel está abaixo de 30% da sua renda permanente**  
 (Em %)



Elaboração do autor.

O terceiro mecanismo que apresenta comportamento inadequado é a evolução da vacância ao longo do processo (gráfico 10). Nos primeiros anos do modelo, enquanto o sistema de construção civil ainda está planejando a construção de novos imóveis, a vacância cai consistentemente, chegando a apenas 5% do total de imóveis na simulação. A partir do segundo ano, entretanto, as firmas construtoras começam a realizar a entrega dos imóveis prontos e terminam o período com a vacância esperada, em torno de 25%, valor superior ao esperado, de 10% a 15%.

GRÁFICO 10  
Brasília: vacâncias na simulação (2010-2020)  
(Em %)



Elaboração do autor.

## ANÁLISE DE SENSIBILIDADE: DESCRIÇÃO E ANALOGIAS

Neste capítulo, retomamos o propósito do modelo de descrever mecanismos do mercado imobiliário de modo integrado ao restante do sistema econômico. Esses resultados são obtidos na medida em que a análise de sensibilidade – qual seja, testes de variação em parâmetros e regras do modelo – influencia alterações nos resultados, quando comparados à versão-padrão. A variação de parâmetros é típica em *agent-based modeling* (ABM). O teste estrutural de regras e mecanismos é menos comum, porém está presente em *PolicySpace* (Furtado, 2018c) e Goldstein (2017). Os resultados são indicativos e trazem contribuições de comportamento relativo e comparativo.

### 1 TESTE ESTRUTURAL DE REGRAS E MECANISMOS

Primeiro testaremos a inclusão de regras e mecanismos específicos do *PolicySpace2*, quais sejam, o critério de escolha no mercado de trabalho de parte das firmas por proximidade, em detrimento de qualificação puramente; em seguida, o efeito da renda média da vizinhança nos preços dos imóveis; o desemprego global como elemento de influência na decisão de salários das firmas; e a relevância relativa da oferta no mercado imobiliário.

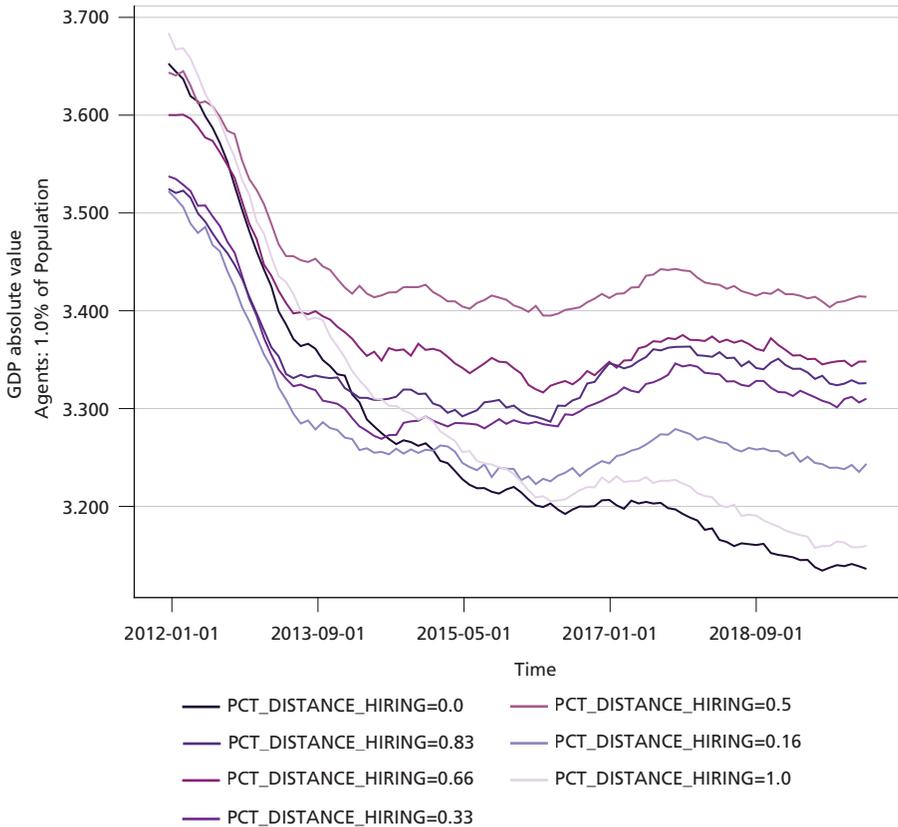
#### 1.1 Proximidade ao mercado de trabalho ( $\eta$ )

Nossa hipótese é que o parâmetro de proximidade ao mercado de trabalho ( $\eta$ ) no *PolicySpace2* faz com que o ajuste entre firmas e trabalhadores seja otimizado localmente. Porém, é subótimo no contexto da região metropolitana como um todo. Ambos os valores (para o parâmetro igual a 0 – ausência da regra de distância e todos os candidatos são avaliados por qualificação; e 1 – só a proximidade é relevante na contratação) levam à *performance* econômica inferior em relação a parâmetros intermediários. Dada a concentração de grande parte da população com mais baixa qualificação nas periferias metropolitanas, aliadas a um menor número de firmas nesses municípios, o ajuste extremo, por qualificação ou proximidade, leva a desequilíbrios relevantes na economia a ponto de impactar a produção econômica geral e o produto interno bruto (PIB) (gráfico 11). De fato, a mobilidade total é menor quando os ajustes são feitos inteiramente por proximidade (gráfico 12). O ajuste totalmente por qualificação gera o segundo menor nível de mobilidade. Esse efeito, todavia, deriva do fato de que o desemprego

também atinge outro patamar, passando de valores próximos a 12% para valores superiores a 20% da população economicamente ativa (gráfico 13). Ou seja, a mobilidade só diminui à custa de número bem maior de desempregados.

GRÁFICO 11

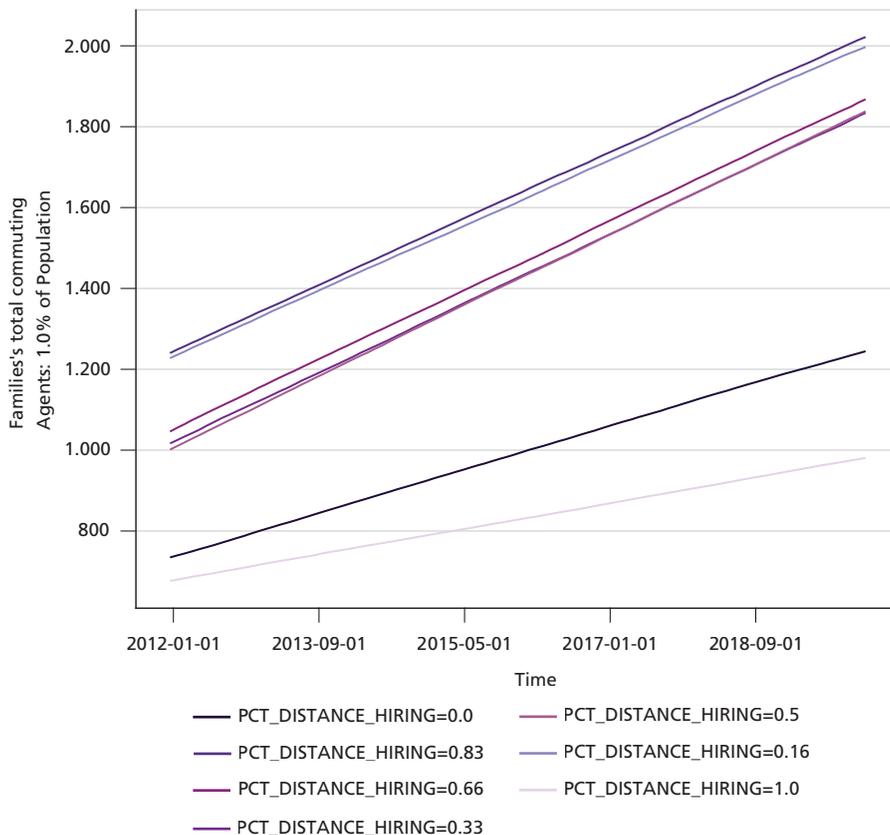
**Brasília: resultado do PIB para variação do parâmetro de percentual de candidatos a serem escolhidos por critério de proximidade, com média de vinte simulações por parâmetro (2010-2020)**



Elaboração do autor.

GRÁFICO 12

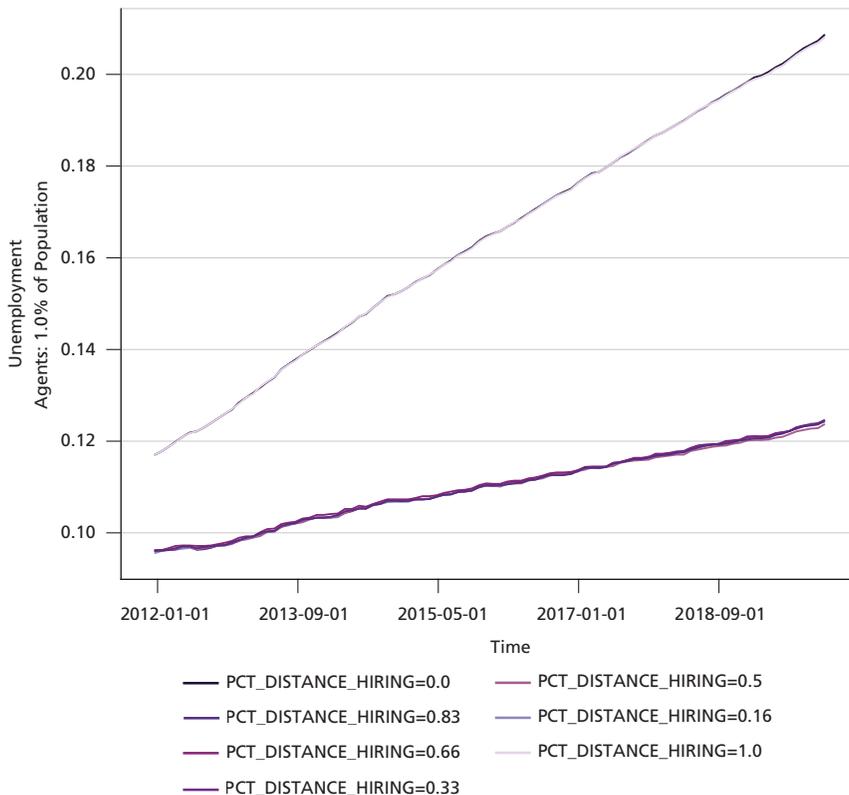
Brasília: resultado do deslocamento total dos trabalhadores para variação do parâmetro de percentual de candidatos a serem escolhidos por critério de proximidade, com média de vinte simulações por parâmetro (2010-2020)



Elaboração do autor.

GRÁFICO 13

Brasília: resultado do desemprego para variação do parâmetro de percentual de candidatos a serem escolhidos por critério de proximidade, com média de vinte simulações por parâmetro (2010-2020)



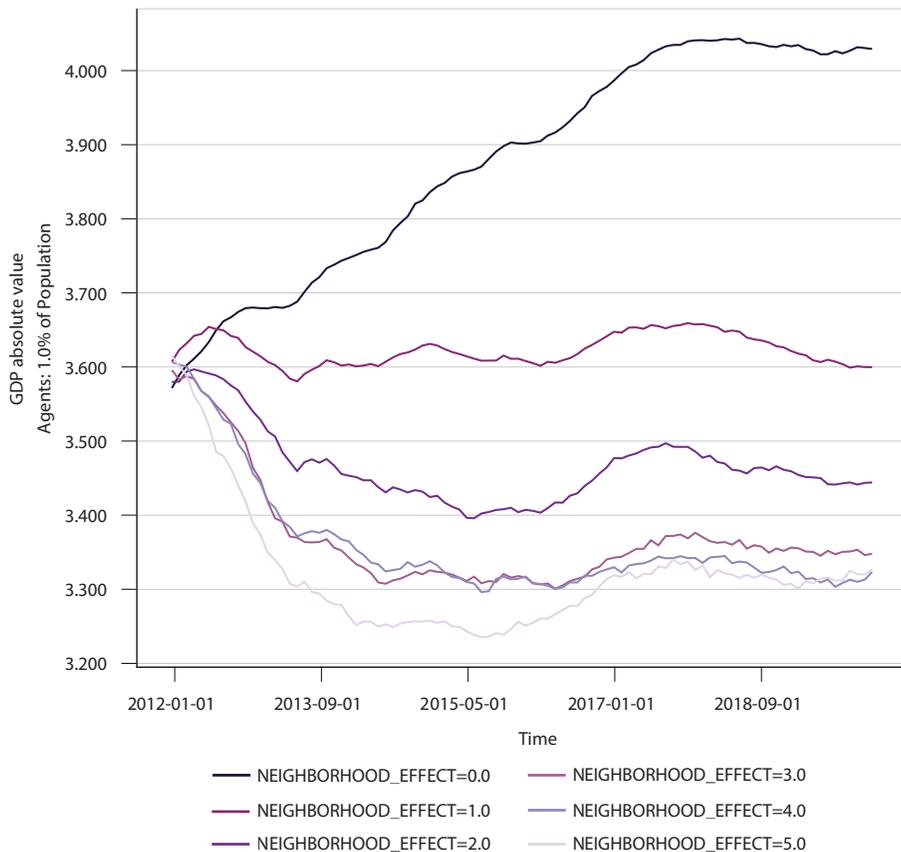
Elaboração do autor.

## 1.2 Efeito vizinhança nos preços dos imóveis ( $\tau$ )

O aumento da relevância da vizinhança na composição dos preços aumenta o preço dos imóveis, o que restringe a compra a número menor de famílias e diminui o PIB (gráfico 14). Com mercado de imóveis mais restrito, a desigualdade aumenta (gráfico 15). O melhor cenário ocorre quando o efeito de vizinhança é nulo e o preço de oferta é baseado somente nos fundamentos, sem a percepção de que a renda média das famílias da vizinhança é relevante. Com efeito nulo, o PIB é maior, a desigualdade menor e há menor atraso nos pagamentos do financiamento imobiliário, embora haja ligeiro aumento nos preços gerais da economia, dado o maior poder de compra das famílias que gastam menos recursos com imóveis.

GRÁFICO 14

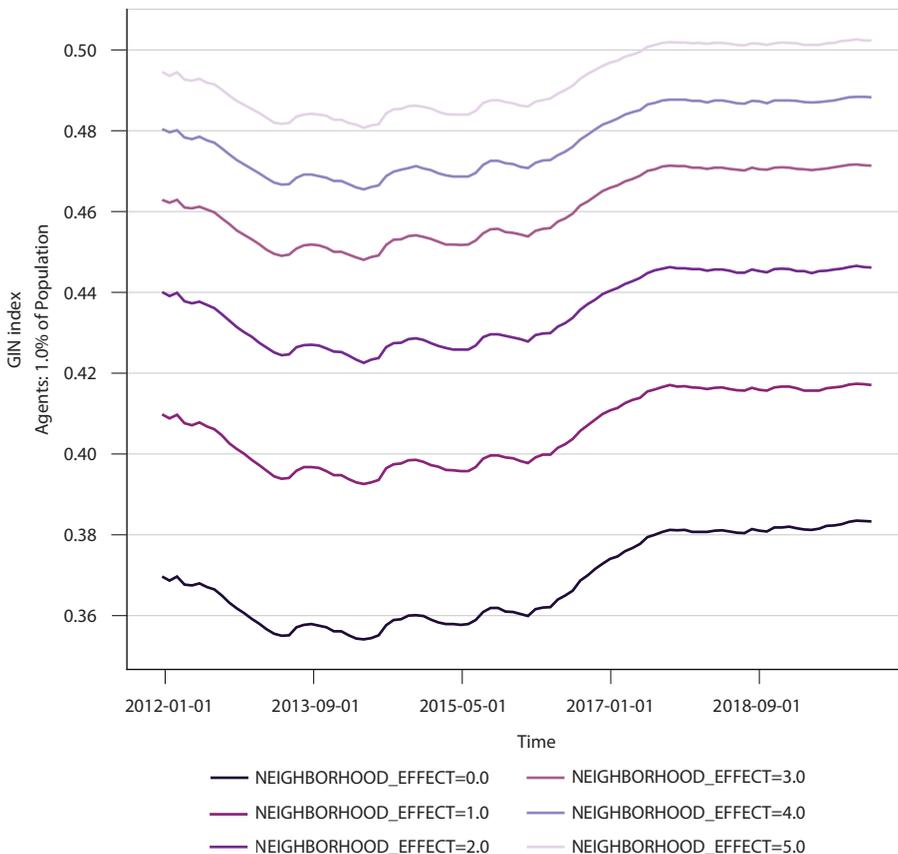
Brasília: resultado do PIB para variação do parâmetro de intensidade do efeito da vizinhança nos preços dos imóveis, com média de vinte simulações por parâmetro (2010-2020)



Elaboração do autor.

GRÁFICO 15

**Brasília: resultado do coeficiente de Gini para variação do parâmetro de intensidade do efeito da vizinhança nos preços dos imóveis, com média de vinte simulações por parâmetro (2010-2020)**



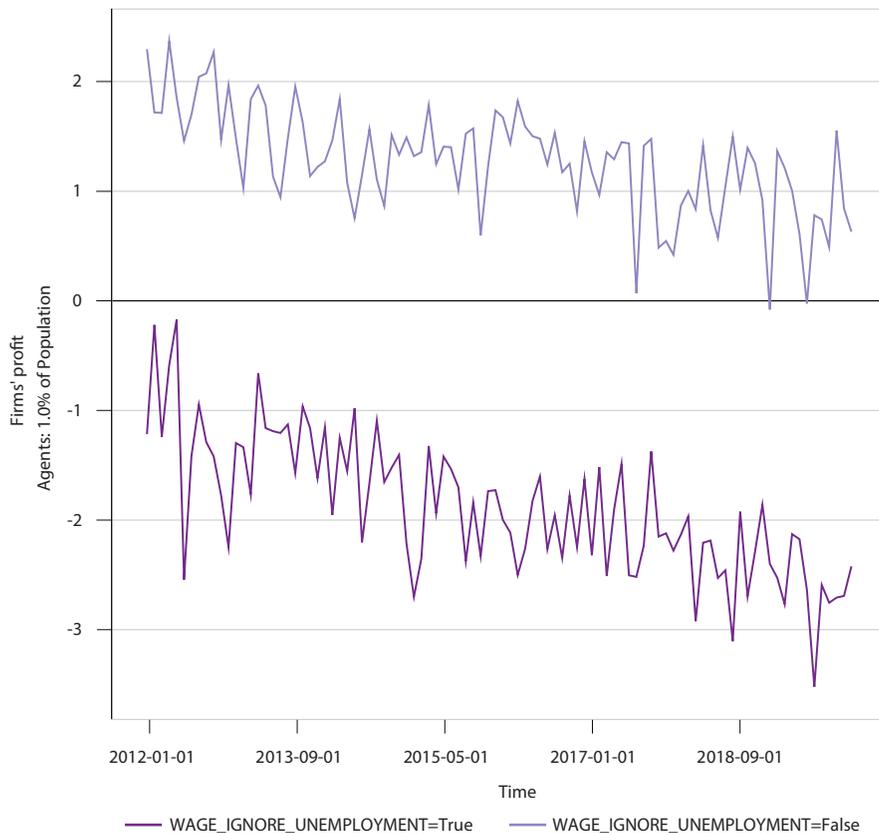
Elaboração do autor.

### 1.3 Desemprego global como fator de influência na decisão de salários ( $U$ )

O parâmetro que estabelece se as firmas observam o desemprego global ao decidir sobre os salários a serem pagos interfere essencialmente na própria *performance* da firma. Dado que a volatilidade da demanda é de alta magnitude, o fato de ser conservador na decisão de salários – qual seja, reduzir o nível dos salários de acordo com o desemprego global, na configuração-padrão do modelo – leva à manutenção de lucros positivos, enquanto a decisão de distribuir todos os recursos arrecadados leva a prejuízos recorrentes (gráfico 16).

GRÁFICO 16

Brasília: resultado do lucro das firmas para variação do parâmetro de inclusão ou exclusão do desemprego global na decisão de salários, com média de vinte simulações por parâmetro (2010-2020)



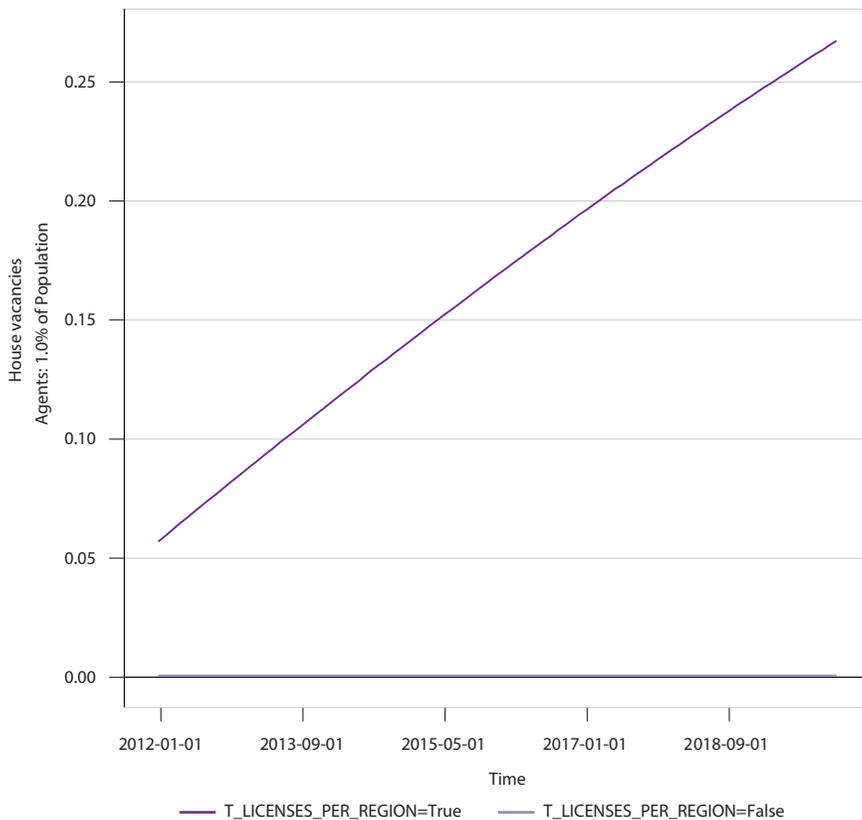
Elaboração do autor.

#### 1.4 Influência relativa da oferta

A restrição total de licenças no modelo gera a escassez de imóveis e a inatividade das firmas construtoras (gráfico 17). Esse efeito leva ao desaquecimento geral da economia, com a piora do desempenho do PIB e o aumento da desigualdade e da inadimplência. Ademais, há restrição ainda maior aos locatários, com menor número de famílias conseguindo aluguéis acessíveis. Os preços dos imóveis, por sua vez, são ligeiramente superiores quando há mais oferta (gráfico 18). Embora possa parecer contraintuitivo, esse resultado deriva do maior aquecimento geral da economia, com maior consumo, maior poupança, mais investimentos no âmbito municipal e maior inflação, porém com menor desigualdade.

GRÁFICO 17

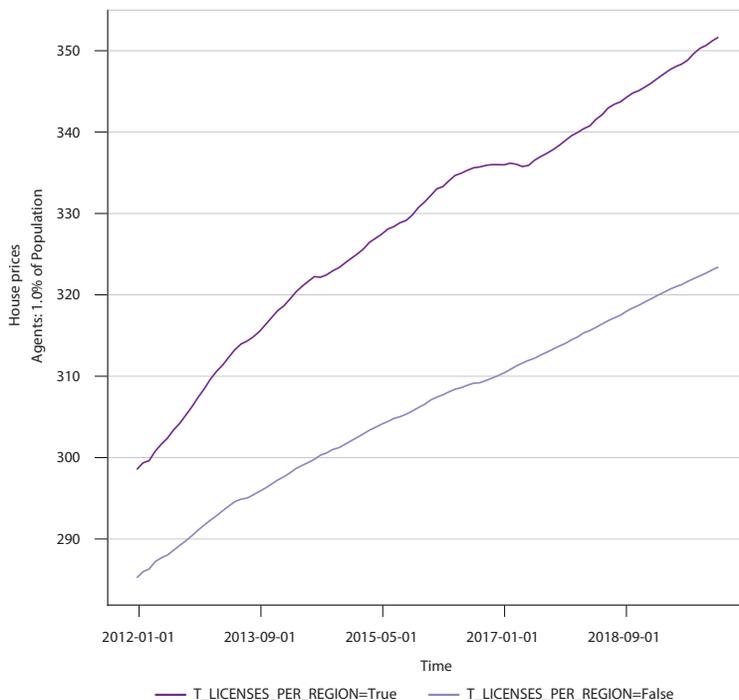
**Brasília: resultado da taxa de vacância para variação do parâmetro de disponibilidade de licenças para construção, com média de vinte simulações por parâmetro (2010-2020)**



Elaboração do autor.

GRÁFICO 18

**Brasília: resultado dos preços dos imóveis para variação do parâmetro de inclusão ou exclusão do desemprego global na decisão de salários, com média de vinte simulações por parâmetro (2010-2020)**



Elaboração do autor.

## 2 COMPREENSÃO DOS MECANISMOS

Esta seção de análise dos resultados do *PolicySpace2* almeja contribuir com a análise de políticas públicas, as mais diversas. Embora os resultados aqui apresentados não sejam exaustivos, dada a complexidade e o número de resultados e combinações possíveis, mencionamos: i) a relevância da produtividade dos trabalhadores; ii) a velocidade e magnitude dos recursos obtidos com a venda de imóveis e a sua capacidade de dinamizar toda a economia; iii) os efeitos de escala; iv) a eficiência na gestão municipal; e v) a redistribuição de orçamentos fiscais entre municípios metropolitanos.

Note que todas as variáveis, de vários agentes, são registradas a cada simulação. Portanto, embora apresentemos para cada item analisado número pequeno e finito de gráficos e comentários, todos os resultados estão disponíveis para cada análise. Assim, qualquer um dos exercícios realizados também inclui outros resultados (listados na subseção 5.11, do capítulo 3) não necessariamente apresentados nos itens desta seção.

## 2.1 Produtividade ( $\alpha$ , $\beta$ )

*PolicySpace2* parece ser interessante para discutir a produtividade dos trabalhadores e sua influência geral na economia. De fato, os parâmetros de produtividade em conjunto são bastante relevantes para o desempenho geral do modelo. Os parâmetros operam diretamente na quantidade de produtos produzida por trabalhador, dada a sua qualificação.

Como esperado, maior produtividade, qual seja, maior parâmetro exponencial e menor divisor, leva a padrão de preços bem mais reduzidos na economia como um todo (gráfico 19). Como os salários também são distribuídos internamente às firmas de acordo com a produtividade de cada trabalhador, as famílias obtêm mais renda, e um percentual maior de famílias consegue arcar com os custos de aluguel (gráfico 20). Todavia, o dinamismo muito maior da economia, dada pela alteração dos parâmetros de produtividade, leva a uma grande produção de novos imóveis das firmas construtoras e, a despeito do aumento de oferta de residências (gráfico 21), um aumento também dos preços, dada a disponibilidade de poupança das famílias (gráfico 22). A maior solicitação de financiamentos imobiliários não ocasiona aumento de mutuários em atraso (gráfico 23).

GRÁFICO 19

**Brasília: resultado dos preços gerais da economia para variação do parâmetro expoente de produtividade, com média de vinte simulações por parâmetro (2010-2020)**

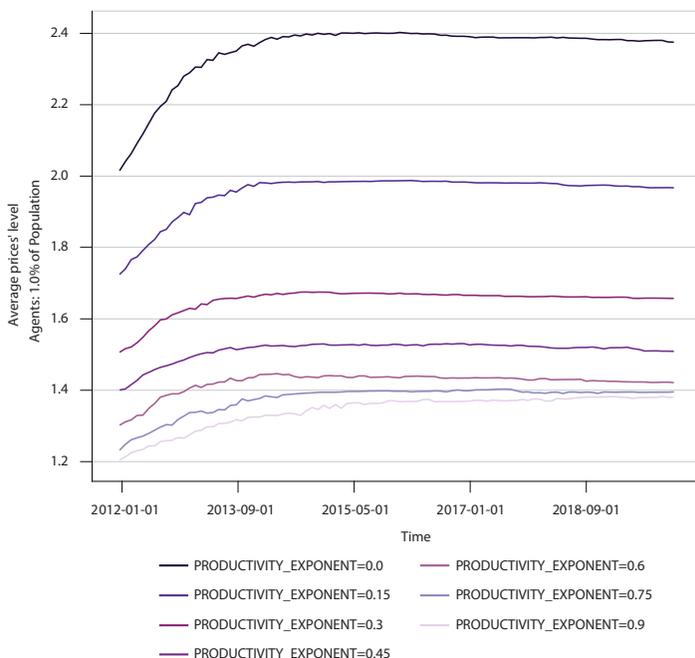
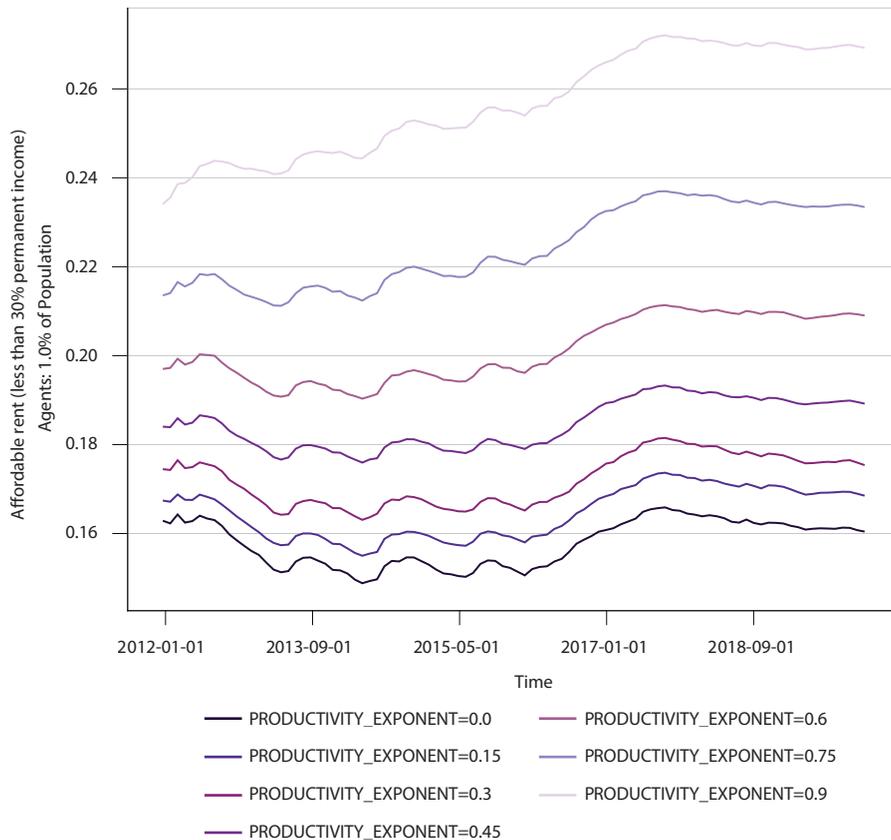


GRÁFICO 20

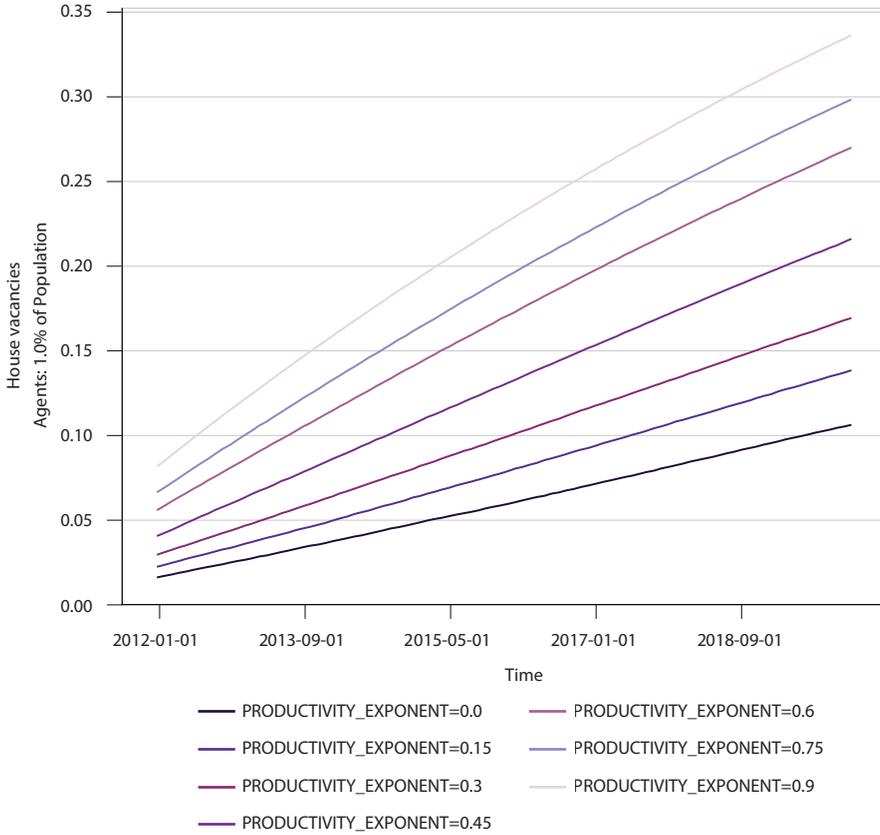
**Brasília: resultado do percentual de famílias cujo aluguel é inferior a 30% da renda para variação do parâmetro expoente de produtividade, com média de vinte simulações por parâmetro (2010-2020)**



Elaboração do autor.

GRÁFICO 21

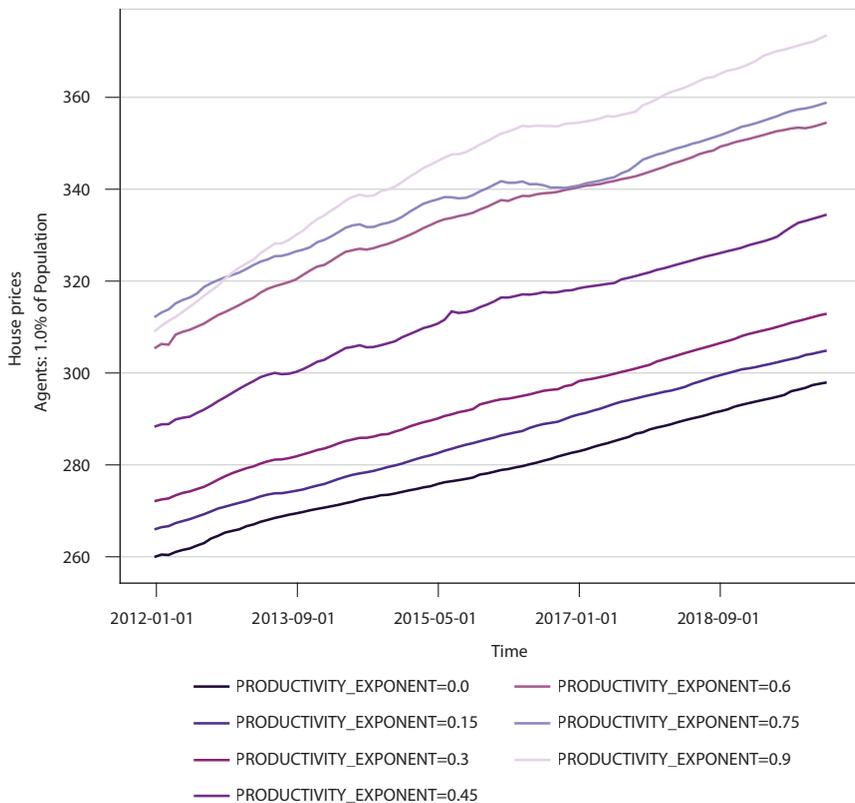
Brasília: resultado da vacância residencial para variação do parâmetro expoente de produtividade, com média de vinte simulações por parâmetro (2010-2020)



Elaboração do autor.

GRÁFICO 22

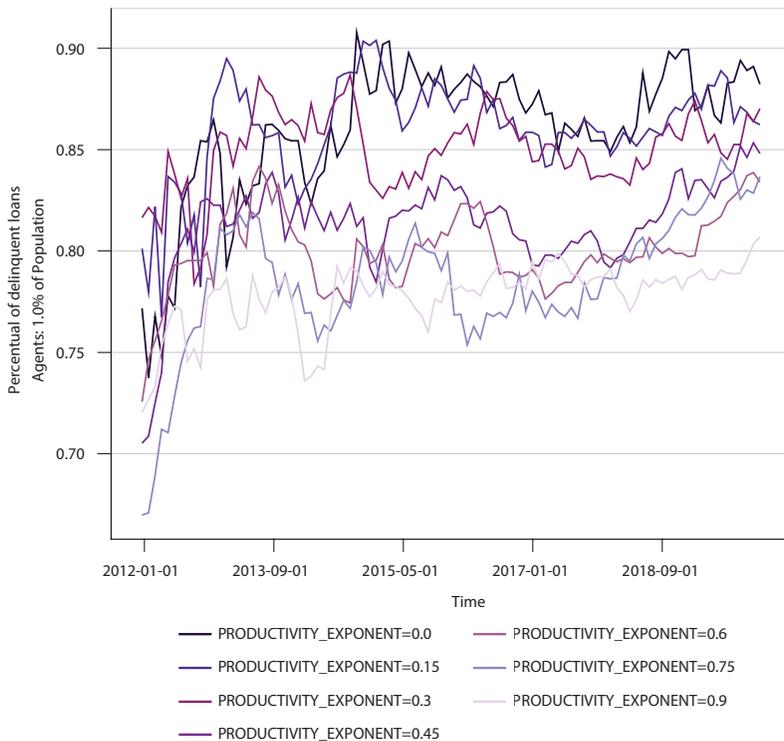
**Brasília: resultado dos preços dos imóveis para variação do parâmetro expoente de produtividade, com média de vinte simulações por parâmetro (2010-2020)**



Elaboração do autor.

GRÁFICO 23

**Brasília: resultado do percentual de famílias com atraso no financiamento imobiliário para variação do parâmetro expoente de produtividade, com média de vinte simulações por parâmetro (2010-2020)**



Elaboração do autor.

## 2.2 Velocidade de incorporação de recursos ( $n$ )

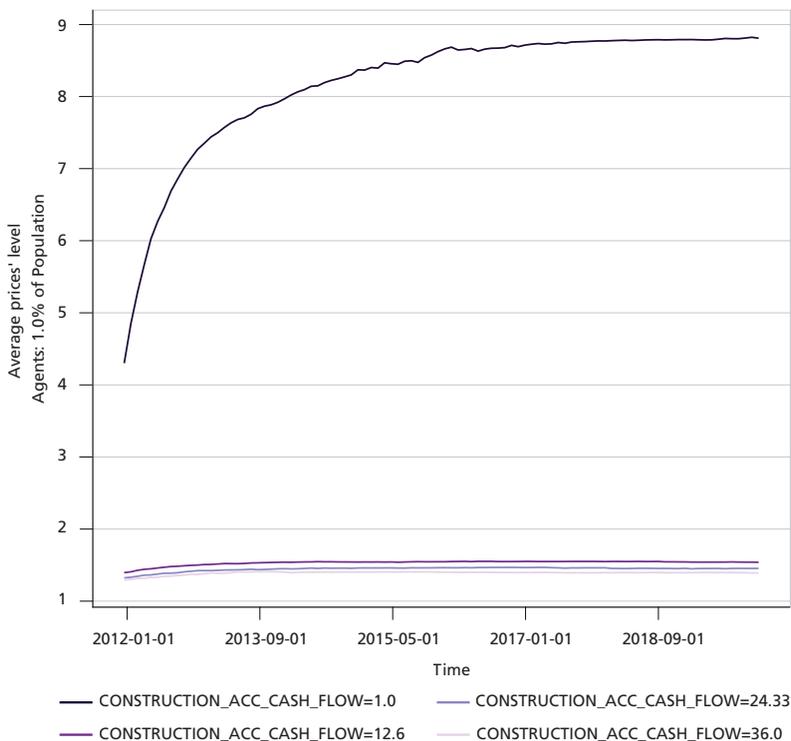
Um dos parâmetros que caracterizam o comportamento das firmas construtoras é a amenização da distribuição dos recursos arrecadados no momento da venda entre os trabalhadores da firma, na forma de salários. Em geral, a variação entre 12 ou 36 meses desse parâmetro não altera sobremaneira os resultados. Há clara distinção, entretanto, quando esse parâmetro é reduzido para 1. Nesse caso, no mês seguinte, após a venda, toda a receita, descontados os lucros da firma, é distribuída entre os trabalhadores. Essa alteração não é de magnitude da distribuição, apenas no tempo com que é distribuída, de uma só vez, ou, de forma mais regular, ao longo de dois anos, que é o valor-padrão.

Sem alteração quantitativa alguma, esse processo endógeno gera efeitos significativos no comportamento da economia como um todo. Os preços sobem quase dez vezes mais (gráfico 24), bem como o lucro das firmas (gráfico 25).

A desigualdade, por sua vez, diminui cerca de 0,05 pontos no coeficiente de Gini (gráfico 26). O que ocorre é que, dado o desenho do modelo, nos períodos em que não há vendas, as firmas construtoras contam com um mecanismo que antecipa parcelas de receita e começa a realizar o pagamento dos salários, o que reflete as expectativas de recursos futuros dos imóveis planejados. Esse pagamento de salários sobre imóveis construídos que ainda não foram vendidos tem como origem o próprio capital da firma. Com isso, no fundo, o que ocorre é que, nos períodos em que não há vendas de imóveis, a firma construtora mantém, com orçamento próprio, os salários dos trabalhadores decididos nos momentos de alta. Isso leva ao declínio do capital das empresas (gráfico 27), porém com maior produção, maiores salários e poupança e com maior número de famílias conseguindo pagar os aluguéis. Na prática, esse exercício reflete um esforço das firmas para realizar o pagamento de salários maiores e seus efeitos na economia como um todo.

#### GRÁFICO 24

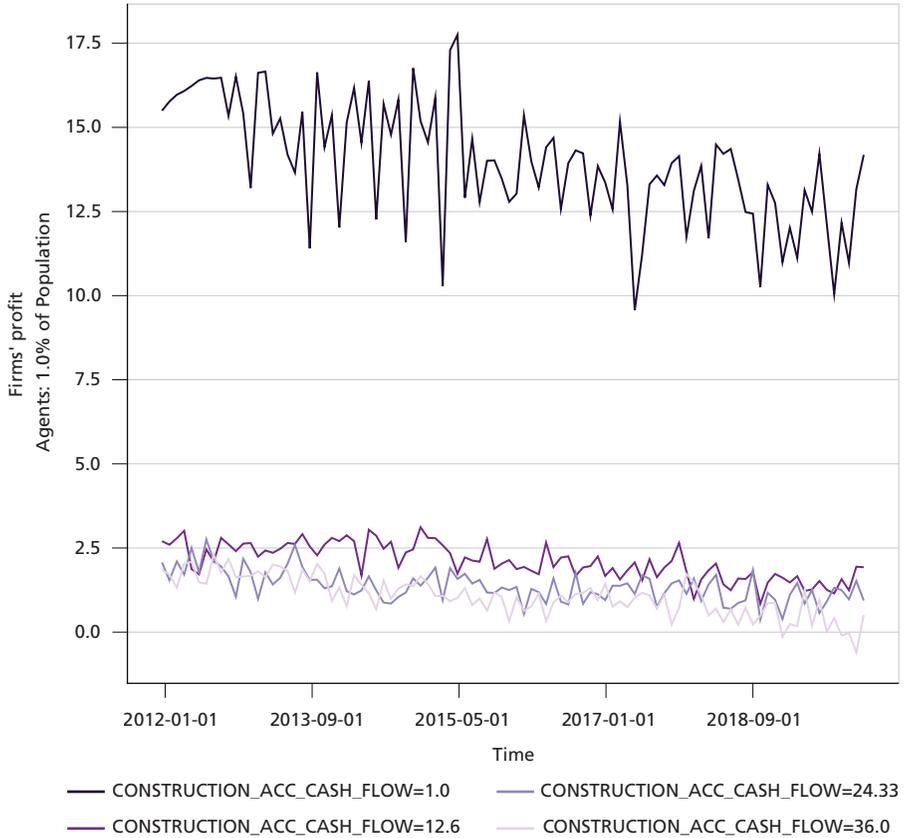
**Brasília: resultado do índice geral de preços para variação do parâmetro de meses para distribuição de recursos nas firmas construtoras, com média de vinte simulações por parâmetro (2010-2020)**



Elaboração do autor.

GRÁFICO 25

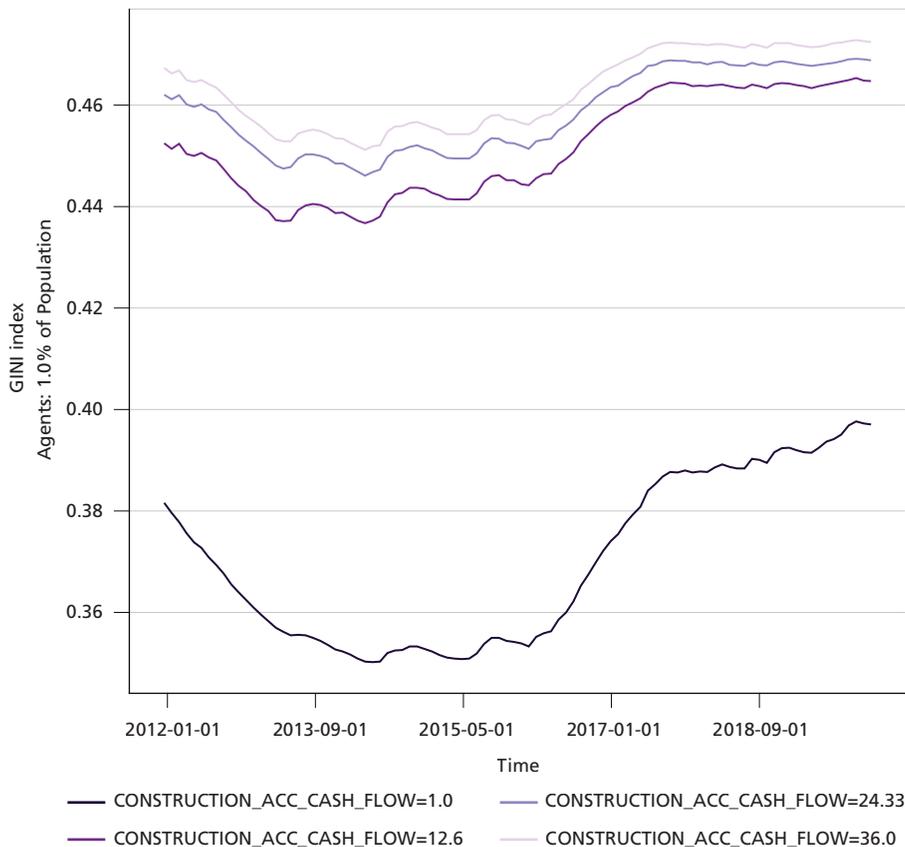
**Brasília: resultado do lucro das firmas para variação do parâmetro de meses para distribuição de recursos nas firmas construtoras, com média de vinte simulações por parâmetro (2010-2020)**



Elaboração do autor.

GRÁFICO 26

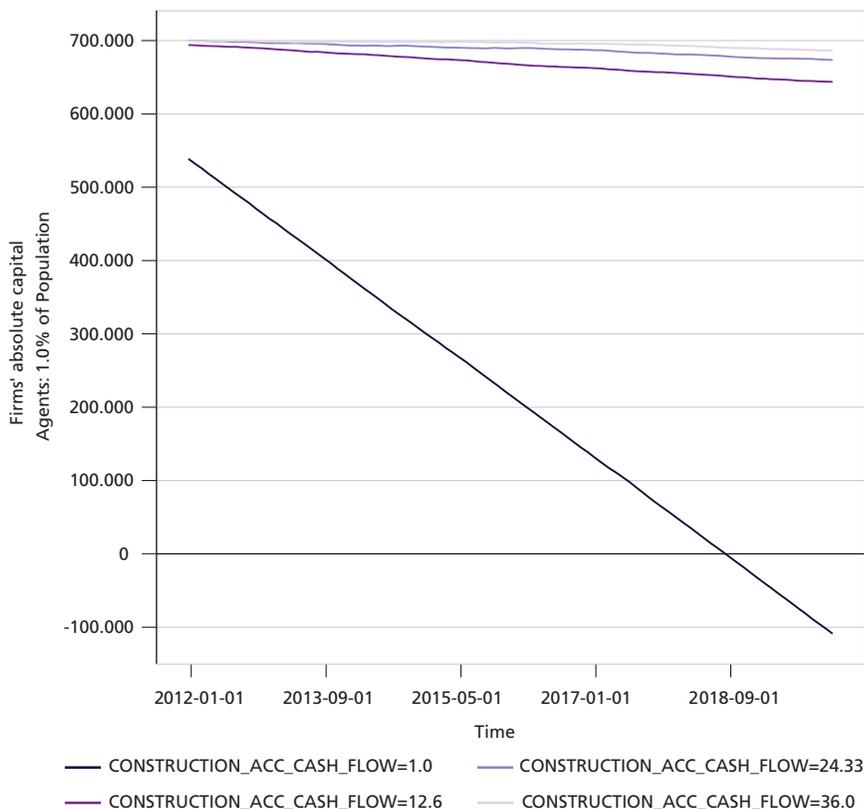
Brasília: resultado do coeficiente de Gini para variação do parâmetro de meses para distribuição de recursos nas firmas construtoras, com média de vinte simulações por parâmetro (2010-2020)



Elaboração do autor.

GRÁFICO 27

Brasília: resultado do balanço geral das firmas para variação do parâmetro de meses para distribuição de recursos nas firmas construtoras, com média de vinte simulações por parâmetro (2010-2020)



Elaboração do autor.

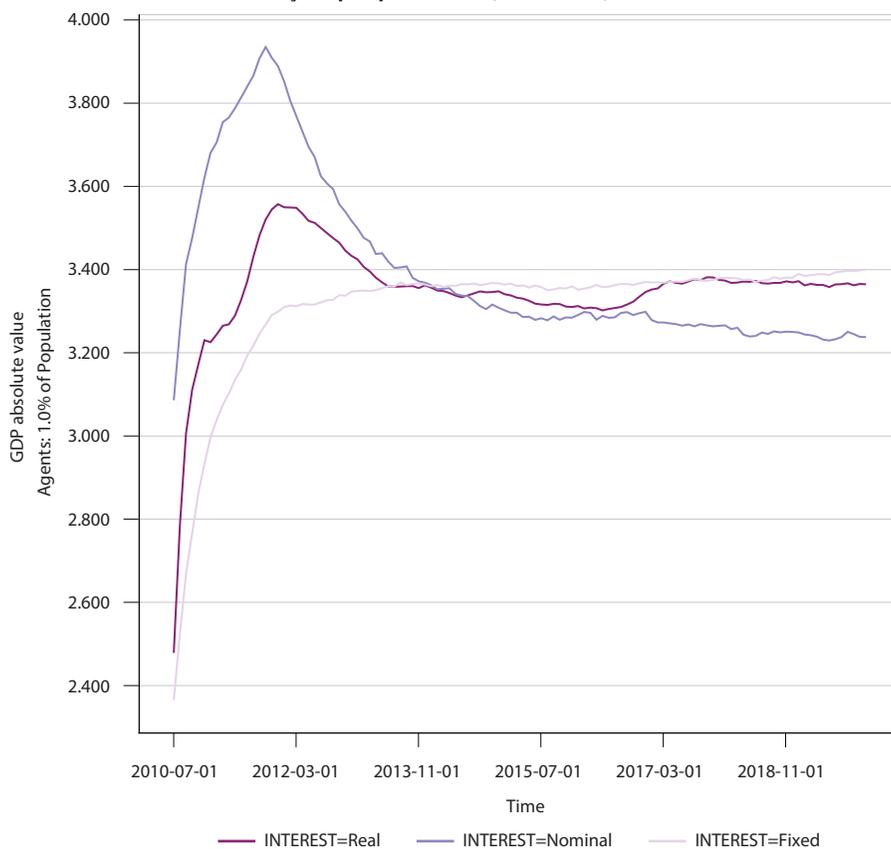
### 2.3 Empréstimos e juros

As condições gerais de empréstimo na simulação são restritivas, de modo que apenas pequena parcela das famílias obtém acesso ao financiamento. As restrições – detalhadas na subseção 7.11, do capítulo 3 – incluem o montante do empréstimo em relação ao valor do imóvel, a renda mensal e permanente da família, além do prazo máximo para o mutuário mais idoso e a disponibilidade de recursos no banco. O parâmetro mais relevante é a razão máxima do valor do empréstimo em relação ao valor do imóvel, descrito na literatura como *loan-to-value* (LTV). De forma geral, LTV mais permissivo, de 80%, leva, como esperado, a aumento nos financiamentos em atraso, redução marginal no desemprego, com aumentos também marginais nos lucros das empresas, no PIB e no coeficiente de Gini.

Três tipos de entrada de juros exógenos são testados na análise de sensibilidade. Os juros nominais, conforme descritos na série oficial; os juros reais – quais sejam, os juros nominais descontados da inflação medida no mês de referência; e os juros fixos ao longo de todo o período (0,2% ao mês). Os juros trazem muito mais volatilidade à simulação, embora não haja alterações nas tendências apresentadas pelos indicadores. A volatilidade é transmitida ao modelo por meio do cálculo da renda permanente. O nível de preços se coloca em níveis maiores, com os juros nominais e mais baixos para juros reais ou fixos. Ao longo do período, juros mais baixos e fixos beneficiam ligeiramente o PIB (gráfico 28). Os juros reais, todavia, com resultado de PIB similar, parecem ser mais sustentáveis, se considerados os lucros médios das firmas (gráfico 29).

GRÁFICO 28

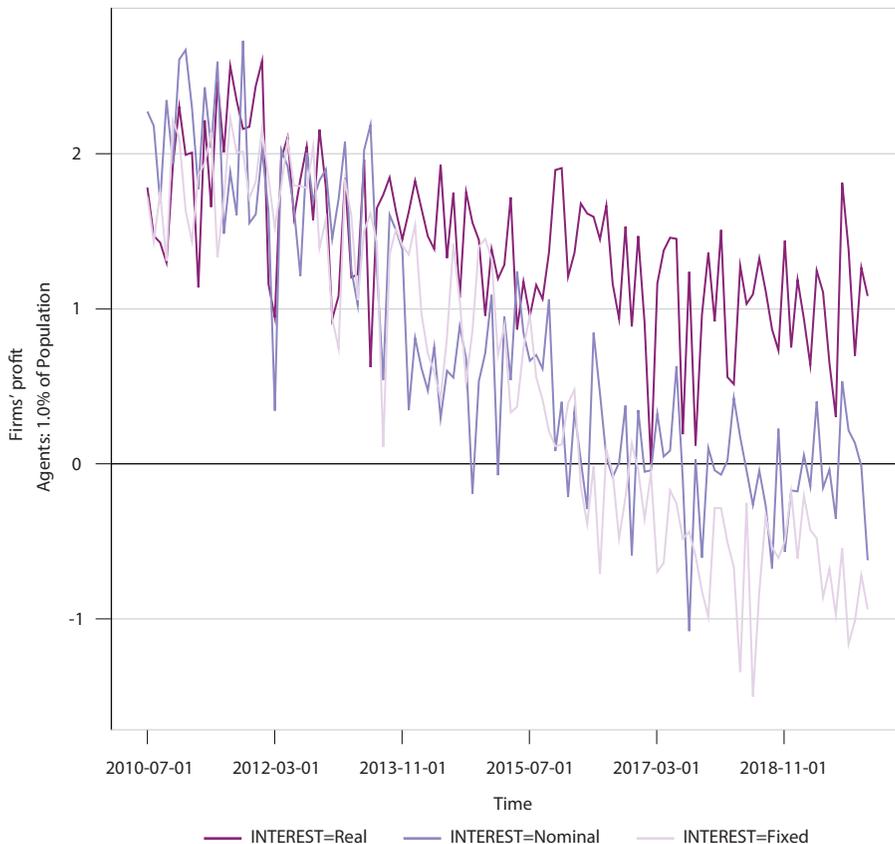
**Brasília: resultado do PIB para variação do parâmetro de entrada de juros, com média de vinte simulações por parâmetro (2010-2020)**



Elaboração do autor.

GRÁFICO 29

Brasília: resultado dos lucros médios das firmas para variação do parâmetro de entrada de juros, com média de vinte simulações por parâmetro (2010-2020)



Elaboração do autor.

## 2.4 Negociação, impacto populacional e dinâmica do mercado imobiliário

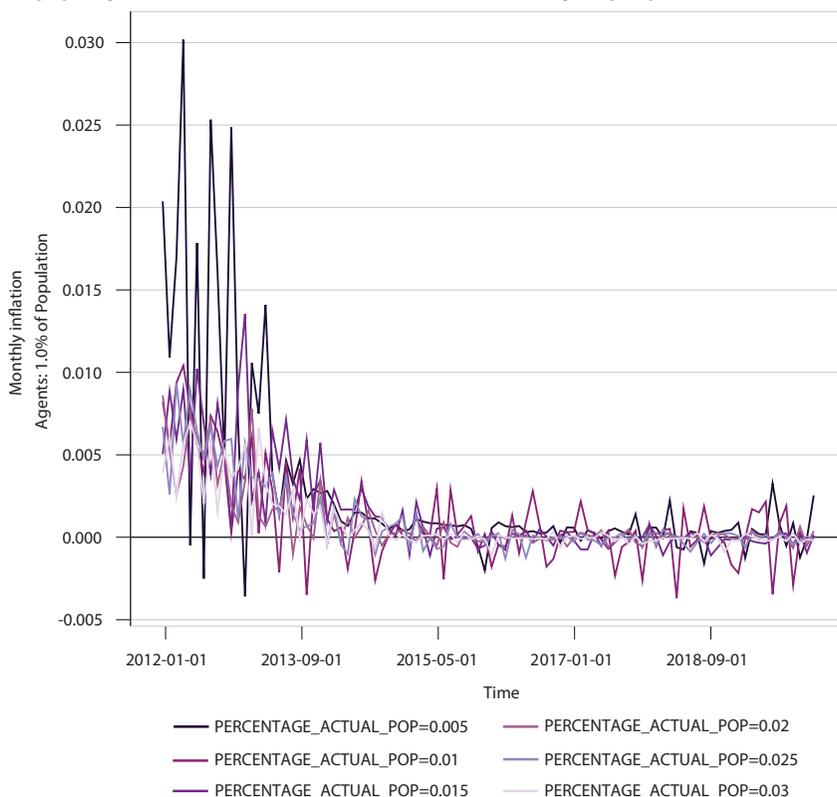
No *PolicySpace2* os mecanismos de negociação influenciam relativamente pouco na composição do mercado. Tanto os limites inferiores e superiores para os preços transacionados como a influência da quantidade de imóveis em oferta, conforme os processos desenhados, alteram pouco os resultados. Da mesma forma, o parâmetro que determina o tamanho da influência da vacância corrente de imóveis nos preços estimados apresenta pouca variabilidade em relação ao modelo-padrão – ainda que uma influência maior leve a preços gerais mais baixos e preços de imóveis (cuja influência seria direta) apenas levemente inferiores.

Aumentos populacionais apresentam efeitos de incremento de escala nos resultados, às vezes superlineares (Bettencourt, 2013). Considerando esse

fator, note que a simulação padrão de *PolicySpace2* e sua validação se referem à configuração para as Áreas de Concentração de População (ACPs) de Brasília, com 1% de população. Com população menor há maior volatilidade na inflação mensal (gráfico 30). No mercado financeiro, todavia, o pagamento de juros sobre a remuneração financeira do capital das famílias aumenta a volatilidade com o aumento da população de agentes (gráfico 31). O desemprego e os preços dos imóveis se comportam conforme previsto pela teoria com aumentos superlineares. Assim, para poucos agentes, o desemprego chega a zero (gráfico 32) e os preços dos imóveis apresentam o menor patamar (gráfico 33). No caso com mais agentes e mais competição, há melhor alocação baseada em qualificação, mais desemprego e também maior desigualdade decorrente, com maior pagamento de impostos (gráfico 34). O desemprego e a desigualdade levam à maior dificuldade de cumprimento das obrigações de aluguel entre as famílias (gráfico 35).

GRÁFICO 30

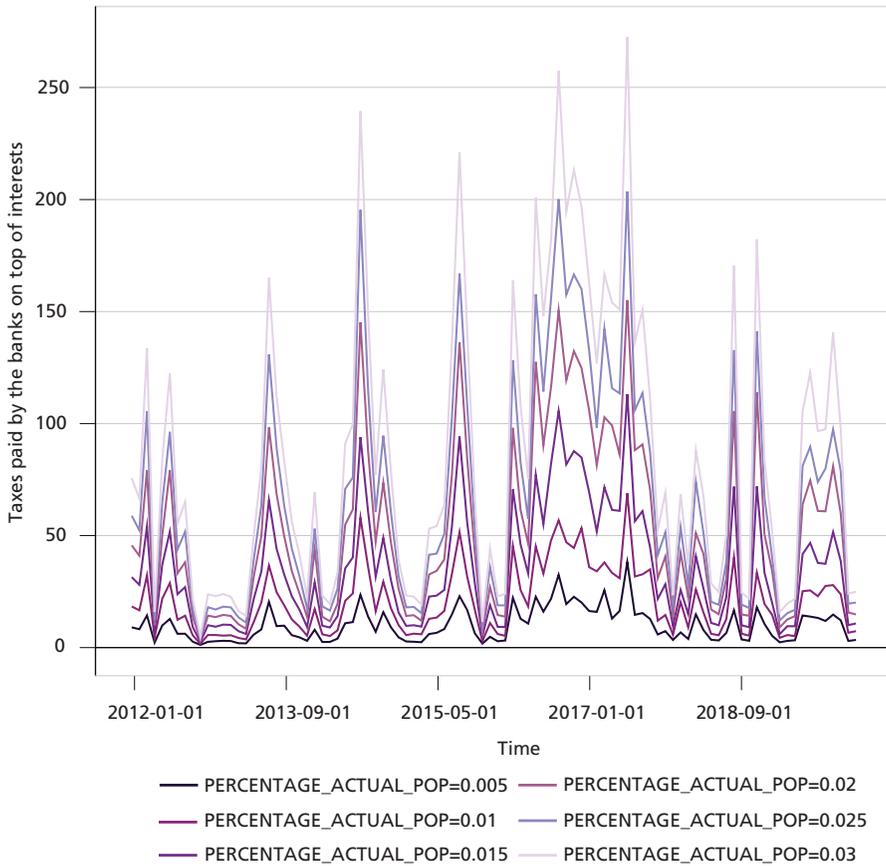
**Resultado da inflação mensal para variação do parâmetro de percentual de população a ser simulado, com média de vinte simulações por parâmetro (2010-2020)**



Elaboração do autor.

GRÁFICO 31

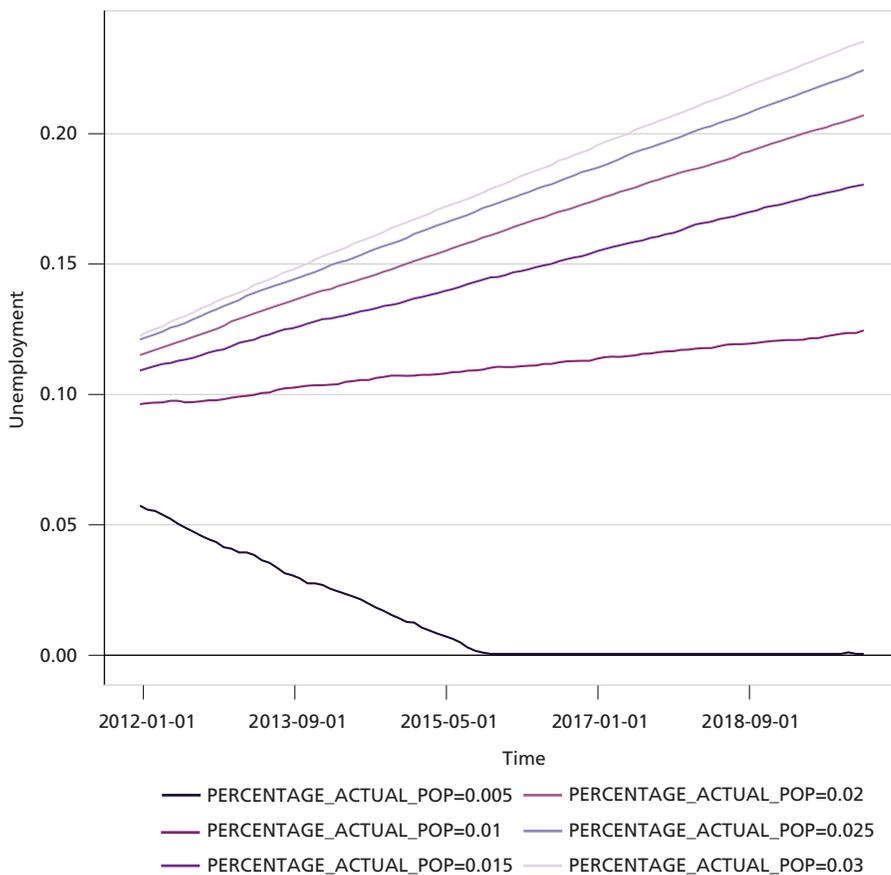
Resultado dos impostos pagos pelo banco sobre juros dos clientes para variação do parâmetro de percentual de população a ser simulado, com média de vinte simulações por parâmetro (2010-2020)



Elaboração do autor.

GRÁFICO 32

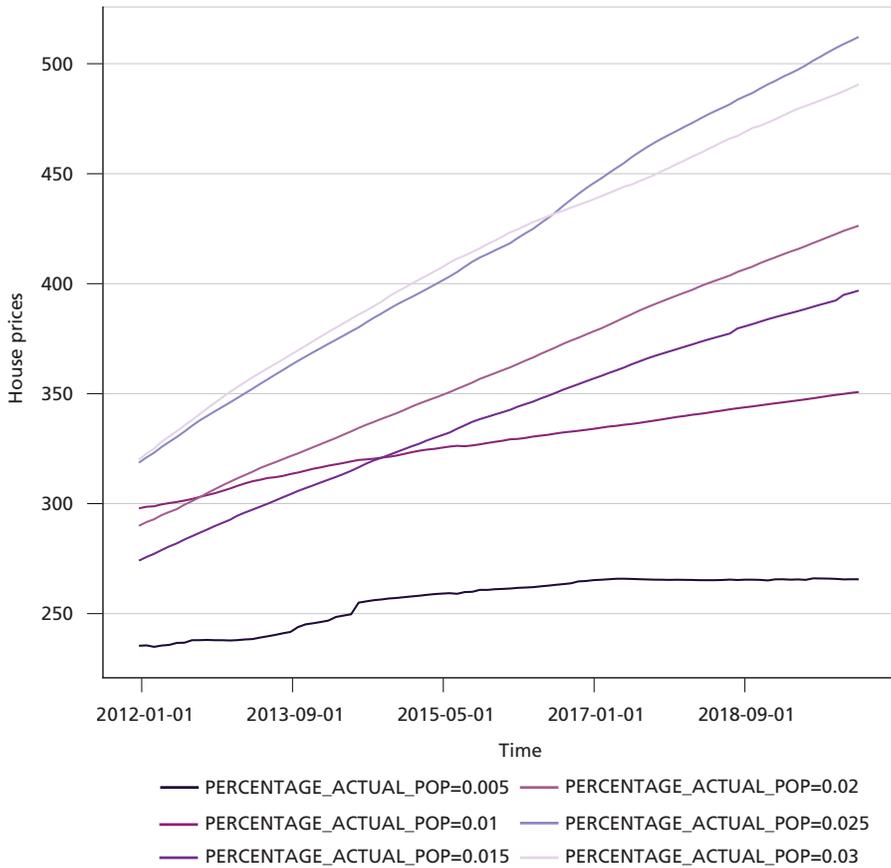
Resultado do desemprego para variação do parâmetro de percentual de população a ser simulado, com média de vinte simulações por parâmetro (2010-2020)



Elaboração do autor.

GRÁFICO 33

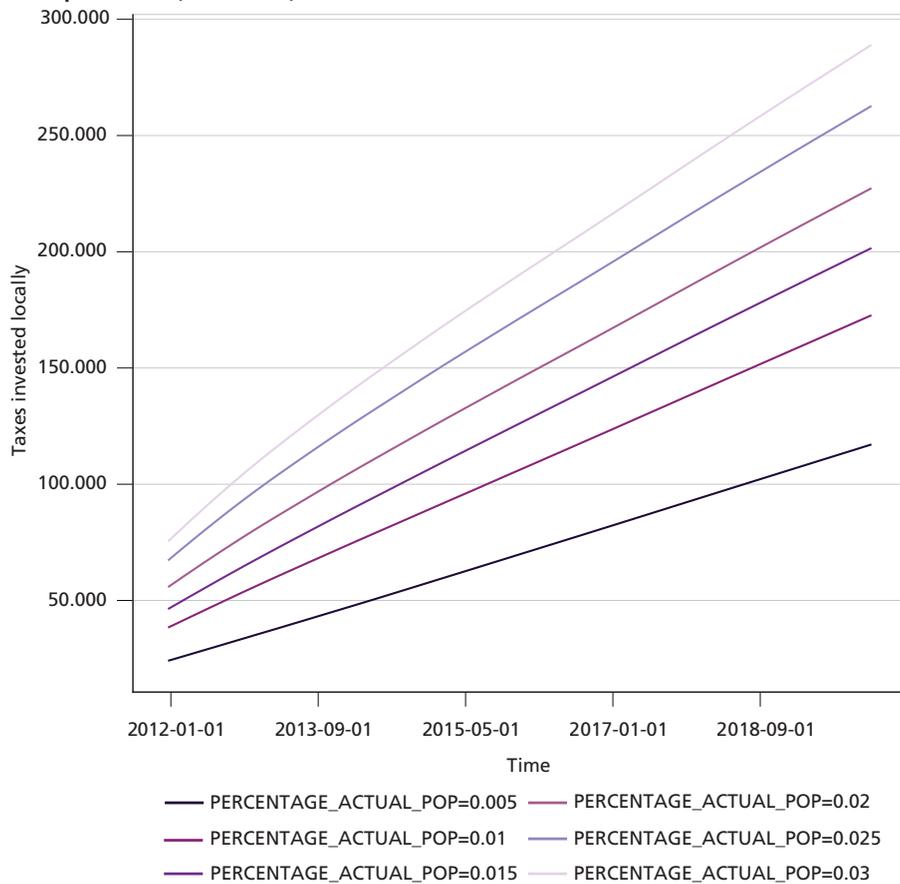
Resultado dos preços dos imóveis para variação do parâmetro de percentual de população a ser simulado, com média de vinte simulações por parâmetro (2010-2020)



Elaboração do autor.

GRÁFICO 34

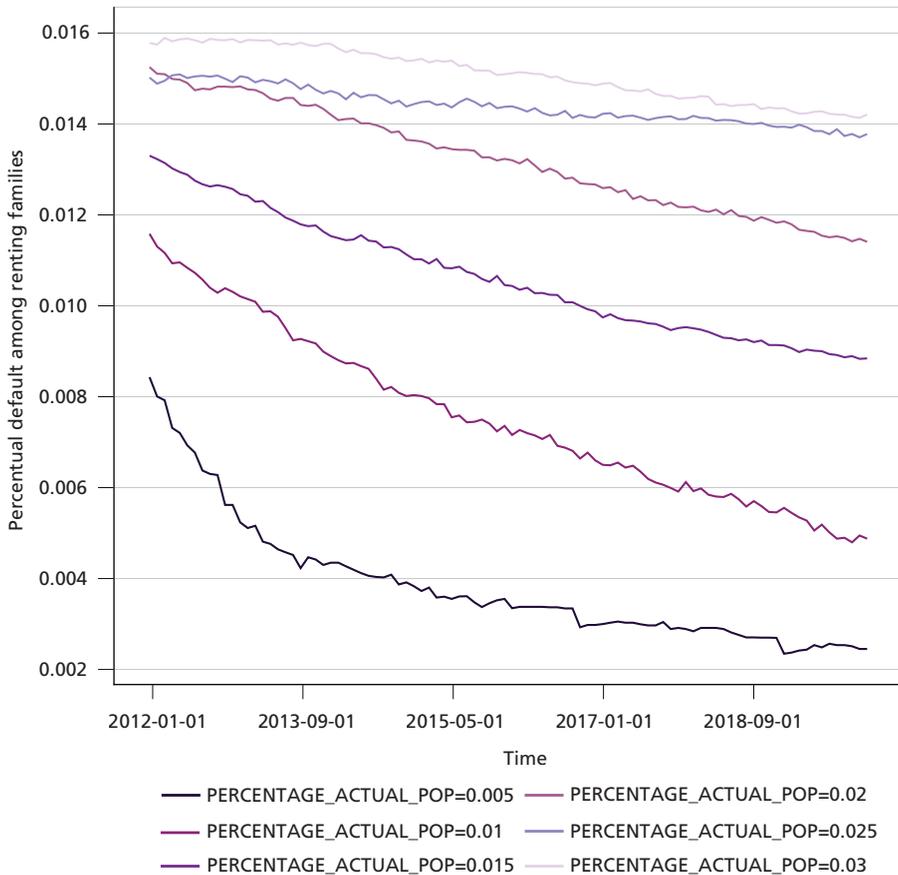
Resultado dos impostos coletados nos municípios para variação do parâmetro de percentual de população a ser simulado, com média de vinte simulações por parâmetro (2010-2020)



Elaboração do autor.

GRÁFICO 35

Resultado do percentual de famílias que não conseguem realizar o pagamento mensal de aluguel para variação do parâmetro de percentual de população a ser simulado, com média de vinte simulações por parâmetro (2010-2020)



Elaboração do autor.

A dinamização do mercado imobiliário, por meio do aumento de famílias que participam do mercado a cada mês, leva ao incremento de preços e do PIB, com manutenção do desemprego e aumento na desigualdade. Leva ainda à redução no percentual de mutuários inadimplentes no sistema bancário. Finalmente, quando um número muito pequeno de famílias vai ao mercado, há aumento do número de imóveis vagos.

### 2.5 Ainda sobre não linearidade e escala: cidades grandes

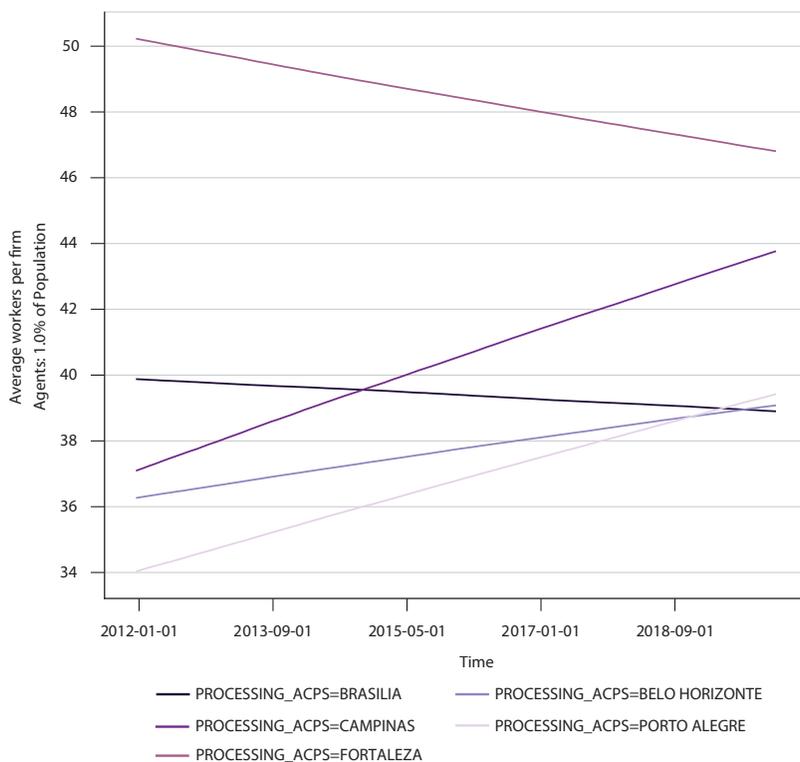
*PolicySpace2* é simulado a partir de dados oficiais de 2010. De início, tem-se, portanto, configuração de trabalhadores e suas qualificações, tamanho de famílias,

composição etária, de gênero, de localização, de número e localização de firmas, de Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDHM), distintos para cada região metropolitana. Essa composição inicial, a despeito da utilização de exatamente os mesmos mecanismos e os mesmos parâmetros, resultam em comportamento diferente entre as metrópoles. Selecionamos cinco metrópoles de porte médio para comparação entre si.

A composição e o comportamento do número médio de trabalhadores por empresas apresentam resultados bem distintos entre si. Enquanto Fortaleza e Brasília demonstram declínio na média de trabalhadores por firma, as outras três revelam incremento com diferentes inclinações (gráfico 36). O desemprego, por sua vez, é crescente para Brasília e Belo Horizonte, decrescente para Porto Alegre e Campinas, enquanto mantém-se relativamente estável para Fortaleza (gráfico 37). Finalmente, Brasília parece se distanciar das demais regiões metropolitanas com aumento mais pronunciado de imóveis no período analisado.

GRÁFICO 36

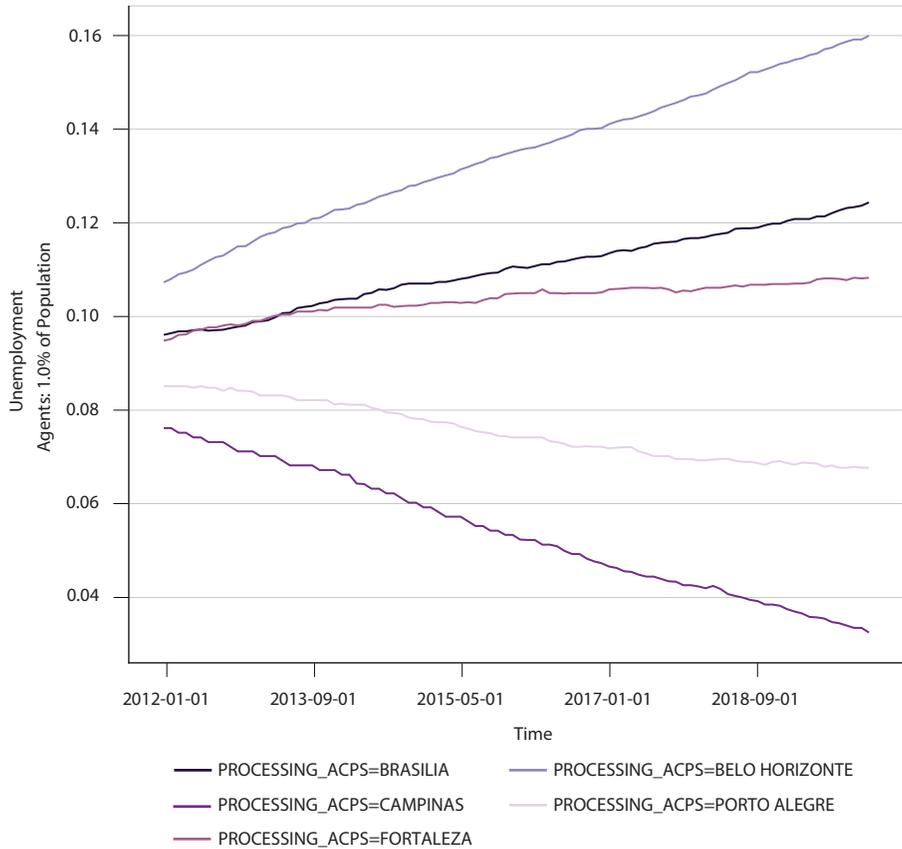
Resultado da média de trabalhadores por firma para variação da região metropolitana analisada, com média de vinte simulações por região metropolitana (2010-2020)



Elaboração do autor.

GRÁFICO 37

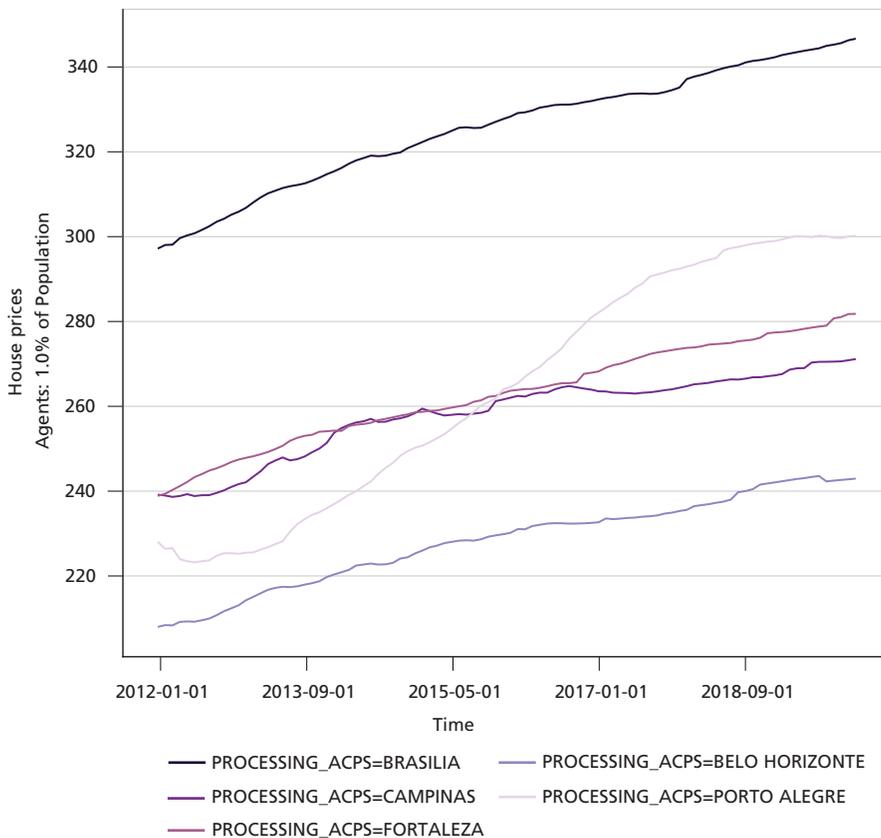
Resultado do desemprego para variação da região metropolitana analisada, com média de vinte simulações por região metropolitana (2010-2020)



Elaboração do autor.

GRÁFICO 38

Resultado dos preços médios dos imóveis para variação da região metropolitana analisada, com média de vinte simulações por região metropolitana (2010-2020)



Elaboração do autor.

## 2.6 Impostos

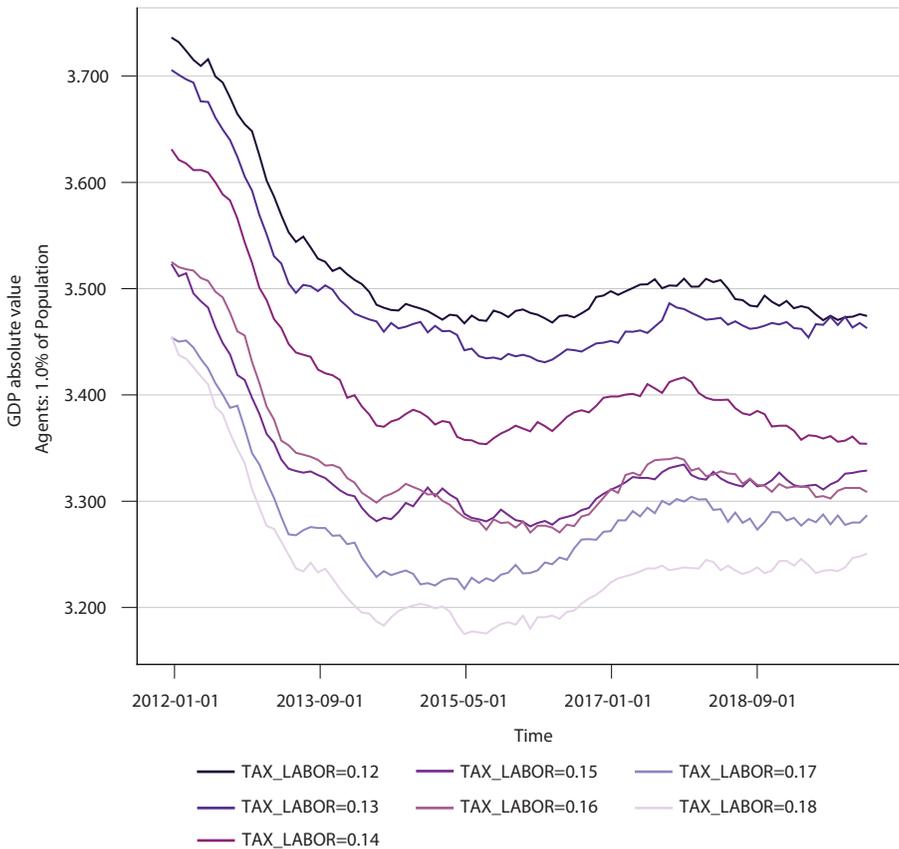
O Imposto sobre a Propriedade Predial e Territorial Urbana (IPTU) é de magnitude muito inferior, quando comparado aos demais impostos. Ainda assim, quando há aumento da alíquota, nota-se redução do consumo das famílias e piora nos indicadores econômicos em geral, com PIB reduzido e desigualdade aumentada. O Imposto sobre Transmissão de Bens Imóveis (ITBI), por sua vez, gera alterações leves na economia ao incrementar suas alíquotas.

O imposto sobre a firma – Imposto de Renda da Pessoa Jurídica (IRPJ) – parece influenciar menos a economia na configuração-padrão do *PolicySpace2*, comparativamente em relação ao imposto sobre o trabalho – Imposto de Renda Pessoa Física (IRPF). Reduções da alíquota sobre o IRPF apresentam efeitos

benéficos à economia como um todo; com mais recursos disponíveis, há maior participação das famílias no mercado, com aumento de preços e de bem-estar, maior produção (gráfico 39) e menor desigualdade (gráfico 40).

GRÁFICO 39

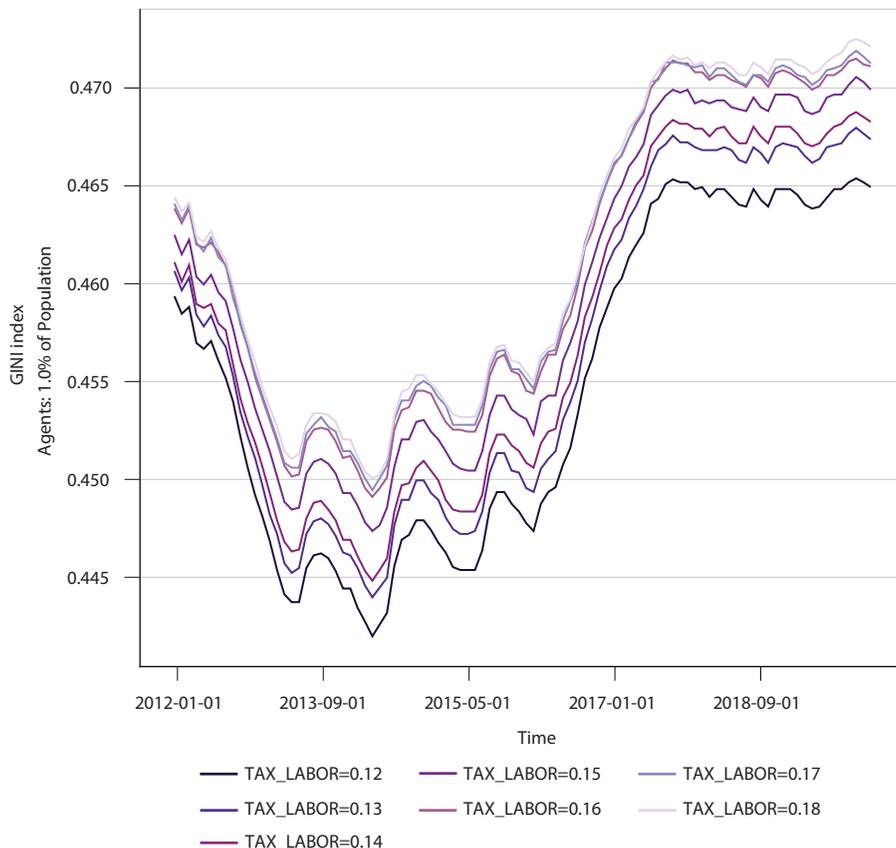
Brasília: resultado do PIB para variação do parâmetro de alíquota do imposto sobre o trabalho, com média de vinte simulações por região metropolitana (2010-2020)



Elaboração do autor.

GRÁFICO 40

Brasília: resultado do coeficiente de Gini para variação do parâmetro de alíquota do imposto sobre o trabalho, com média de vinte simulações por região metropolitana (2010-2020)



## 2.7 Eficiências de gestão municipal

Dados os mecanismos e a configuração do *PolicySpace2*, a eficiência da gestão municipal não afeta alguns aspectos, tais como o consumo geral das famílias, a quantidade total de empregados por firma ou a mobilidade dos trabalhadores. Entretanto, uma vez que a gestão transforma recursos fixos em melhoria da qualidade de serviços públicos oferecidos, estes influenciam a formação de preços dos imóveis que, então, afetam os demais setores da economia. Os efeitos são lineares, de modo que o aumento do coeficiente do parâmetro de eficiência leva a um aumento dos preços dos imóveis, da inflação, da desigualdade e também das famílias locatárias que conseguem aluguel acessível.

## 2.8 Outros efeitos

Adicionalmente, outros parâmetros foram também testados, como o tamanho da amostra de firmas que as famílias consultam no mercado de bens e serviços, a frequência com que a firma participa do mercado de trabalho e verifica os preços, o custo do lote na construção de novos imóveis e o custo de transporte público e privado.

No caso da amostra de firmas consultadas, os resultados diferem apenas quando uma única firma é consultada, indicando possíveis efeitos de diminuição da competição e concentração de empresas, resultando no aumento da desigualdade e dos preços, mas também na maior produção geral da economia.

O teste com custo zero para transporte público – que influencia como critério na seleção de candidatos no mercado de trabalho e, na prática, resultaria em efeito nulo da distância – também altera os resultados de sobremaneira, em relação a qualquer outro valor positivo. No geral, a inflação fica mais estável, há um pouco mais de desigualdade, menor consumo e menor PIB – porém, com menor desemprego também. Há incremento significativo (cerca de cinco vezes superior) da distância percorrida pelos trabalhadores em conjunto em relação a outros valores.

## 3 ANÁLISE FISCAL NO ÂMBITO METROPOLITANO

Esta seção revisita a análise de distribuição de recursos fiscais entre municípios feita no modelo *PolicySpace* (Furtado, 2018c). A despeito das inúmeras mudanças realizadas nesta versão, os resultados se confirmam e se reforçam.

Em *PolicySpace*, quatro combinações de parâmetros testavam a realocação de recursos financeiros arrecadados e sua redistribuição em critérios locais (o município que arrecada é o mesmo que recebe) e igualitários (qualquer arrecadação no âmbito da ACP é redistribuído igualmente entre os municípios partícipes, ponderado pela população, ou ainda de acordo com as regras do Fundo de Participação Municipal – FPM). Com isso, as regras *alternative0* e *fpm\_distribution*, como padrões designados como verdadeiros, refletem a situação corrente. Quando *alternative0* é falso, o modelo apenas redistribui endogenamente os recursos, como se os municípios da ACP tivessem um caixa único. Quando *fpm\_distribution* é falso, o critério de distribuição via FPM se torna inexistente.

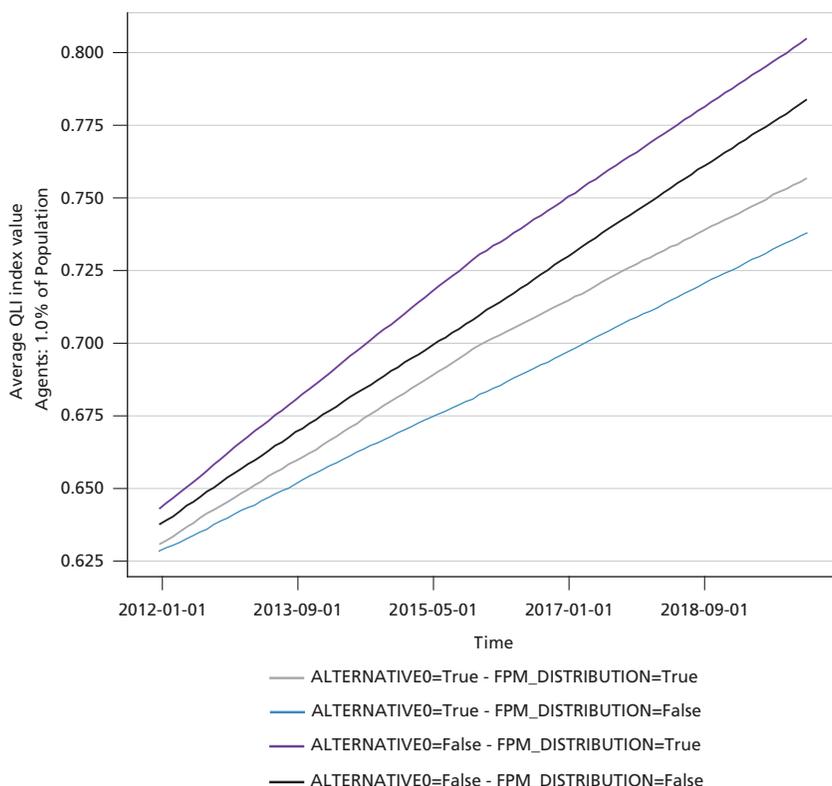
Do ponto de vista teórico, conforme evidências qualitativas listadas na literatura (Furtado, Krause e França, 2013), a configuração espacial preferível do ponto de vista do conjunto da sociedade e da efetividade de provisão de serviços em rede aos cidadãos metropolitanos seria a união dos municípios com vinculação

econômica e movimento pendular, justamente as ACPs, e a manutenção do FPM, considerado seu efeito progressivo no âmbito de regiões metropolitanas.

O gráfico 41 sintetiza a quantidade endógena de investimentos realizados nos municípios para cada configuração de distribuição distinta. Comparativamente, a figura sugere que há maior distribuição de recursos municipais quando os municípios estão com um caixa único (*alternative0* é falso) e há manutenção do FPM nos padrões vigentes (*fpm\_distribution* é verdadeiro). Ademais, ratifica os resultados do modelo anterior, cuja principal indicação era da relevância distributiva do FPM no âmbito das regiões metropolitanas. De fato, a falta do FPM como critério de distribuição (gráfico 42) gera, comparativamente, mais desigualdade.

GRÁFICO 41

**Brasília: resultado do Índice de Qualidade de Vida – que reflete o conjunto da arrecadação municipal – para diferentes configurações de parâmetros distributivos, média de vinte simulações por parâmetro (2010-2020)**

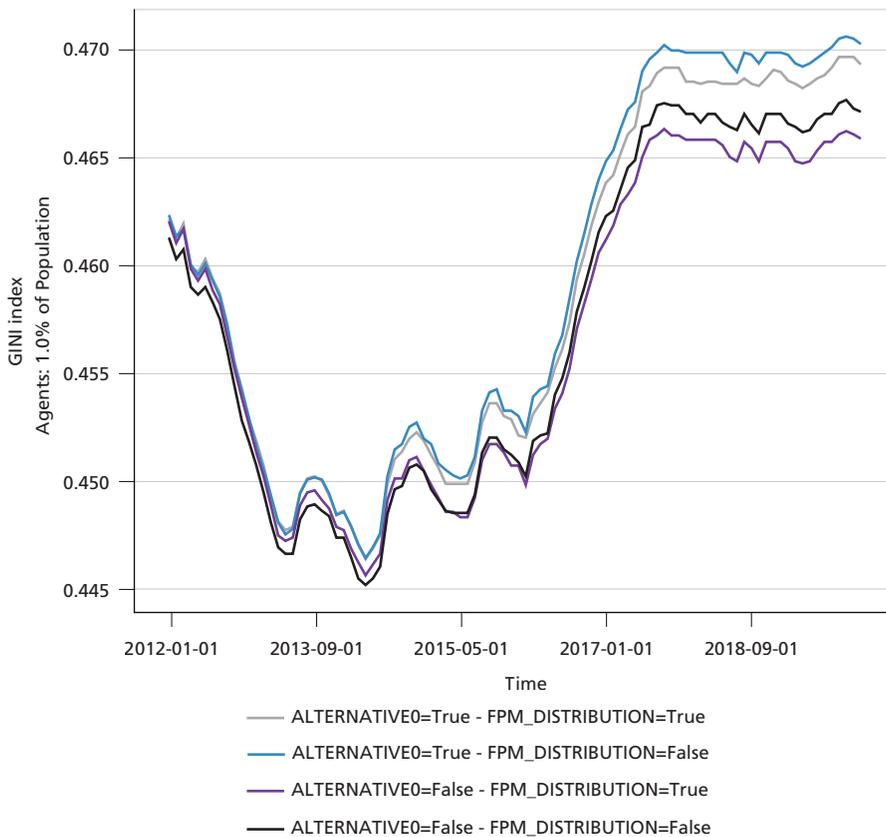


Elaboração do autor.

Obs.: Cinza – *status quo*; roxo – união orçamentária dos municípios metropolitanos em uma única entidade; azul – ausência do FPM como critério distributivo; preto – união dos municípios e ausência do FPM.

GRÁFICO 42

Brasília: resultado do coeficiente de Gini para diferentes configurações de parâmetros distributivos, média de vinte simulações por parâmetro (2010-2020)



Elaboração do autor.

Obs.: Cinza – *status quo*; roxo – união orçamentária dos municípios metropolitanos em uma única entidade; azul – ausência do FPM como critério distributivo; preto – união dos municípios e ausência do FPM.

## TESTE DE POLÍTICA PÚBLICA: SUBSÍDIOS À COMPRA DE IMÓVEIS, PAGAMENTO DE ALUGUÉIS OU AUXÍLIO PECUNIÁRIO?

A decisão entre comprar ou alugar um imóvel residencial não tem resposta financeira correta, uma vez que a informação acerca de comportamentos futuros da apreciação do imóvel, das taxas de juros e da inflação é desconhecida (Furtado e Souza, 2020). Todavia, as políticas de habitação e o imaginário nacional coincidem no entendimento de que a posse da residência deva ser algo a se perseguir (Davies, 2013; Brasil, 2014). De fato, a análise recente da Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE) (Causa, Woloszko e Leite, 2019) que estuda as relações entre desigualdades, políticas de habitação e posse de residência ou aluguel identificou que entre os países-membros aqueles com menor percentual de proprietários exibiam maior desigualdade. Isso sugere que a posse de imóveis contribuiria positivamente para a distribuição de riqueza. Todavia, os autores acrescentam que também é comum observar países cujas famílias são ricas em patrimônio, porém com baixo fluxo de renda, o que ocorre também no caso brasileiro. Estados pobres, tal como o Maranhão, mantêm altos índices de propriedade de imóveis (Furtado e Galindo, 2010).

Em termos de políticas públicas, embora não haja evidências se a política deveria privilegiar famílias que alugam ou proprietárias (Causa, Woloszko e Leite, 2019), as políticas típicas favorecem os proprietários que compõem o eleitorado médio.

Nos Estados Unidos, por exemplo, as famílias não pagam impostos sobre o aluguel implícito e ganham descontos no pagamento de juros sobre financiamento imobiliário (Chan, Haughwout e Tracy, 2015). Também no Brasil não há cobrança de impostos sobre a renda de aluguel implícito ou sobre o ganho de capital na aquisição de imóvel financiado. Excluem-se parcelas pagas, seguros e juros que compõem o capital inicial investido do pagamento de impostos.

Do ponto de vista das famílias e da sociedade há indícios de que maior proporção de proprietários em relação a inquilinos promoveria maior engajamento em comunidades, capital social e, conseqüentemente, imóveis com maiores preços (Malmendier e Steiny, 2017). Famílias que optam pelo aluguel, por sua vez, desfrutam de maior mobilidade dado que não concentram seus investimentos em imóveis e estão menos sujeitos às variações desse mercado. McAfee e

Brynjolfsson (2017) avaliam que estaria se formando um novo consenso no qual alugar é melhor do que ser proprietário.

Em termos de tamanho do estoque de imóveis, não há dúvidas de que o percentual de famílias brasileiras que simplesmente não possuem recursos suficientes para arcar com a compra ou o financiamento da residência própria também é relevante. Dados da Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios (PNAD) 2014 do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), compilados na análise de crédito imobiliário feita por Fioravante e Furtado (2018) sugerem que quase quarenta milhões de famílias brasileiras, mais de 56% do total, recebem até R\$ 2.600 por mês (reais de 2016).

Há algum esforço de política habitacional de se utilizar os imóveis vagos – que são da ordem de 10% do total no caso brasileiro (Nadalin, Furtado e Rabetti, 2018) – para alocação de habitação de interesse social. Imóveis públicos vagos são os objetos prioritários das políticas. Ainda que de interesse, o montante não parece ser suficiente para reduzir a demanda por habitação das famílias.

Nesse contexto, *PolicySpace2* realiza um teste simples: dado um percentual fixo de orçamento municipal, aplicam-se os recursos financeiros alternadamente em três políticas distintas e se comparam os resultados com a execução da simulação sem política alguma. Os detalhes de implementação estão descritos na subseção 7.17, no capítulo 3. A contribuição desse experimento, a nosso ver, é justamente a marcante endogeneidade de todo o processo. São endógenos à simulação:

- os salários das famílias e o vínculo laboral;
- o consumo das famílias e a inclusão na lista de beneficiados, de acordo com o cálculo de renda permanente de cada família;
- a própria arrecadação municipal, revertida por meio da *proxy* de cinco impostos que são coletados ao longo das etapas mensais da simulação; e
- o processo desencadeado após a aplicação da política, quais sejam: i) a família que obtém a posse do imóvel (e passa a ser proprietária); ii) deixa de realizar o gasto do aluguel por 24 meses; ou iii) que aumenta o rendimento mensal – esse incremento monetário-financeiro gera repercussões nos meses seguintes no contexto da própria simulação.

Adicionalmente, dado que as políticas são simuladas com exatamente o mesmo conjunto de regras e parâmetros, sua capacidade de comparação de resultados entre si fica reforçada.

## 1 RESULTADOS DA COMPARAÇÃO ENTRE AS POLÍTICAS

No intuito de simplificar a análise, vamos nomear cada uma das políticas como: i) propriedade (*buy*) – quando os imóveis são transferidos para as famílias; ii) aluguel (*rent*) – no caso em que as famílias recebem o *voucher* de pagamento de aluguel pelos 24 meses seguintes; iii) auxílio (*wage*) – quando os recursos são divididos e distribuídos entre as famílias cadastradas em termos de auxílio monetário; e iv) ausência de política (*no\_policy*) – para o caso em que o modelo é simulado na forma-padrão e o dinheiro arrecadado pelos municípios é investido de forma integral na melhoria da qualidade de vida.

Fundamentalmente, embora o volume (endógeno) de recursos investidos em cada política seja bastante similar,<sup>1</sup> o público agraciado em cada uma das políticas é diferente em termos de magnitude, dados os custos por família de cada política. Com isso, o investimento público na modalidade propriedade atende no caso-padrão, em média, 10,7 famílias por mês. Comparativamente, são 42,2 famílias que recebem *voucher* para aluguel e 1.060,3 famílias agraciadas com o auxílio monetário, no contexto de 1% da população simulada, a cada mês. Há que se considerar adicionalmente que os efeitos das políticas são distintos no tempo. Enquanto a residência própria pertence à família de modo permanente, o aluguel é restrito a períodos de 24 meses, e o auxílio só é recebido em determinado mês. De fato, o desenho de política proposto na modalidade auxílio é a distribuição de pequena quantidade monetária a um número maior (primeiro decil de pobreza endógeno) de famílias.

Com isso, enquanto as políticas de propriedade e aluguel são voltadas para um número menor de famílias, embora sejam focadas prioritária e gradativamente naquelas com menor riqueza, a política de auxílio funciona na prática como uma redistribuição dos recursos arrecadados anualmente e dividido entre as famílias na parte inferior da distribuição de riquezas do município.

Os inúmeros indicadores dos resultados comparativos entre as três políticas e o cenário-base sugerem que o auxílio atinge melhores resultados em praticamente todos os indicadores, por exemplo, no indicador de percentual de famílias que alugam e cujo valor do aluguel não supera 30% da renda permanente ou no indicador que acompanha o consumo mensal das famílias (gráfico 43). Todavia, o maior dinamismo da economia, dado pelo aumento do consumo das famílias, no caso da política de auxílio e aluguel, também leva a um incremento no indicador

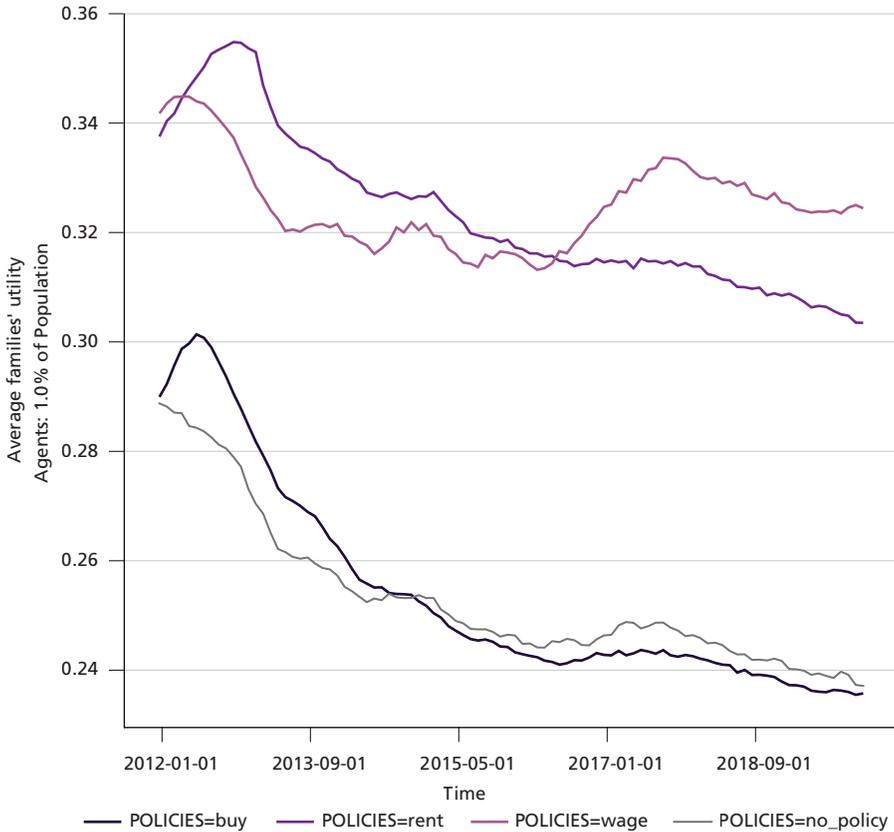
---

1. Os valores não são exatamente iguais, dado que há mudanças endógenas à simulação que afetam a arrecadação de recursos para cada política. Adicionalmente, a aplicação pode variar na margem, uma vez que os recursos para comprar o próximo imóvel, por exemplo, não sejam suficientes e seja necessário aguardar o mês seguinte para realizar o investimento.

de preços da ordem de 15 pontos percentuais (p.p.) ao longo dos dez anos de simulação (gráfico 44).

GRÁFICO 43

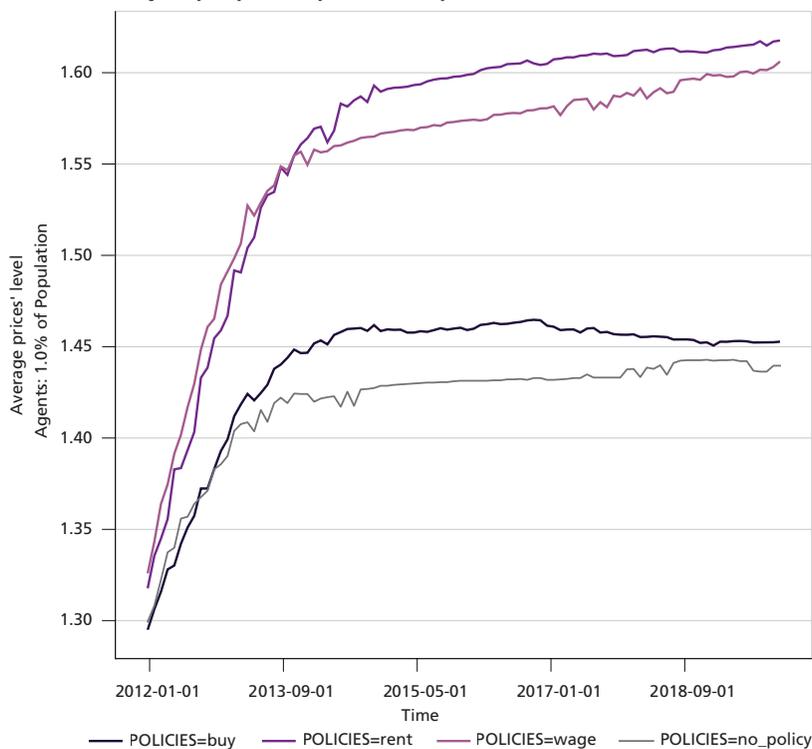
**Brasília: indicador de consumo médio das famílias para os diferentes testes de políticas, com média de vinte simulações por política para o caso-padrão (2010-2020)**



Elaboração do autor.

GRÁFICO 44

Brasília: indicador de preços para os diferentes testes de políticas, com média de vinte simulações por política para o caso-padrão (2010-2020)

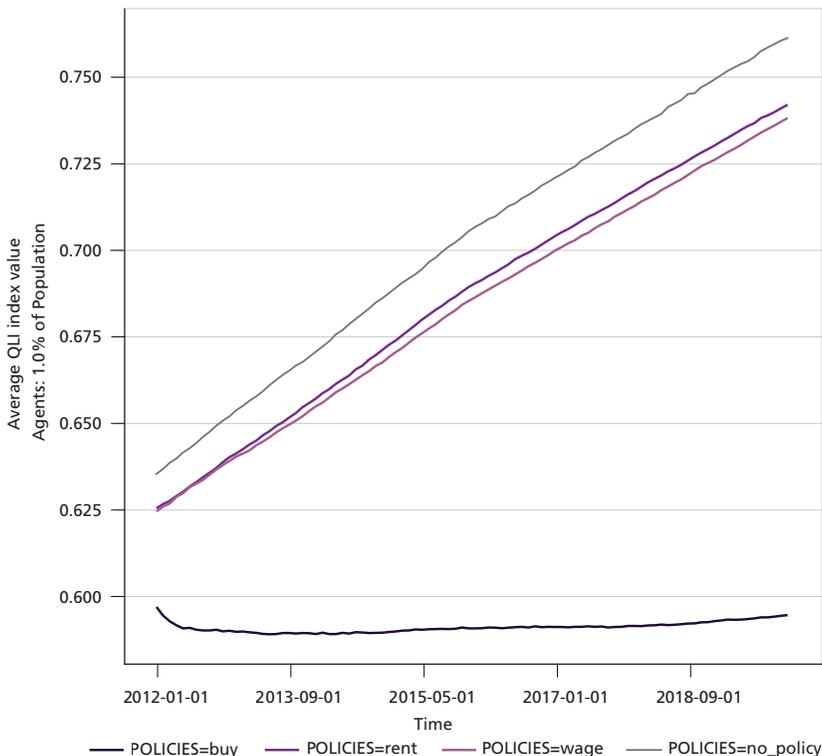


Elaboração do autor.

O caráter endógeno e cíclico do *PolicySpace2* permite analisar como se comporta a arrecadação municipal após a intervenção de políticas. Como descrito, o Índice de Qualidade de Vida (Quality of Life Index – QLI) é o indicador que acumula os investimentos municipais ponderados pela população e refletidos em uma *proxy* de melhor qualidade de vida (infraestrutura). Como esperado, dado que parte das receitas (20% no modelo-padrão) são direcionadas à aplicação das políticas, o caso de “ausência de política” apresenta o maior valor de crescimento do QLI (gráfico 45). As políticas de auxílio e aluguel são capazes de promover a dinamização da economia por meio de consumo das famílias (as beneficiárias do auxílio e as proprietárias dos imóveis). De forma bastante contrastante, a política de propriedade, dado que imobiliza o capital nos imóveis, afeta a transferência de recursos gerais para o município a ponto de que a arrecadação seja apenas suficiente para a manutenção dos níveis anteriores.

GRÁFICO 45

**Brasília: QLI, que reflete a capacidade de investimentos municipais, para os diferentes testes de políticas, com média de vinte simulações por política para o caso-padrão (2010-2020)**



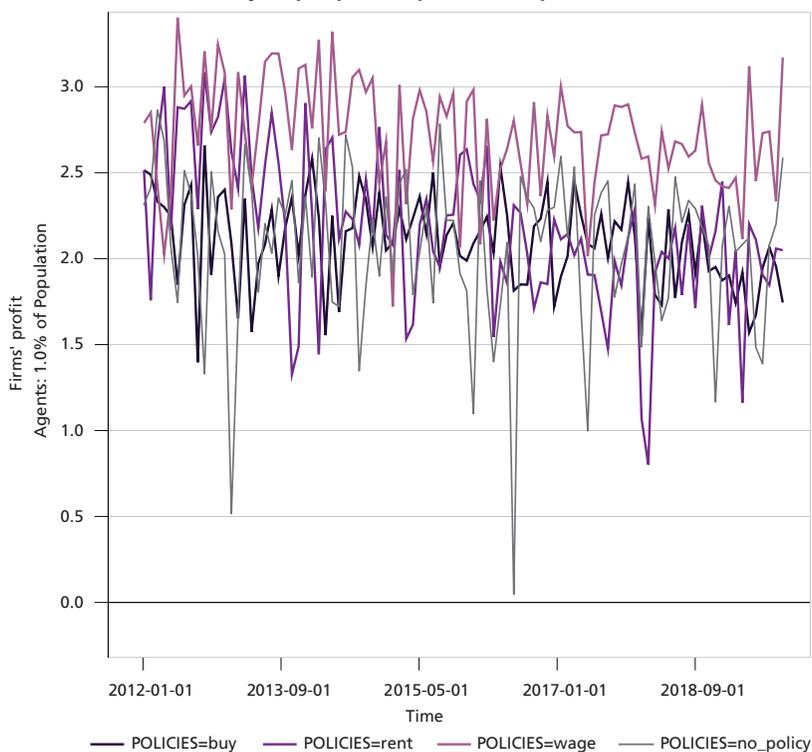
Elaboração do autor.

A poupança das famílias e o lucro das firmas também se beneficiam da dinâmica econômica. No primeiro caso, as famílias poupam mais se comparadas ao caso-padrão para as políticas de auxílio e aluguel, e menos para o caso de propriedade. A diferença entre o lucro das firmas é menos pronunciada, embora as estatísticas do período indiquem que o auxílio promove um lucro médio de 2,46 – comparado com 2,01 para aluguel, 1,96 para propriedade e 1,87 para o caso de “ausência de política”. Adicionalmente, todas as políticas diminuem a volatilidade dos lucros das firmas, dado que há maior disponibilidade de recursos e demanda mais permanente. O desvio-padrão do lucro das firmas para o caso de “ausência de política” é de 0,51, comparado com 0,49 para aluguel, 0,46 para auxílio e 0,35 para propriedade. De fato, provavelmente inflada pelos ganhos das firmas construtoras, a política de propriedade é de forma significativa a mais benéfica para o acúmulo de capital das firmas. A média do balanço das firmas com a política de propriedade é de 719.686 para o período, valor que cai para

694.741 com a política de auxílio, 692.451 para “ausência de política” e 692.315 para o aluguel. Ou seja, o patamar dessas últimas três é quase 4% inferior ao atingido pela política de propriedade.

GRÁFICO 46

Brasília: indicador de lucros das firmas para os diferentes testes de políticas, com média de vinte simulações por política para o caso-padrão (2010-2020)

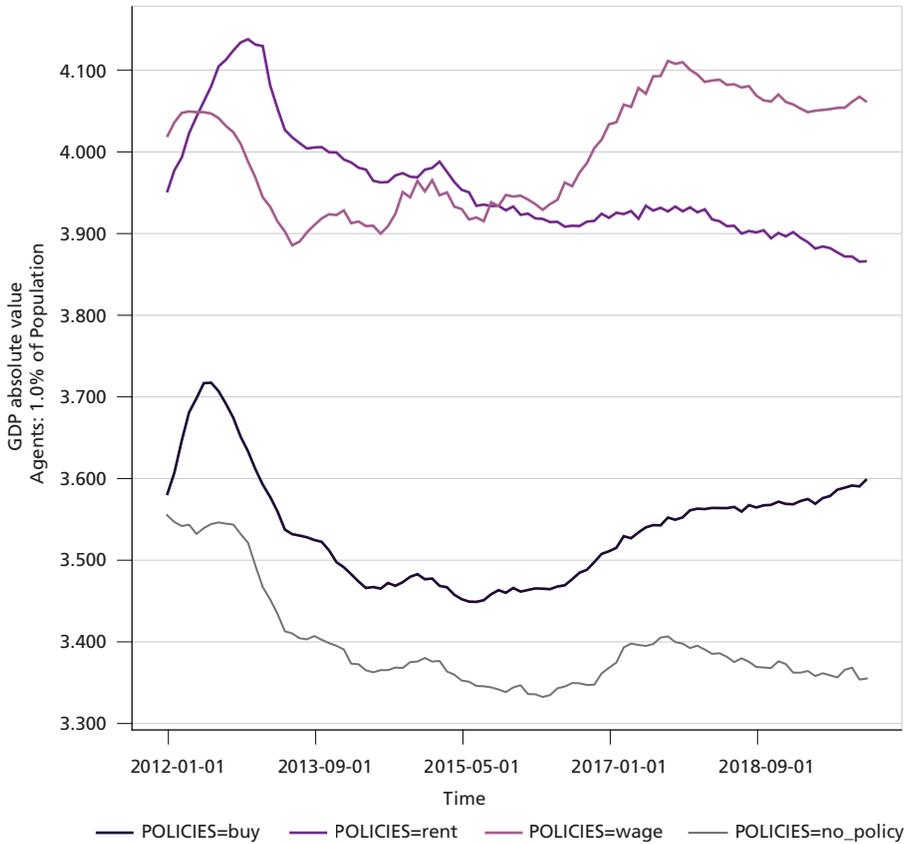


Elaboração do autor.

A evolução do indicador do produto interno bruto (PIB) sugere que há uma persistente manutenção de ganhos de todas as políticas em relação à “ausência de política”, com a política de auxílio se sobressaindo na segunda metade do período, seguida da de aluguel (gráfico 47). A política de propriedade mostra também alguma recuperação, especialmente na segunda metade do período, embora insuficiente (gráfico 48). Não há diferenças entre os indicadores médios de desemprego entre as quatro políticas testadas.

GRÁFICO 47

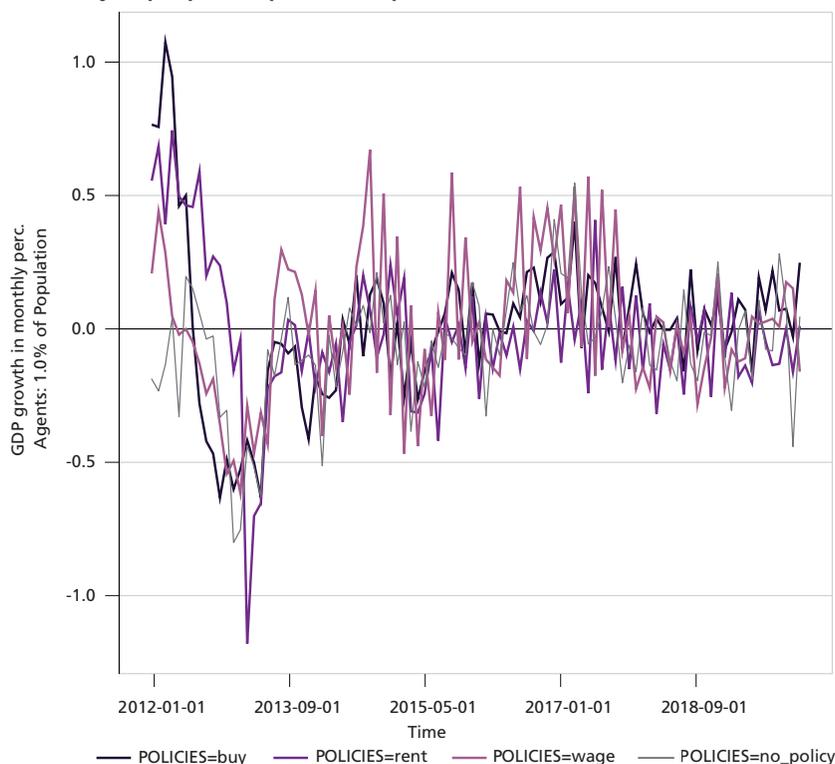
Brasília: PIB para os diferentes testes de políticas, com média de vinte simulações por política para o caso-padrão (2010-2020)



Elaboração do autor.

GRÁFICO 48

Brasília: variação do PIB para os diferentes testes de políticas, com média de vinte simulações por política para o caso-padrão (2010-2020)

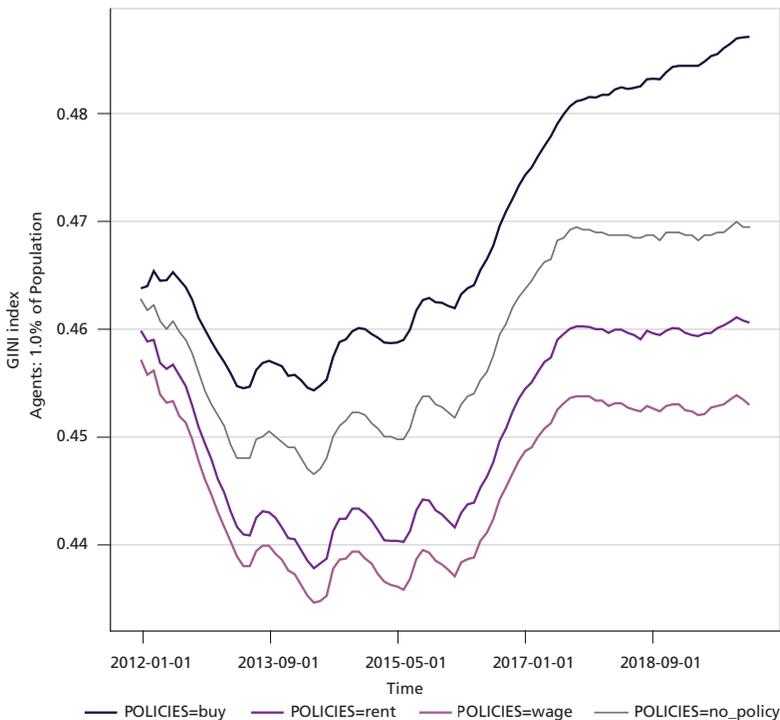


Elaboração do autor.

O coeficiente de Gini indica presença de maior desigualdade ao final do período sucessivamente para as políticas de: propriedade, “ausência de política”, aluguel e auxílio (gráfico 49). Em especial, a política de propriedade apresenta desigualdade crescente no último terço do período, enquanto as três alternativas restantes se mantêm relativamente constantes. Comparativamente, a média do indicador é de 0,02 p.p. superior na política de propriedade.

GRÁFICO 49

**Brasília: coeficiente de Gini para os diferentes testes de políticas, com média de vinte simulações por política para o caso-padrão (2010-2020)**



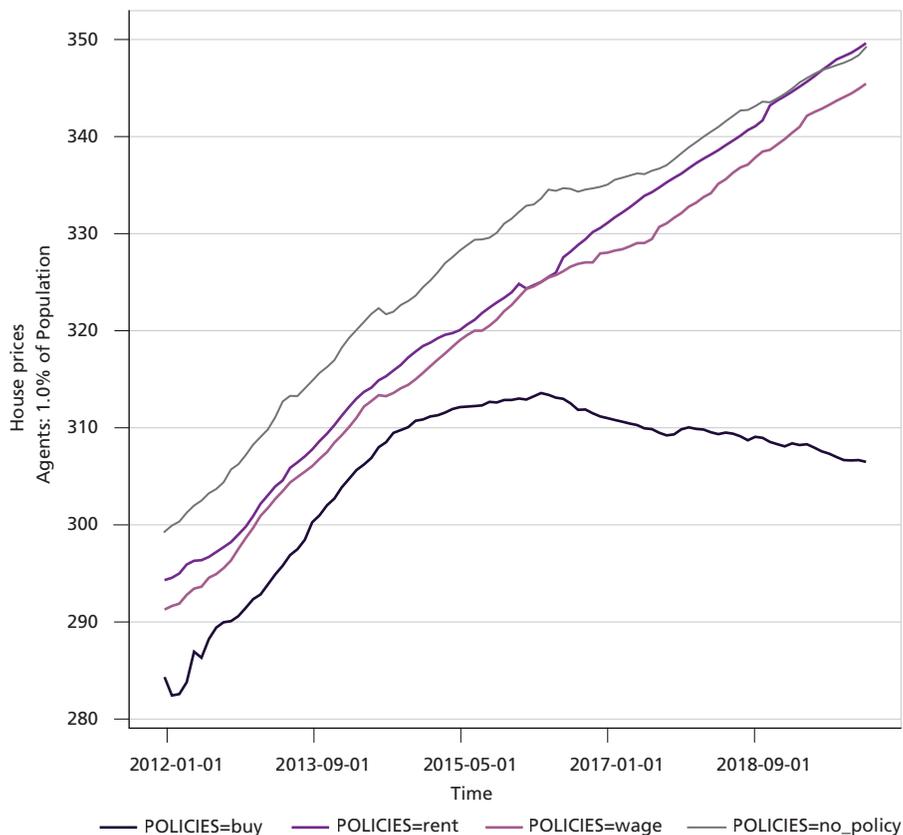
Elaboração do autor.

Os preços dos imóveis – conforme as equações da subseção 7.7, do capítulo 3 – refletem ao mesmo tempo vários mecanismos. Para além das características fixas dos imóveis, sofrem influência do lado da oferta do custo da vizinhança (dada pela aplicação de recursos de impostos – gráfico 45 – e da variação populacional); da renda das famílias residentes na vizinhança; do tamanho da oferta de imóveis; e do tempo de oferta do imóvel no mercado. Do lado da demanda, os preços dos imóveis também são influenciados pela poupança das famílias e pela obtenção de crédito imobiliário. Esses efeitos combinados produzem genericamente um padrão de pequeno incremento constante nos preços dos imóveis. A política de propriedade altera um pouco esse padrão e a partir de meados do período apresenta tendência de manutenção, com ligeira queda dos preços dos imóveis (gráficos 50 a 52). Possivelmente, esse efeito se dá pela conjunção de menor valorização das vizinhanças (menor quantidade de recursos arrecadados endogenamente), menos poupança das famílias nas vizinhanças e menor capacidade de poupança na compra dos imóveis.

Como efeito contrário, há menor vacância quando a política é propriedade, dado que o município cumpre um papel relevante de comprador de imóveis.

GRÁFICO 50

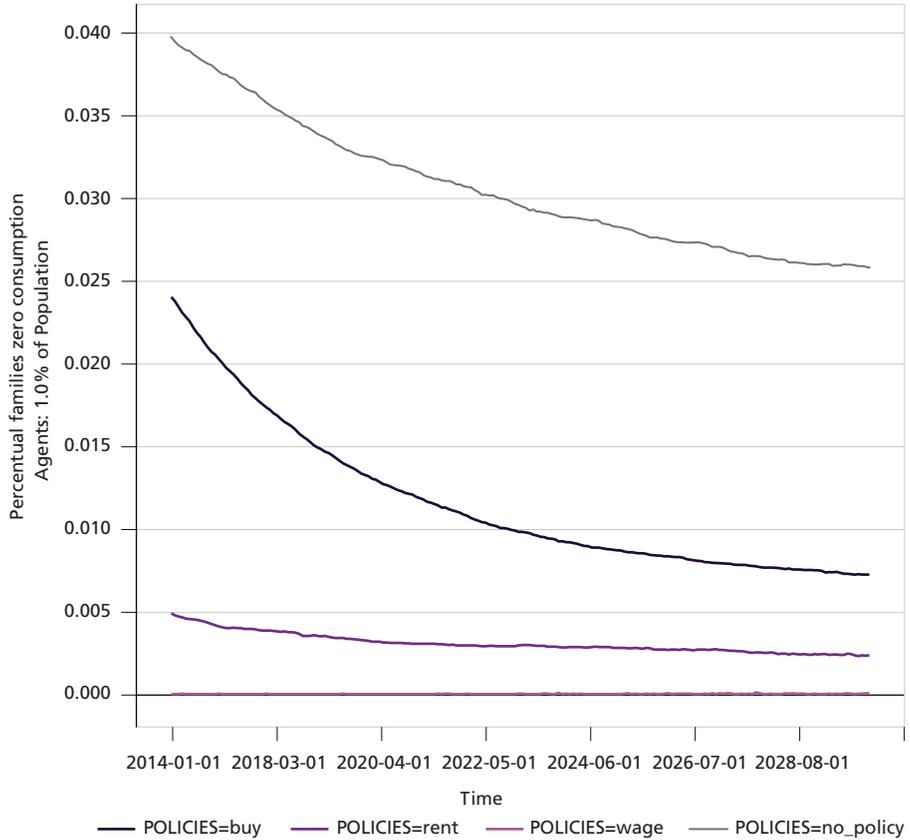
Brasília: preços dos imóveis para os diferentes testes de políticas, com média de vinte simulações por política para o caso-padrão (2010-2020)



Elaboração do autor.

GRÁFICO 51

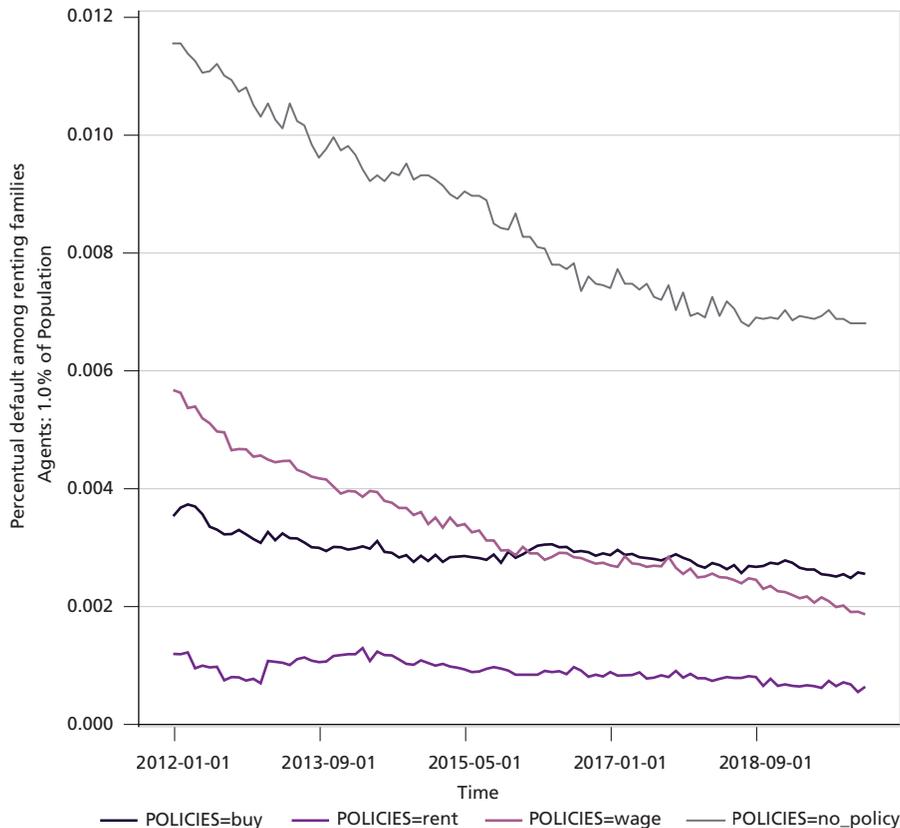
Brasília: percentual de famílias sem consumo em determinado mês para os diferentes testes de políticas, com média de vinte simulações por política para o caso-padrão (2010-2020)



Elaboração do autor.

GRÁFICO 52

Brasília: percentual de famílias que alugam e não realizam o pagamento do aluguel aos proprietários dos imóveis para os diferentes testes de políticas, com média de vinte simulações por política para o caso-padrão (2010-2020)



Elaboração do autor.

## 2 ROBUSTEZ NA ANÁLISE DE POLÍTICAS

Assim como no caso da análise de sensibilidade do modelo como um todo, também sujeitamos os testes de políticas a algumas variações para verificar se os resultados eram únicos a uma determinada configuração ou se se repetiam como padrão. Assim, foram testados resultados para a desigualdade intrametropolitana (tabela 1), outras cidades (tabela 2), outros períodos de cadastro das famílias (seis meses – padrão e um ano), outros decis para cadastro das famílias (0,1 – padrão, 0,2 e 0,3) e períodos de simulação alternativos (2010-2020 – padrão e 2010-2030), além de outra base espacial e familiar de entrada, a partir de dados do censo 2000 (censo 2010 – padrão), no período longo (2000-2030). O conjunto de resultados confirma que

a política de auxílio parece ser aquela com melhor impacto na sociedade, seguida de forma bem próxima da política de aluguel. A política de propriedade gera mais desigualdade em todas as simulações realizadas.

Do ponto de vista da análise espacial e da desigualdade, os resultados também permanecem. A política de auxílio gera efeitos de menor desigualdade entre os municípios que compõem a Área de Concentração de População (ACP) de Brasília (tabela 1).

TABELA 1

**ACP de Brasília: resultados do coeficiente de Gini para municípios, de acordo com a aplicação de políticas**

Município	Propriedade	Auxílio	Ausência política	Aluguel
Águas Lindas de Goiás	0,4138	0,3538	0,3753	0,3628
Cidade Ocidental	0,4238	0,3863	0,3961	0,3888
Formosa	0,4317	0,3850	0,3996	0,3911
Luziânia	0,4484	0,3961	0,4069	0,4002
Novo Gama	0,4427	0,3761	0,3994	0,3826
Padre Bernardo	0,3905	0,3414	0,3694	0,3559
Planaltina	0,4451	0,4105	0,4303	0,4235
Santo Antônio do Descoberto	0,3953	0,3436	0,3597	0,3430
Valparaíso de Goiás	0,4444	0,3983	0,4179	0,4051
Brasília	0,4854	0,4467	0,4619	0,4521

Elaboração do autor.

Entre as cinco cidades de porte médio utilizadas para comparação, o comportamento geral é bem similar a despeito da configuração inicial territorial e familiar bastante distinta, como demonstram os resultados da subseção 2.5, do capítulo 5 realizada com as mesmas cidades. Todavia, em todas elas, o coeficiente de Gini apresenta menor desigualdade na política de auxílio, com Fortaleza e Brasília alcançando o mesmo patamar também na política de aluguel, a duas casas decimais (tabela 2). O PIB e o consumo das famílias também se mostraram maiores para auxílio, com o pior resultado sendo alcançado pela ausência de política ou, no caso do consumo das famílias, empatado com a política de propriedade.

**TABELA 2**  
**Valores médios de todo o período para variáveis selecionadas em cinco regiões metropolitanas ilustrativas**

	Coeficiente de Gini			
	Propriedade	Aluguel	Auxílio	Ausência de política
Brasília	0,47	0,45	0,45	0,46
Belo Horizonte	0,42	0,41	0,40	0,41
Campinas	0,44	0,42	0,41	0,42
Fortaleza	0,44	0,42	0,42	0,43
Porto Alegre	0,44	0,43	0,42	0,43
	PIB			
	Propriedade	Aluguel	Auxílio	Ausência de política
Brasília	3.410,3	3.768,7	3.814,3	3.298,3
Belo Horizonte	5.664,1	6.174,4	6.326,6	5.520,1
Campinas	3.545,7	3.782,7	3.905,1	3.312,4
Fortaleza	3.684,9	3.954,9	4.025,4	3.545,3
Porto Alegre	4.052,6	4.258,0	4.341,3	3.882,2
	Consumo das famílias			
	Propriedade	Aluguel	Auxílio	Ausência de política
Brasília	0,25	0,31	0,31	0,25
Belo Horizonte	0,28	0,34	0,35	0,28
Campinas	0,32	0,38	0,40	0,31
Fortaleza	0,29	0,34	0,35	0,29
Porto Alegre	0,31	0,36	0,37	0,31
	Índice de preços			
	Propriedade	Aluguel	Auxílio	Ausência de política
Brasília	1,39	1,49	1,48	1,38
Belo Horizonte	1,74	1,96	2,01	1,71
Campinas	1,56	1,76	1,83	1,55
Fortaleza	1,41	1,54	1,57	1,39
Porto Alegre	1,57	1,81	1,87	1,58
	Desemprego			
	Propriedade	Aluguel	Auxílio	Ausência de política
Brasília	0,11	0,11	0,11	0,11
Belo Horizonte	0,13	0,13	0,13	0,13
Campinas	0,06	0,06	0,06	0,06
Fortaleza	0,10	0,10	0,10	0,10
Porto Alegre	0,08	0,08	0,08	0,08
	Preços dos imóveis			
	Propriedade	Aluguel	Auxílio	Ausência de política
Brasília	308,56	322,86	320,71	327,56
Belo Horizonte	223,44	225,13	222,86	225,78
Campinas	255,45	254,76	249,55	260,09
Fortaleza	256,47	267,39	266,32	270,93
Porto Alegre	261,24	261,14	262,09	266,59

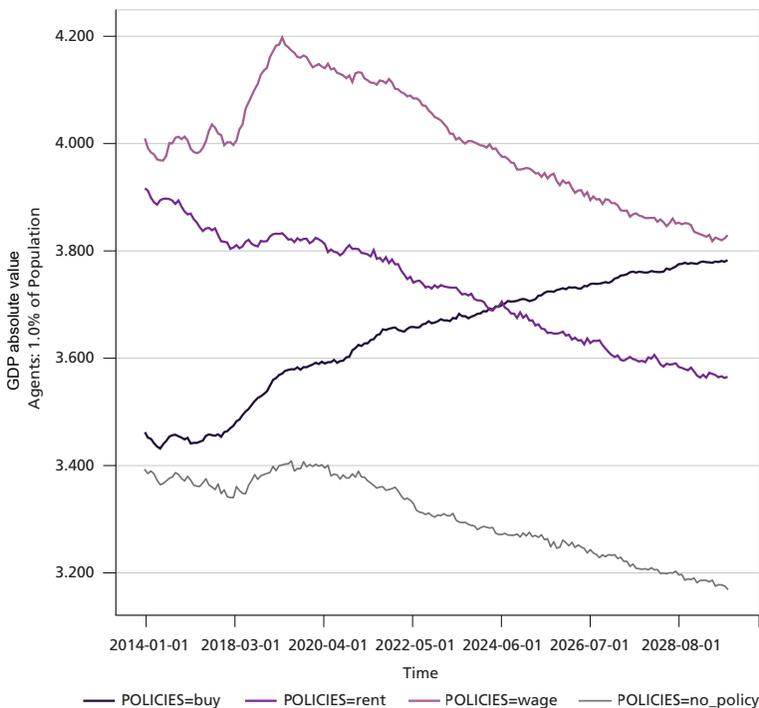
Elaboração do autor.

Também fica explícito que menor desigualdade e maior renda e poupança das famílias promovem pequeno aumento relativo nos preços gerais, sendo a ausência de política o comportamento menos inflacionário – exceto para o caso de Fortaleza, na qual a política de propriedade atinge menor aumento de preços. Em nenhuma cidade houve alteração nos níveis médios de desemprego (embora distintos entre si) devido à aplicação de quaisquer políticas. Os preços dos imóveis apresentam maior variabilidade com preços mais altos, mas bem próximos com a ausência de política e preços menores alternando-se entre as outras três possibilidades.

Na análise de longo prazo, a tendência de crescimento do PIB na aplicação da política de propriedade se sobressai (gráfico 53). Ainda que não alcance, em termos absolutos, a política de auxílio, sua trajetória ascendente sinaliza que eventualmente ultrapassaria os resultados do PIB, comparativamente em relação ao auxílio. Todavia, esse crescimento do PIB se processa às custas de aumento crescente da desigualdade (gráfico 54), enquanto todas as políticas projetam tendência de manutenção da desigualdade, em patamares inferiores do indicador.

GRÁFICO 53

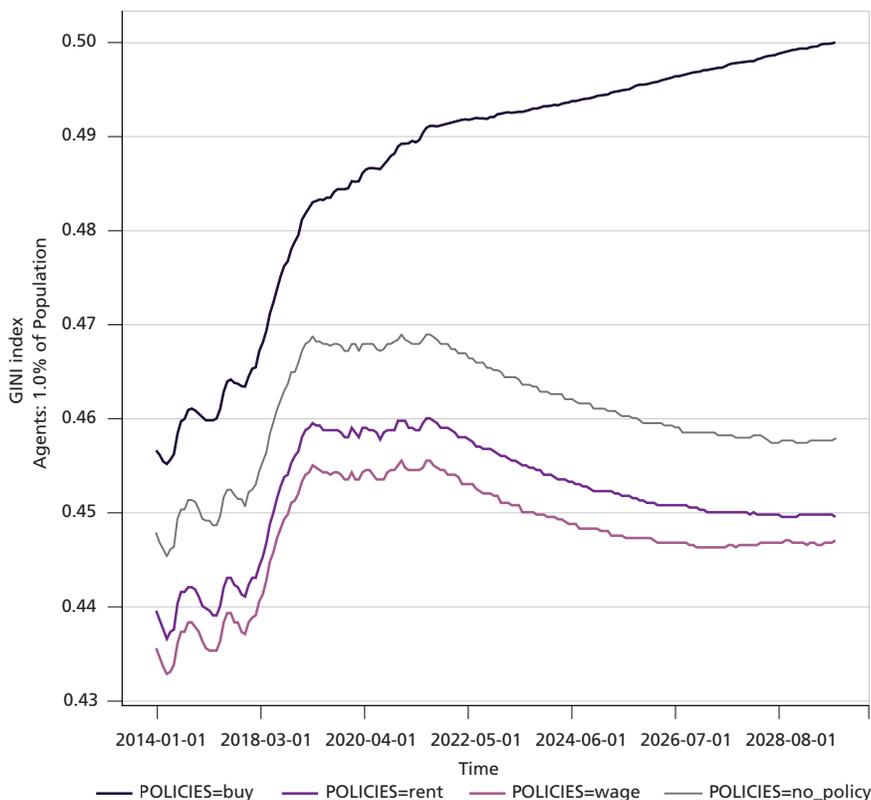
**Brasília: variação do PIB na simulação longa para os diferentes testes de políticas, com média de vinte simulações por política para o caso-padrão (2000-2030)**



Elaboração do autor.

GRÁFICO 54

Brasília: variação do coeficiente de Gini na simulação longa para os diferentes testes de políticas, com média de vinte simulações por política para o caso-padrão (2000-2030)

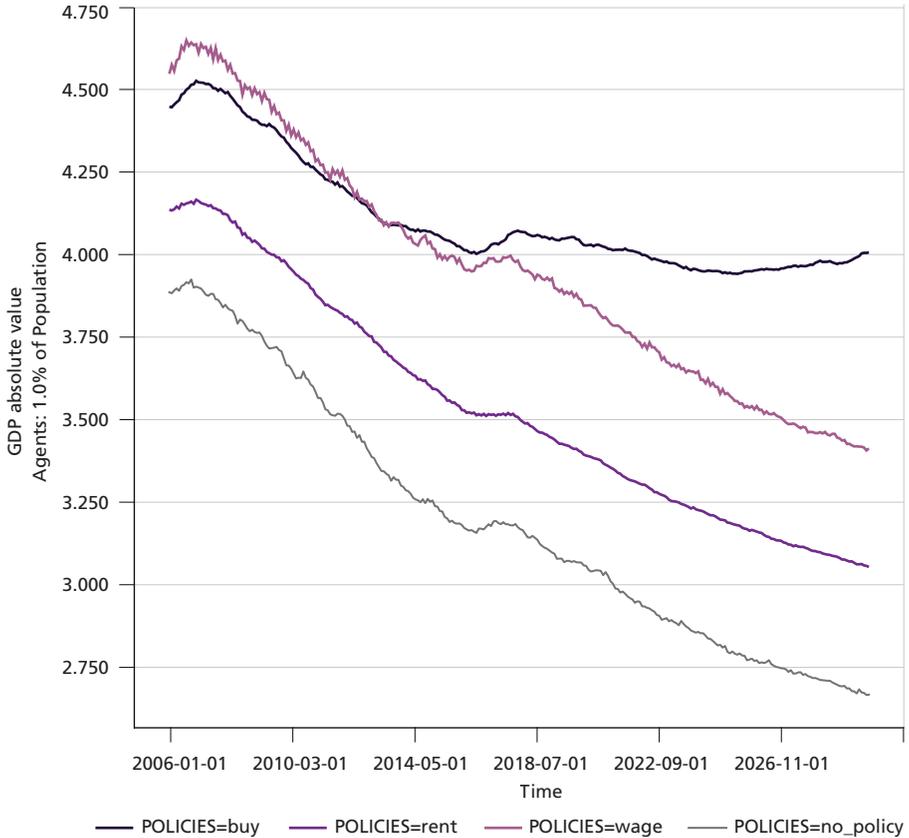


Elaboração do autor.

Finalmente, a partir de base de dados bastante distinta das demais, já que se utiliza de dados e espacialidade provenientes do censo 2000, os resultados se confirmam, com a política de propriedade alcançando PIB maior ao final do longo período de trinta anos (2000-2030 e gráfico 55), porém, novamente, com altos custos de desigualdade (gráfico 56). Dessa forma, assim como nas análises anteriores, nos parece que as políticas de auxílio e aluguel conseguem entregar níveis razoáveis de PIB (em relação à “ausência de política”), com menores níveis absolutos de desigualdade.

GRÁFICO 55

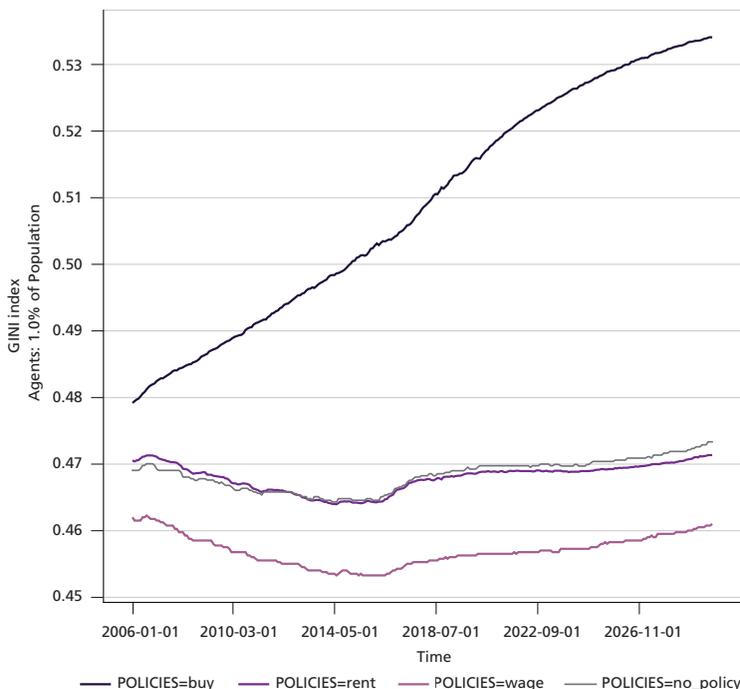
Varição do PIB na simulação superlonga para os diferentes testes de políticas, a partir de base espacial e familiar do censo 2000, com média de vinte simulações por política para o caso-padrão (2000-2030)



Elaboração do autor.

GRÁFICO 56

Brasília: variação do coeficiente de Gini na simulação superlonga para os diferentes testes de políticas, a partir de base espacial e familiar do censo 2000, com média de vinte simulações por política para o caso-padrão (2000-2030)



Elaboração do autor.

### 3 CONSIDERAÇÕES SOBRE POLÍTICA HABITACIONAL

Com a análise de testes de políticas realizada, podemos dizer que, para o caso-padrão simulado, a partir de processos endógenos, derivados da construção de famílias e firmas empíricas e de mecanismos da literatura, há fortes indícios de que a distribuição de recursos na forma de auxílio parece ser mais benéfica, quando comparada à compra e transferência de imóveis ou à promoção de *voucher* para aluguel. Especificamente em termos de política habitacional, a política de aluguel é bastante competitiva com os resultados alcançados pelo auxílio.

Algumas considerações de ordem mais genérica, todavia, são relevantes nesse contexto. A política de aluguel, como demonstra o gráfico de recursos implementados mensalmente, é renovada periodicamente a cada 24 meses, sugerindo que as famílias que recebem os recursos precisam que sejam mantidos de forma regular. Essa demanda contínua pode indicar a necessidade de manutenção

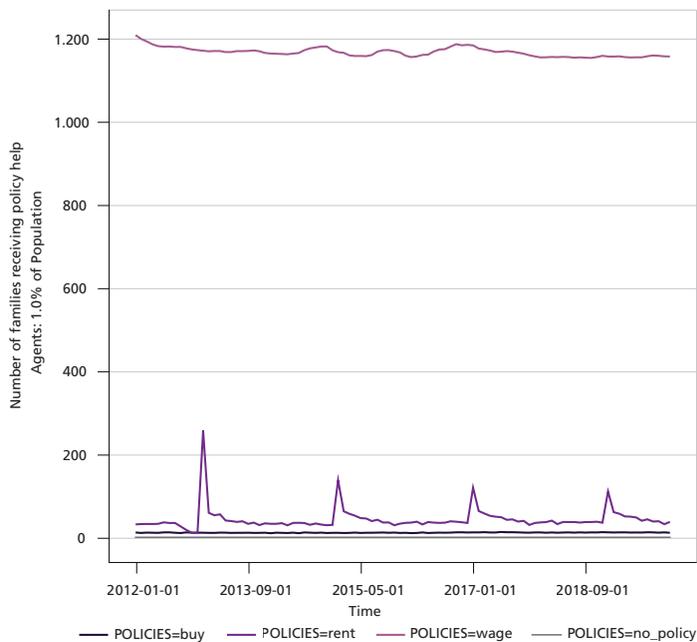
da política de aluguel de forma continuada, ainda que atendendo famílias que não são necessariamente as mesmas.

A política de propriedade, por sua vez, dado que demanda recursos cerca de quatro vezes superiores aos de aluguel por família, atende a um número muito mais restrito de famílias – e, com isso, parece indicar alta regressividade, levando a aumento relevante e crescente da desigualdade no conjunto da população. Adicionalmente, *PolicySpace2* parece capturar o fato de que os recursos investidos na propriedade ficam imobilizados em patrimônio e interrompem a irrigação dos recursos no restante da economia, levando à redução do consumo, com ganhos, aparentemente, apenas para as firmas construtoras, em detrimento da indústria de forma mais geral. Isso ocorre ainda que a seleção das famílias que recebem os imóveis seja sempre estritamente focada, entre as mais vulneráveis do registro, em todos os meses. Do lado positivo, a política de propriedade é a que gera menos efeito de aumento de preços, embora seja discreto nas demais políticas.

Do ponto de vista estrito da política habitacional, este texto não necessariamente exclui a opção pela política de compra e distribuição de imóveis a famílias vulneráveis. O exercício realizado apenas demonstra que, com a mesma quantidade de recursos, oriundos localmente na própria economia simulada, de forma endógena, a política de auxílio, com menor valor monetário, para maior número de famílias, é, claramente, mais progressiva. Entre a escolha de políticas habitacionais, a política de aluguel parece gerar também maior progressividade em relação à política de propriedade, embora fique explícito que a questão “habitacional” *per se* não seja resolvida. Isso, aliás, também não se resolve com a política de propriedade, dado que o número de famílias que permanecem no cadastro segue relativamente constante, com pequena redução, justamente na política de aluguel (gráfico 57).

GRÁFICO 57

Brasília: variação do número de famílias agraciadas com cada teste de política, com média de vinte simulações por política para o caso-padrão (2000-2030)



Elaboração do autor.



## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho apresenta, detalha e justifica o modelo denominado *PolicySpace2*, realiza sua validação e demonstra algumas análises de políticas públicas e seus resultados. O modelo conta com processos decisórios de trabalhadores e suas famílias e firmas em um contexto empírico e espacial a partir de dados de 2010, para as 46 ACPs de regiões metropolitanas brasileiras. Os mecanismos e interação dos agentes nos mercados de bens, de trabalho e imobiliário seguem sugestões da literatura na sua fundamentação e listam justificativas e práticas quando inovadoras. A metodologia utilizada na construção de *PolicySpace2* é denominada modelagem baseada em agentes (*agent-based modeling* – ABM) e sua descrição obedece aos preceitos do protocolo Visão Geral, Conceitos de Projeto e Detalhes (Overview, Design Concepts and Details – ODD) e da metodologia Transparent and Comprehensive Model Evaluation (TRACE).

O propósito do trabalho é construir um modelo empírico do mercado imobiliário para o caso brasileiro que permita descrever e compreender mecanismos de mercado, além de viabilizar analogias que possam sugerir alternativas de políticas públicas. No processo de simulação é possível compreender a ordem de magnitude e relevância de alteração de parâmetros, regras, características dos agentes e implementação ou ausência de alguma política pública ou mudança exógena. Os resultados estão condicionados aos processos descritos e escolhas realizadas.

A validação do modelo é realizada de acordo com seus propósitos. No caso do *PolicySpace2*, consegue-se demonstrar que o modelo é robusto à alteração de parâmetros e mecanismos, de modo que variações exógenas mantêm, no geral, o modelo dentro de comportamentos adequados. De forma específica, qualificamos esse comportamento razoável como um conjunto de quatro parâmetros: i) o PIB não apresenta comportamento exponencial ou tende a zero, por exemplo (mantém-se com variações endógenas e crescimento moderado); ii) a inflação apresenta valor mensal estável (em até 2% de variação mensal) e também não gera hiperinflação, ou inflação zero (exceto quando a produtividade dos trabalhadores é parametrizada em valores muito baixos); iii) a desigualdade entre as famílias evolui para número próximo aos observados (por volta de 0,470); e iv) o desemprego não supera 20% dos trabalhadores, para inúmeras configurações de parâmetros.

Especificamente para o caso do mercado imobiliário, *PolicySpace2* reflete apenas em parte a distribuição de preços, com similaridade próxima na primeira metade da distribuição. A distribuição espacial simulada é similar à observada; no entanto, a localização é mais dependente e orientada à localização das firmas, sendo que, no caso real, observam-se imóveis mais valorizados na ausência de oferta de empregos e presença de outros fatores.

Os indicativos dos resultados da simulação de *PolicySpace2* permitem algumas conclusões. Fica patente a relevância do mercado imobiliário e seus desdobramentos em toda a economia. O simples aumento da participação das famílias no mercado, o influxo de famílias ou a mudança na escala de tamanho da região metropolitana leva a efeitos no mercado imobiliário que refletem em mais qualidade de vida, poupança, lucros e, por vezes, menor desigualdade.

De forma endógena, aumentos de produtividade parecem ser, dada a configuração de *PolicySpace2*, o fator mais influenciador no comportamento geral da economia e seus resultados. No mercado imobiliário, em específico, a capacidade dos municípios de transformar recursos arrecadados em melhoria da qualidade de vida também é relevante para adicionar dinamismo à economia.

Em paralelo, também é possível observar que melhores distribuições de salários, com menor retenção de recursos por parte das firmas, no formato delineado em *PolicySpace2*, sugerem simultaneamente ganhos econômicos e menor desigualdade. Todavia, ressalte-se que o reinvestimento do capital das firmas não está incorporado como *feedback* no sistema de interação apresentado.

Outros elementos já identificados na versão anterior do modelo foram reforçados por esta análise, em grande medida, mais detalhada que a anterior. Um deles é a identificação de que o parâmetro que define a contratação só por proximidade ou só por qualificação parece ser inadequado como explicação empírica. Tanto no modelo atual como no anterior, a restrição de apenas um critério no mercado de trabalho leva a resultados econômicos muito aquém daqueles observados com parâmetros intermediários. Isso parece sugerir que, de fato, há uma combinação “ótima” de critérios entre a localização espacial e o treinamento e a qualificação que beneficia firmas e candidatos.

Outro resultado reforçado no *PolicySpace2* é a redistribuição endógena de recursos arrecadados pelos municípios com critérios preferencialmente por igualdade, no âmbito da região metropolitana, em detrimento do binômio arrecadação local e distribuição local.

Ainda conforme a configuração adotada no *PolicySpace2*, os impostos mais relevantes para alterações na economia foram aqueles referentes ao consumo e ao trabalho. Impostos menores nesse sentido contribuem simultaneamente com

aumento de poupança nas mãos das famílias, que participam mais fortemente no mercado imobiliário e assim dinamizam a economia.

Finalmente, outra indicação da análise de sensibilidade é que a velocidade com que as firmas construtoras incorporam os valores de vendas de imóveis parece ser relevante quando esse prazo de recebimento de valores é pequeno. Os mecanismos embutidos implicam que a firma gasta capital próprio para manter os salários dos trabalhadores quando não há recebimento de valores de vendas. Com isso, há maior redistribuição do capital das firmas construtoras, o que gera grande poupança às famílias, incentivando sua participação nos mercados de bens e imobiliário.

Na análise de alternativas de políticas, a simulação de *PolicySpace2* sugere que a política habitacional de provimento de *voucher* de aluguel por 24 meses para as famílias traz maiores benefícios sociais para a economia como um todo, em termos de dinamização da economia e redução da desigualdade, se comparada à política de compra e distribuição de imóveis às famílias. A título de ilustração, a política não habitacional de oferecer auxílio monetário a um número bem maior de famílias (com menor valor por família, dado que os recursos utilizados são os mesmos para as políticas alternativas) parece ser ainda mais benéfica que a de aluguel.

Em termos de trabalhos futuros, é nossa intenção investigar se existe uma combinação de políticas que produza resultados mais satisfatórios que qualquer uma de forma exclusiva. Também será realizada análise que se utilize de recursos externos à região metropolitana – simulando efeitos de inversões federais ou de outro ente financiador.

Em relação à plataforma, várias outras análises adicionais são possíveis. Em especial, planeja-se vincular o investimento das famílias em educação, a propriedade das firmas pelas famílias, talvez por meio de quotas e ações e a sofisticação do mercado de crédito, incluindo acesso também às firmas.

Entre as limitações do modelo, à guisa de conclusão, nos parece que dois elementos relevantes do ciclo do mercado imobiliário não foram incluídos. De um lado, seria interessante incluir a remuneração ou o reinvestimento dos recursos, ou ainda a propriedade do capital das firmas. De outro lado, também parece estar ausente e ser relevante a melhor caracterização do espaço do mercado imobiliário, com a possível inclusão de amenidades urbanas, geradoras de valor, e as possibilidades e limitações dadas pela regulação do solo urbano.

Para além dos resultados de análise do mercado imobiliário e identificação de elementos relevantes para a dinamização da economia, *PolicySpace2* também pode ser caracterizado como uma plataforma de análise que abrange inúmeras possibilidades. Dadas suas características de código aberto, sua transparência

na documentação e sua explicitação-padrão dos mecanismos de acordo com as melhores práticas e modularidade, é pouco custoso adaptar o modelo para novas perguntas de pesquisa e investigações de regiões específicas.

Vimos *PolicySpace2* especialmente promissor para análises de desigualdade e mercado imobiliário, qualificação da mão de obra, análise setorial e inovação no âmbito de firmas. Adicionalmente, análises de mobilidade urbana e emissão de gases de efeitos estufa podem se beneficiar do fato de o modelo conter mensalmente a localização de trabalhadores e firmas, além de sua renda e composição familiar e qualificação.

No futuro breve, imaginamos que será relativamente simples incorporar elementos do mercado imobiliário de 2010, tais como a substituição de tamanho e qualidade como características intrínsecas do imóvel por atributos reais, como número de quartos, banheiros e vagas, relacionando ainda a qualidade com o Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDHM). Com isso, a configuração inicial do estoque de imóveis será mais semelhante à real, viabilizando a obtenção de resultados simulados que não sejam exclusivamente endógenos.

Também nos parece fácil introduzir análises específicas de emissão de gases de efeito estufa que considerem a diferenciação já existente no modelo entre transporte público e privado.

Finalmente, construída a plataforma, como se encontra neste momento, é possível realizar comparações entre todas as regiões metropolitanas presentes e avaliar, de forma comparativa e relativa, resultados distintos para cada uma delas, dados os mesmos parâmetros e mecanismos.

## REFERÊNCIAS

- ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Avaliação de bens**: parte 2 – imóveis urbanos. Rio de Janeiro: ABNT, 2011.
- AFONSO, J. R. R. Imposto de renda e distribuição de renda e riqueza: as estatísticas fiscais e um debate premente no Brasil. **Revista da Receita Federal: Estudos Tributários e Aduaneiros**, v. 1, n. 1, p. 28-60, 2014.
- ALONSO, W. **Location and land use**: toward a general theory of land rent. Cambridge, MA: Harvard University Press, 1964.
- ARENTZE, T. A.; ETTEMA, D.; TIMMERMANS, H. J. P. Incorporating time and income constraints in dynamic agent-based models of activity generation and time use: approach and illustration. **Transportation Research Part C: Emerging Technologies**, v. 18, n. 1, p. 71-83, Feb. 2010.
- ARNOTT, R. Economic theory and housing. *In*: MILLS, E. S. (Ed.). **Handbook of regional and urban economics**. Amsterdam: North-Holland, 1987. v. 2. p. 959-988.
- ARTHUR, W. B. Inductive reasoning and bounded rationality. **The American Economic Review**, v. 84, n. 2, p. 406-411, 1994.
- AUGUSIAK, J.; BRINK, P. J. van den; GRIMM, V. Merging validation and evaluation of ecological models to “evaluation”: a review of terminology and a practical approach. **Ecological Modelling, Population Models for Ecological Risk Assessment of Chemicals**, v. 280, p. 117-128, May 2014.
- AXTELL, R. Endogenous firms and their dynamics. **Acefinmod.com**, 2013. Disponível em: <<https://bit.ly/3bGrHJz>>. Acesso em: 23 mar. 2016.
- AXTELL, R. *et al.* An agent-based model of the housing market bubble in metropolitan Washington, D.C. **Analysis and Policy Observatory**, 2014. Disponível em: <<https://bit.ly/3mDoFvU>>.
- BAPTISTA, R. *et al.* **Macroprudential policy in an agent-based model of the UK housing market**. London: Bank of England, 2016. (Working Paper, n. 619).
- BETTENCOURT, L. M. A. The origins of scaling in cities. **Science**, v. 340, n. 6139, p. 1438-1441, June 2013.
- BLINDER, A. S. On sticky prices: academic theories meet the real world. *In*: MANKIW, N. G. (Ed.). **Monetary policy**. Chicago: University of Chicago Press, 1994. p. 117-154.

- BOERO, R. *et al.* **Agent-based models of the economy**: from theories to applications. London: Palgrave Macmillan, 2015.
- BOSTIC, R. W.; LONGHOFER, S. D.; REDFEARN, C. L. Land leverage: decomposing home price dynamics. **Real Estate Economics**, v. 35, n. 2, p. 183-208, 2007.
- BRASIL. Ministério das Cidades. **Pesquisa de satisfação dos beneficiários do Programa Minha Casa Minha Vida**. Brasília: MCidades; Ipea, 2014.
- BRUECKNER, J. The structure of urban equilibria: a unified treatment of the Muth-Mills model. *In*: MILLS, E. S. (Ed.). **Handbook of regional and urban economics**. Amsterdam: North-Holland, 1987. v. 2. p. 821-845.
- BRUECKNER, J. K.; THISSE, J.-F.; ZENOU, Y. Why is central Paris rich and downtown Detroit poor? An amenity-based theory. **European Economic Review**, v. 43, n. 1, p. 91-107, 1999.
- BUCHANAN, M. Economics: meltdown modelling. **Nature**, v. 460, n. 7256, p. 680-682, Aug. 2009.
- CARSTENSEN, C. L. **An agent-based model of the housing market**: steps toward a computational tool for policy analysis. 2015. Dissertação (Mestrado) – Department of Economics, University of Copenhagen, Denmark, 2015.
- CASE, K.; SHILLER, R. The efficiency of the market for single-family homes. **American Economic Review**, v. 79, p. 125-137, 1989.
- CAUSA, O.; WOLOSZKO, N.; LEITE, D. **Housing, wealth accumulation and wealth distribution**: evidence and stylized facts. Paris: OECD, 2019. (Working Paper, n. 1588).
- CHAN, S.; HAUGHWOUT, A.; TRACY, J. How mortgage finance affects the urban landscape. *In*: DURANTON, G.; HENDERSON, V.; STRANGE, W. (Ed.). **Handbook of regional and urban economics**. London; New York: Elsevier, 2015. v. 5. p. 987-1045.
- COLANDER, D.; KUPERS, R. **Complexity and the art of public policy**: solving society's problems from the bottom up. Princeton: Princeton University Press, 2014.
- DAVIES, A. "Right to buy": the development of a conservative housing policy, 1945-1980. **Contemporary British History**, v. 27, n. 4, p. 421-444, Dec. 2013.
- DAVIS, M. A.; NIEUWERBURGH, S. V. Housing, finance, and the macroeconomy. *In*: DURANTON, G.; HENDERSON, V.; STRANGE, W. **Handbook of regional and urban economics**. London; New York: Elsevier, 2015. v. 5. p. 753-811.

DAWID, H. *et al.* **The Eurace@Unibi model**: an agent-based macroeconomic model for economic policy analysis. Bielefeld: Bielefeld University, 2012. (Working Paper, n. 5).

DAWID, H.; GATTI, D. D. Agent-based macroeconomics. *In*: HOMMES, C.; LEBARON, B. (Ed.). **Handbook of computational economics**. Amsterdam: Elsevier, 2018. v. 4. p. 63-156.

DIPASQUALE, D.; WHEATON, W. C. The markets for real estate assets and space: a conceptual framework. **Real Estate Economics**, v. 20, n. 2, p. 181-198, 1992.

\_\_\_\_\_. Housing market dynamics and the future of housing prices. **Journal of Urban Economics**, v. 35, n. 1, p. 1-27, 1994.

\_\_\_\_\_. **Urban economics and real estate markets**. New Jersey: Prentice Hall, 1996.

DOSI, G. *et al.* Fiscal and monetary policies in complex evolving economies. **Journal of Economic Dynamics and Control**, v. 52, p. 166-189, 2015.

EDMONDS, B. *et al.* Different modelling purposes. **Journal of Artificial Societies and Social Simulation**, v. 22, p. 6, 24 June 2019.

EDMONDS, B.; MEYER, R. (Ed.). **Simulating social complexity**: a handbook. 2. ed. New York: Springer, 2017. 838 p.

ENGELEN, G.; WHITE, R.; ULJEE, I. Integrating constrained cellular automata models, GIS and decision support tools for urban planning and policy-making. *In*: TIMMERMANS, H. (Ed.). **Decision support systems in urban planning**. London: E&FN Spon, 1997. p. 125-155.

EPSTEIN, J. M. Agent-based computational models and generative social science. **Complexity**, v. 4, n. 5, p. 41-60, 1999.

\_\_\_\_\_. Remarks on the foundations of agent-based generative social science. *In*: TESFATSION, L.; JUDD, K. L. (Ed.). **Handbook of computational economics**. Amsterdam: Elsevier, 2006. v. 2. p. 1585-1604.

EPSTEIN, J. M.; AXTELL, R. **Growing artificial societies**: social science from the bottom up. Cambridge: Brookings; MIT Press, 1996.

FAGIOLO, G.; ROVENTINI, A. Macroeconomic policy in DSGE and agent-based models. **Revue de l'OFCE**, v. 124, n. 5, p. 67-116, 2012.

\_\_\_\_\_. 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, 2017.

FILATOVA, T.; PARKER, D.; VEEN, A. V. D. Agent-based urban land markets: agent's pricing behavior, land prices and urban land use change. **Journal of Artificial Societies and Social Simulation**, v. 12, n. 1, 2009.

FIORAVANTE, D. G.; FURTADO, B. A. Crédito imobiliário. *In*: NEGRI, J. A.; ARAÚJO, B. C.; BACELETTE, R. (Org.). **Financiamento do desenvolvimento no Brasil**. Brasília: Ipea, 2018. p. 193-224.

FJP – FUNDAÇÃO JOÃO PINHEIRO. **Estatística e informações: demografia e indicadores sociais – déficit habitacional no Brasil, 2015**. Belo Horizonte: FJP, 2018.

FUJITA, M.; KRUGMAN, P.; VENABLES, A. **The spatial economy: cities, regions and international trade**. Cambridge: MIT Press, 1999.

FURTADO, B. A. **Modeling social heterogeneity, neighborhoods and local influences on urban real estate prices: spatial dynamic analyses in the Belo Horizonte metropolitan area, Brazil**. Utrecht: Faculteit Geowetenschappen Universiteit Utrecht, 2009.

\_\_\_\_\_. Neighborhoods in urban economics incorporating cognitively perceived urban space in economic models. **Urban Studies**, v. 48, n. 13, p. 2827-2847, 2011.

\_\_\_\_\_. **PolicySpace: agent-based modeling**. Rio de Janeiro: Ipea, 2018a.

\_\_\_\_\_. PolicySpace: a modeling platform. **Journal on Policy and Complex Systems**, v. 4, n. 2, p. 17-30, 2018b.

\_\_\_\_\_. **PolicySpace: modelagem baseada em agentes**. Rio de Janeiro: Ipea, 2018c.

FURTADO, B. A.; EBERHARDT, I. D. R. A simple agent-based spatial model of the economy: tools for policy. **Journal of Artificial Societies and Social Simulation**, v. 19, n. 4, p. 12, 2016.

FURTADO, B. A.; GALINDO, E. **Análise preliminar dos dados do censo 2010**. Brasília: Ipea, 2010.

FURTADO, B. A.; KRAUSE, C.; FRANÇA, K. C. (Ed.). **Território metropolitano, políticas municipais: por soluções conjuntas de problemas urbanos no âmbito metropolitano**. Brasília: Ipea, 2013. 338 p.

FURTADO, B. A.; SAKOWSKI, P. A. M.; TÓVOLLI, M. H. (Ed.). **Modeling complex systems for public policies**. Brasília: Ipea, 2015. 396 p.

FURTADO, B. A.; SOUZA, J. G. de M. **Tenure choice: fundamentals and a simulation**. Brasília: Ipea, 2020. (Discussion Paper, n. 248).

- GAFFEO, E. *et al.* Adaptive microfoundations for emergent macroeconomics. **Eastern Economic Journal**, v. 34, n. 4, p. 441-463, 2008.
- GALÁN, J. M. *et al.* Errors and artefacts in agent-based modelling. **Journal of Artificial Societies and Social Simulation**, v. 12, n. 1, Jan. 2009.
- GALSTER, G. On the nature of neighborhood. **Urban Studies**, v. 38, n. 12, p. 2111-2124, 2001.
- GE, J. Endogenous rise and collapse of housing price: an agent-based model of the housing market. **Computers, Environment and Urban Systems**, v. 62, p. 182-198, 2017.
- GEANAKOPOLOS, J. *et al.* Getting at systemic risk via an agent-based model of the housing market. **American Economic Review**, v. 102, n. 3, p. 53-58, 2012.
- GEYER, R.; CAIRNEY, P. **Handbook on complexity and public policy**. Cheltenham: Edward Elgar Publishing, 2015.
- GILBERT, N.; HAWKSWORTH, J. C.; SWINNEY, P. A. An agent-based model of the English housing market. *In: AAAI SPRING SYMPOSIUM: TECHNOSOCIAL PREDICTIVE ANALYTICS*, 2009, Stanford, California. **Proceedings...** Menlo Park: AAAI Press, 2009.
- GLAESER, E. L. *et al.* Housing dynamics: an urban approach. **Journal of Urban Economics**, v. 81, p. 45-56, 2014.
- GLAESER, E. L.; NATHANSON, C. G. Housing bubbles. *In: DURANTON, G.; HENDERSON, V.; STRANGE, W. (Ed.). Handbook of regional and urban economics*. Amsterdam: North-Holland, 2015. v. 5, p. 701-751.
- \_\_\_\_\_. An extrapolative model of house price dynamics. **Journal of Financial Economics**, v. 126, n. 1, p. 147-170, 2017.
- GOLDSTEIN, J. **Rethinking housing with agent-based models**: models of the housing bubble and crash in Washington DC area 1997-2009. 2017. Tese (Doutorado) – George Mason University, Virginia, 2017.
- GRIMM, V. *et al.* A standard protocol for describing individual-based and agent-based models. **Ecological Modelling**, v. 198, n. 1, p. 115-126, 2006.
- \_\_\_\_\_. The ODD protocol: a review and first update. **Ecological Modelling**, v. 221, n. 23, p. 2760-2768, 2010.
- \_\_\_\_\_. Towards better modelling and decision support: documenting model development, testing, and analysis using TRACE. **Ecological Modelling**, v. 280, p. 129-139, 2014.

\_\_\_\_\_. The ODD protocol for describing agent-based and other simulation models: a second update to improve clarity, replication, and structural realism. **Journal of Artificial Societies and Social Simulation**, v. 23, n. 2, 2020.

GRIMM, V.; RAILSBACK, S. F. Designing, formulating, and communicating agent-based models. *In*: HEPPENSTALL, A. J. *et al.* (Ed.). **Agent-based models of geographical systems**. Dordrecht: Springer, 2012.

GUERINI, M.; MONETA, A. A method for agent-based models validation. **Journal of Economic Dynamics and Control**, v. 82, p. 125-141, Sept. 2017.

GUERRERO, O. A. Decentralized markets and the emergence of housing wealth inequality. **Computers, Environment and Urban Systems**, v. 84, p. 101-541, 2020.

HAMILL, L.; GILBERT, N. **Agent-based modelling in economics**. United Kingdom: Wiley, 2016.

HELBING, D. **Social self-organization: agent-based simulations and experiments to study emergent social behavior**. New York: Springer, 2012.

HEPPENSTALL, A. J. *et al.* (Ed.). **Agent-based models of geographical systems**. Dordrecht: Springer, 2012. 760 p.

HUANG, Q. *et al.* A review of urban residential choice models using agent-based modeling. **Environment and Planning B: Planning and Design**, v. 41, n. 4, p. 661-689, 2014.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Arranjos populacionais e concentrações urbanas do Brasil**. 2. ed. Rio de Janeiro: IBGE, 2016.

JACOBS, J. **The economy of cities**. New York: Vintage Books, 1970.

JOHNSON, J. *et al.* **Non-equilibrium social science and policy**. New York: Springer, 2017.

JORDAN, R.; BIRKIN, M.; EVANS, A. Agent-based modelling of residential mobility, housing choice and regeneration. *In*: HEPPENSTALL, A. J. *et al.* (Ed.). **Agent-based models of geographical systems**. Dordrecht: Springer, 2012. p. 511-524.

LEAMER, E. E. Housing really is the business cycle: what survives the lessons of 2008-2009? **Journal of Money, Credit and Banking**, v. 47, n. 1, p. 43-50, 2015.

LENGNICK, M. Agent-based macroeconomics: a baseline model. **Journal of Economic Behavior and Organization**, v. 86, p. 102-120, 2013.

LYNCH, K. **A imagem da cidade**. Tradução de Jefferson Luiz Camargo. São Paulo: Martins Fontes, 1960.

- MALMENDIER, I. U.; STEINY, A. **Rent or buy?** The role of lifetime experiences of macroeconomic shocks within and across countries. Berkeley: Department of Economics, 2017.
- MARSHALL, A. **Principles of economics**. New York: Cosimo Classics; Prometheus Books, 1890.
- MCAFFEE, A.; BRYNJOLFSSON, E. **Machine, platform, crowd:** harnessing our digital future. New York: W. W. Norton and Company, 2017.
- MILLS, E. S.; NIJKAMP, P. Advances in urban economics. *In*: MILLS, E. S. (Ed.). **Handbook of regional and urban economics**. Amsterdam: North-Holland, 1987. v. 2, p. 703-714.
- MOECKEL, R. Constraints in household relocation: modeling land-use/transport interactions that respect time and monetary budgets. **Journal of Transport and Land Use**, v. 10, n. 1, p. 211-228, 2017.
- MORANDI, L. Novas estimativas do estoque de capital fixo brasileiro (1950-2014). *In*: FGV – FUNDAÇÃO GETULIO VARGAS. **Séries históricas**. Rio de Janeiro: FGV, 2016. p. 22.
- MOSS, S. Alternative approaches to the empirical validation of agent-based models. **Journal of Artificial Societies and Social Simulation**, v. 11, n. 1, Jan. 2008.
- MUELLER, B. Complex systems modelling in Brazilian public policies. *In*: FURTADO, B. A.; SAKOWSKI, P. A. M.; TÓVOLLI, M. H. (Ed.). **Modeling complex systems for public policies**. Brasília: Ipea, 2015. p. 261-278.
- NADALIN, V. G.; FURTADO, B. A.; RABETTI, M. Concentração intraurbana de população e empregos: os centros antigos das cidades brasileiras perderam primazia? **Revista Brasileira de Estudos de População**, v. 35, n. 3, p. 1-24, maio 2018.
- NADALIN, V. G.; IGLIORI, D. Empty spaces in the crowd: residential vacancy in São Paulo's city centre. **Urban Studies**, v. 54, n. 13, p. 3085-3100, Sept. 2016.
- NEUGART, M.; RICHIARDI, M. G. **Agent-based models of the labor market**. Torino: Labor, 2012. (Working Paper, n. 125).
- NIJSKENS, R. *et al.* **Hot property:** the housing market in major cities. Switzerland: Springer, 2019.
- OZEL, B. *et al.* Macroeconomic implications of mortgage loan requirements: an agent-based approach. **Journal of Economic Interaction and Coordination**, v. 14, n. 1, p. 7-46, Mar. 2019.

PAGE, S. Prefácio. *In*: FURTADO, B. A.; SAKOWSKI, P. A. M.; TÓVOLLI, M. H. (Ed.). **Modelagem de sistemas complexos para políticas públicas**. Brasília: Ipea, 2015. p. 11-19.

\_\_\_\_\_. **The model thinker**: what you need to know to make data work for you. New York: Basic Books, 2018. Acesso em: 21 dez. 2012.

PARKER, D. C. *et al.* Multi-agent systems for the simulation of land-use and land-cover change: a review. **Annals of the American Association Geographers**, v. 93, n. 2, p. 314-337, 2003.

POLEDNA, S.; MIESS, M. G.; HOMMES, C. H. Economic forecasting with an agent-based model. **Social Science Research Network**, Feb. 2020. Disponível em: <<https://bit.ly/3mL32d4>>. Acesso em: 19 nov. 2020.

POLHILL, J. G. *et al.* Crossing the chasm: a “tube-map” for agent-based social simulation of policy scenarios in spatially-distributed systems. **GeoInformatica**, v. 23, n. 2, p. 169-199, Apr. 2019.

PRUNETTI, D. *et al.* Utility-based multi-agent system with spatial interactions: the case of virtual estate development: a stochastic simulation-based modeling approach. **Computational Economics**, v. 43, n. 3, Mar. 2014.

ROSEN, S. Hedonic prices and implicit markets: product differentiation in pure competition. **Journal of Political Economy**, v. 82, n. 1, p. 34-55, 1974.

SAIZ, A. Some brief thoughts on housing supply and policy. *In*: NIJSKENS, R. *et al.* (Ed.). **Hot property**: the housing market in major cities. Cham: Springer International Publishing, 2019. p. 109-119.

SASAKI, Y.; BOX, P. Agent-based verification of Von Thünen’s location theory. **Journal of Artificial Societies and Social Simulation**, v. 6, n. 2, Mar. 2003.

SCHELLING, T. C. Models of segregation. **The American Economic Review**, v. 59, n. 2, p. 488-493, 1969.

SCHMOLKE, A. *et al.* Ecological models supporting environmental decision making: a strategy for the future. **Trends in Ecology and Evolution**, v. 25, n. 8, p. 479-486, Aug. 2010.

SEPPECHER, P.; SALLE, I.; LAVOIE, M. What drives markups? Evolutionary pricing in an agent-based stock-flow consistent macroeconomic model. **Industrial and Corporate Change**, v. 27, n. 6, p. 1045-1067, 2017.

SERT, E.; BAR-YAM, Y.; MORALES, A. J. Segregation dynamics with reinforcement learning and agent based modeling. **Scientific Reports**, v. 10, n. 1, p. 11771, 16 July 2020.

SOUZA JÚNIOR, J. R. C.; CORNÉLIO, F. M. **Estoque de capital fixo no Brasil: séries desagregadas anuais, trimestrais e mensais**. Rio de Janeiro: Ipea, 2020. (Texto para Discussão, n. 2580).

STEINNES, D. N. Do people follow jobs' or do jobs follow people? A causality issue in urban economics. **Urban Studies**, v. 19, n. 2, p. 187-192, 1982.

STORPER, M.; VENABLES, A. J. O burburinho: a força econômica da cidade. *In*: DINIZ, C. C.; LEMOS, M. B. (Org.). **Economia e território**. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2005. p. 21-56.

SUN, Z. *et al.* Simple or complicated agent-based models? A complicated issue. **Environmental Modelling and Software**, v. 86, p. 56-67, 2016.

TESFATSION, L. Agent-based computational economics: a constructive approach to economic theory. *In*: TEFATSION, L.; JUDD, K. L. (Ed.). **Handbook of computational economics**. Amsterdam: Elsevier, 2006. v. 2, p. 831-880.

TURING, A. M. The chemical basis of morphogenesis. **Royal Society Publishing**, v. 237, n. 641, p. 37-72, 1952.

VEEN, R. A. C. van der; KISJES, K. H.; NIKOLIC, I. Exploring policy impacts for servicising in product-based markets: a generic agent-based model. **Journal of Cleaner Production**, v. 145, p. 1-13, Mar. 2017.

VOOREN, A. van der; BROUILLAT, E. Evaluating CO<sub>2</sub> reduction policy mixes in the automotive sector. **Environmental Innovation and Societal Transitions**, v. 14, p. 60-83, Mar. 2015.

WADDELL, P. UrbanSim: modeling urban development for land use, transportation, and environmental planning. **Journal of the American Planning Association**, v. 68, n. 3, p. 297-314, 2002.

\_\_\_\_\_. Integrated land use and transportation planning and modelling: addressing challenges in research and practice. **Transport Reviews**, v. 31, n. 2, p. 209-229, 2011.

WADDELL, P. *et al.* An integrated pipeline architecture for modeling urban land use, travel demand, and traffic assignment. **arXiv**, 2018a.

\_\_\_\_\_. Architecture for modular microsimulation of real estate markets and transportation. **arXiv**, June 2018b.

WADDELL, P.; WANG, L.; LIU, X. UrbanSim: an evolving planning support system for evolving communities. *In*: BRAIL, R. K. (Ed.). **Planning support systems for cities and regions**. Cambridge: Lincoln Institute for Land Policy, 2008. p. 103-138.

WHEATON, W. C. Commuting, congestion, and employment dispersal in cities with mixed land use. **Journal of Urban Economics**, v. 55, n. 3, p. 417-438, 2004.

WHITEHEAD, C. M. E. Urban housing markets: theory and policy. *In*: CHESHIRE, P. C.; MILLS, E. S. (Ed.). **Handbook of regional and urban economics**. Amsterdam: North-Holland, 1999. v. 3, p. 1559-1594.

WILENSKY, U.; RAND, W. **An introduction to agent-based modeling**. Cambridge, MA: MIT Press, 2015.

YUN, T.-S.; MOON, I.-C. Housing market agent-based simulation with loan-to-value and debt-to-income. **Journal of Artificial Societies and Social Simulation**, v. 23, n. 4, p. 1-5, 2020.

ZHUGE, C. *et al.* Agent-based joint model of residential location choice and real estate price for land use and transport model. **Computers, Environment and Urban Systems**, v. 57, p. 93-105, May 2016.

## APÊNDICE

TABELA A.1  
Parâmetros do modelo-padrão

Parâmetros	Observações	Valor-padrão	Intervalos testados
$\rho\rho$	Percentual da população	0,01	[.005, .03]
$\alpha$	Exponente da produtividade	0,6	[0, 1]
$\beta$	Magnitude do divisor da produtividade	10	[1, 36]
$\iota$	Mercado de trabalho	0,75	[0, 1]
$\eta$	Percentual da contratação por distância	0,3	[0, 1]
$\phi$	Percentual da entrada no mercado imobiliário	0,0045	[0, .05]
$\sigma$	Tamanho da amostra da contratação	20	[1, 100]
$\varsigma$	Tamanho do mercado	5	[1, 20]
$\rho+$	Valor superior máximo	1,3	[1, 1.5]
$\rho-$	Valor inferior máximo	0,7	[.5, 1]
$\tau$	Efeito de vizinhança	3	[0, 5]
$\gamma$	Limite inferior do desconto máximo	0,6	[.5, 1]
$\kappa$	Fator de decaimento no mercado	-0,01	[0, -.05]
$\pi$	<i>Markup</i>	0,15	[0, .3]
$\psi$	Eficiência municipal	0,00007	[.00001, .0001]
$\nu$	Percentual máximo de empréstimo do banco	0,7	[0, 1]
$\chi$	Pagamento mensal em relação à renda	0,5	[0, 1]
$n$	Número de meses de orçamento da construção	24	[1, 36]
$\upsilon$	Custo do lote	0,15	[.01, .3]
$\zeta$	Ajuste lento dos preços	0,7	[.1, .9]
$\delta$	Coefficiente da política	0,2	[0, .3]
$\theta$	Quantil da política	0,1	[.1, .3]

Elaboração do autor.





## **Ipea – Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada**

### **EDITORIAL**

#### **Chefe do Editorial**

Aeromilson Trajano de Mesquita

#### **Revisão**

Bruna Oliveira Ranquine da Rocha

Carlos Eduardo Gonçalves de Melo

Elaine Oliveira Couto

Lis Silva Hall

Mariana Silva de Lima

Marlon Magno Abreu de Carvalho

Vivian Barros Volotão Santos

Débora Mello Lopes (estagiária)

Matheus Tojeiro da Silva (estagiário)

Rebeca Raimundo Cardoso dos Santos (estagiária)

#### **Editoração**

Aline Cristine Torres da Silva Martins

Mayana Mendes de Mattos

Mayara Barros da Mota (estagiária)

#### **Capa**

Aline Cristine Torres da Silva Martins

*The manuscripts in languages other than Portuguese  
published herein have not been proofread.*







### Missão do Ipea

Aprimorar as políticas públicas essenciais ao desenvolvimento brasileiro por meio da produção e disseminação de conhecimentos e da assessoria ao Estado nas suas decisões estratégicas.

ISBN: 978-65-5635-029-5



**ipea** Instituto de Pesquisa  
Econômica Aplicada

MINISTÉRIO DA  
ECONOMIA



PÁTRIA AMADA  
**BRASIL**  
GOVERNO FEDERAL