

# DA MOBILIDADE METROPOLITANA VINCULADA À ECONOMIA: ANÁLISE A PARTIR DE UM MODELO BASEADO EM AGENTES

Bernardo Alves Furtado<sup>1</sup>

Isaque Daniel Eberhardt<sup>2</sup>

## 1 INTRODUÇÃO

A mobilidade urbana nas regiões metropolitanas (RMs) deteriora-se a partir de 1992, com aumento no tempo de deslocamento casa-trabalho (Pereira e Schwanen, 2013) e piora na viabilidade do seu financiamento (Carvalho e Pereira, 2011), com efeitos mais fortes sobre as famílias mais pobres (Carvalho e Pereira, 2012).

A literatura que discute a mobilidade urbana no Brasil é abundante; porém, há pouca discussão sobre o tema vinculada a efeitos cruzados, tais como poluição (Ipea, 2011) ou nível de atividade econômica e desigualdade (Gomide, 2006).

Este estudo tem duplo objetivo: de um lado, antecipa e apresenta, de forma simplificada, o modelo baseado em agentes, que será detalhado em outro texto destes autores (Furtado e Eberhardt, 2016); e, de outro lado, demonstra uma primeira possibilidade de aplicação do modelo para o caso de políticas públicas integradas, ilustrando as influências da pujança econômica na mobilidade das famílias.

Este artigo é constituído, além desta introdução, de três seções. A seção 2 descreve sucintamente o modelo utilizado para a análise da mobilidade. A seção 3 apresenta os resultados encontrados com a aplicação do modelo. Por fim, a seção 4 conclui o artigo com algumas considerações sobre as contribuições principais do modelo.

## 2 O MODELO

A proposta desenvolvida fundamenta-se na modelagem baseada em agentes (ABMs, do inglês *agent-based model*). Introduzidas na literatura econômica por Arthur (1994), as ABMs simulam elementos individuais do fenômeno objeto de estudo, tais como cidadãos, firmas, instituições ou governos, com especial ênfase na sua interação, no seu desenvolvimento no tempo e nos seus reflexos espaciais. O algoritmo que descreve o modelo é executado em ambiente computacional de acordo com as regras previstas. A alteração de mecanismos e de parâmetros permite análises integradas do fenômeno, isto é, correlacionando as alterações e seus resultados.

No modelo apresentado neste estudo, são utilizados mil agentes, distribuídos em quatrocentas famílias, com número variável de agentes por família. As famílias são alocadas em quatrocentos domicílios, com quarenta domicílios permanecendo vagos. Há ainda 110 firmas que produzem um bem homogêneo, porém com preços variáveis e próprios de cada uma.

Para a ilustração, foram utilizados, ainda, três recortes espaciais alternativos: *i*) uma região, com área de quatrocentas unidades quadradas; *ii*) quatro regiões, cada uma com cem unidades quadradas; e *iii*) sete regiões, sendo três com cem unidades quadradas e quatro com 25 unidades quadradas cada. Ou seja, uma região única, com o espaço equivalente dividido em quatro partes iguais e, finalmente, o mesmo espaço com sete subdivisões internas. Os resultados deste artigo apresentam a ilustração com sete subdivisões.

O modelo simula uma economia com três mercados: de bens, de trabalho e imobiliário.

---

1. Técnico de planejamento e pesquisa e coordenador na Diretoria de Estudos e Políticas Setoriais de Inovação, Regulação e Infraestrutura (Diset) do Ipea. Bolsista de produtividade no Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq). E-mail: <bernardo.furtado@ipea.gov.br>.

2. Bolsista do Programa Nacional de Pós-Doutorado (PNPD) na Diset do Ipea, mestre em sensoriamento remoto pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (Inpe) e doutorando em transportes pela Universidade de Brasília (UnB) E-mail: <isaquedanielre@yahoo.com.br>.

## 2.1 Mercado de bens

As firmas compõem os preços do produto a partir de dois elementos: seu custo de produção e o nível de estoque. Quando o estoque contém mais de duzentas unidades, ela mensalmente aplica aumento de 3%. Quando o estoque cai para menos de duzentas unidades, o preço do produto retorna ao seu preço de custo.

Os consumidores reservam valor (entre zero e seus recursos totais) para consumo e assim o fazem na firma escolhida, se houver disponibilidade da quantidade demandada. Senão, consomem a quantidade disponível. O espaço de consumo é composto por dez firmas selecionadas de forma aleatória. Entre elas seleciona-se, de forma randômica, ou aquela com preço mais barato ou aquela mais próxima à residência do consumidor.

## 2.2 Mercado de trabalho

A oferta de salários no mercado de trabalho é determinada pelas firmas e é composta por uma parcela fixa e uma variável. A parcela fixa é igual entre elas e equivalente à produtividade, dada em anos de estudo do trabalhador. A parcela variável é proporcional aos lucros das firmas, de modo que a firma mais lucrativa paga melhores salários.

A escolha no mercado de trabalho é dada por pareamento entre firmas e trabalhadores, sendo estas ordenadas por aquelas que pagam os melhores salários e os trabalhadores de forma viesada para cima pelo nível de instrução, que varia uniformemente entre um e vinte anos de estudo. O viés de seleção dos trabalhadores – calculado por meio de um método de escolha aleatória com reposição (*bootstrapping*) – indica que metade das vezes o trabalhador escolhido tem qualificação acima de quinze anos de estudo; 75% das vezes acima de dez anos de estudo; e 90% acima de sete anos de estudo.

As firmas escolhem aleatoriamente entre o trabalhador selecionado e o que mora mais próximo a ela, até que não haja mais firmas ou trabalhadores no mercado.

## 2.3 Mercado imobiliário

O valor dos imóveis no mercado imobiliário é atualizado a cada mês e é dado por um valor fixo (referente ao tamanho e às suas características físicas) e um valor variável que reflete a variação do IQV da região do imóvel. Ou seja, imóveis em regiões com alta arrecadação de impostos e relativamente menores populações observam apreciação dos seus valores de mercado.

Ao final de cada mês, 5% das famílias são escolhidas e entram no mercado imobiliário. Simultaneamente, os domicílios que se encontram vazios são selecionados.

As famílias que se encontram na metade mais rica da população buscam por domicílios com melhor qualidade. Feita a escolha, caso o dinheiro em caixa da família mais a venda do seu domicílio atual seja suficiente para a compra do novo domicílio, a mudança é efetivada.

As famílias cuja riqueza as situa na metade mais pobre da população buscam por imóveis mais baratos, fazem a mudança e recolhem a diferença entre o preço do seu imóvel atual e o novo, mais barato.

## 2.4 Governo

A função do governo restringe-se a recolher impostos e a aplicá-los na melhoria da qualidade de vida na sua região. No ato do consumo das famílias, os governos recolhem uma taxa linear de 30% sobre o consumo para as vendas de firmas que se encontrem sob sua jurisdição. As receitas são, então, revertidas inteiramente em valores *per capita* e investidas na melhoria do Índice de Qualidade de Vida (IQV) da região. Note que, dada a dinâmica do mercado imobiliário, a população residente em cada região é dinâmica.

## 2.5 Da variação dos parâmetros, da espacialidade e da temporalidade do modelo

O modelo baseado em agentes utilizado neste trabalho (e tipicamente) é discreto, no sentido que as ações ocorrem de forma sequencial no tempo. Ainda assim, várias regras dependem de informações simultâneas de agentes, famílias, firmas, localização e regiões.

A produção das firmas (e o consequente deslocamento casa-trabalho, objeto deste artigo) acontece diariamente, por 21 dias úteis. Com o término do mês de produção, as firmas pagam seus funcionários que, na sequência, operacionalizam suas compras. Ao mesmo tempo, elas recolhem receitas e os governos arrecadam impostos. Em seguida, são atualizados, respectivamente, valores para IQV, lucros e preços dos produtos. Finalmente, o pareamento dos mercados de trabalho e imobiliário é realizado. Novamente, a produção do mês seguinte inicia-se e assim sucessivamente, até o tempo determinado para a simulação.

Dadas as regras e os mecanismos básicos do modelo, é possível fazer a variação de alguns elementos dele e observar sua influência nos resultados. Os números apresentados acima referem-se aos parâmetros padrões, quais sejam, aqueles que parecem refletir uma economia harmônica. Entretanto, note que é possível variar: a duração, em dias, da simulação; o número de agentes, de famílias, de domicílios, de firmas; o número e a dimensão das regiões; a produtividade dos trabalhadores; a propensão de consumo das famílias; o nível de estoque para o reajuste dos preços das firmas, o valor de *mark-up* aplicado e a frequência com que a firma toma decisões referentes ao mercado de trabalho; o tamanho do mercado em que os consumidores fazem a busca por preços; a parcela das famílias que entra no mercado imobiliário; e, finalmente, a alíquota do imposto recolhido pelos governos.

É exatamente essa variação dos elementos que permite isolar parte dos efeitos, enquanto observam-se suas repercussões sobre as outras facetas da economia. E é esta variação que se discute na seção seguinte.

## 3 ILUSTRAÇÃO

Os resultados deste artigo que apresenta o modelo (Furtado e Eberhardt, 2016) indicam que, na configuração proposta, a economia é mais dinâmica com o recorte de sete regiões, dada a forte dinâmica do mercado imobiliário. Ao mesmo tempo, é mais heterogênea, com maior desigualdade. A simulação com uma região – dada a homogeneidade do IQV – é menos dinâmica, porém mais homogênea.

Este estudo apresenta como ilustração a influência da variação de alguns parâmetros na média *per capita* e na soma total das distâncias percorridas, na simulação com sete regiões. Ou seja, relaciona o comportamento geral da mobilidade, a partir de variações nos elementos centrais da economia.

Além disso, os resultados são apresentados com simulação de uma *seed*<sup>3</sup> fixa, de modo que possam ser comparáveis.

O gráfico 1 indica a variação média da distância *per capita* percorrida em uma viagem, em um dia a cada mês, conforme altera-se o parâmetro da frequência de tomada de decisão da firma em relação ao mercado de trabalho. Quando o valor é muito baixo, a probabilidade de a firma avaliar seu departamento de pessoal todos os meses aumenta. Para valores próximos a um, ela decide menos frequentemente sobre contratações. Deste modo, o parâmetro indica o grau de dinamicidade do mercado de trabalho.

O comportamento da distância percorrida não varia muito quando os valores permanecem razoáveis – ou seja, quando a firma verifica sua necessidade, em média uma vez a cada cinco meses. Entretanto, quando o parâmetro atinge valores altos, há maior variabilidade na distância percorrida.

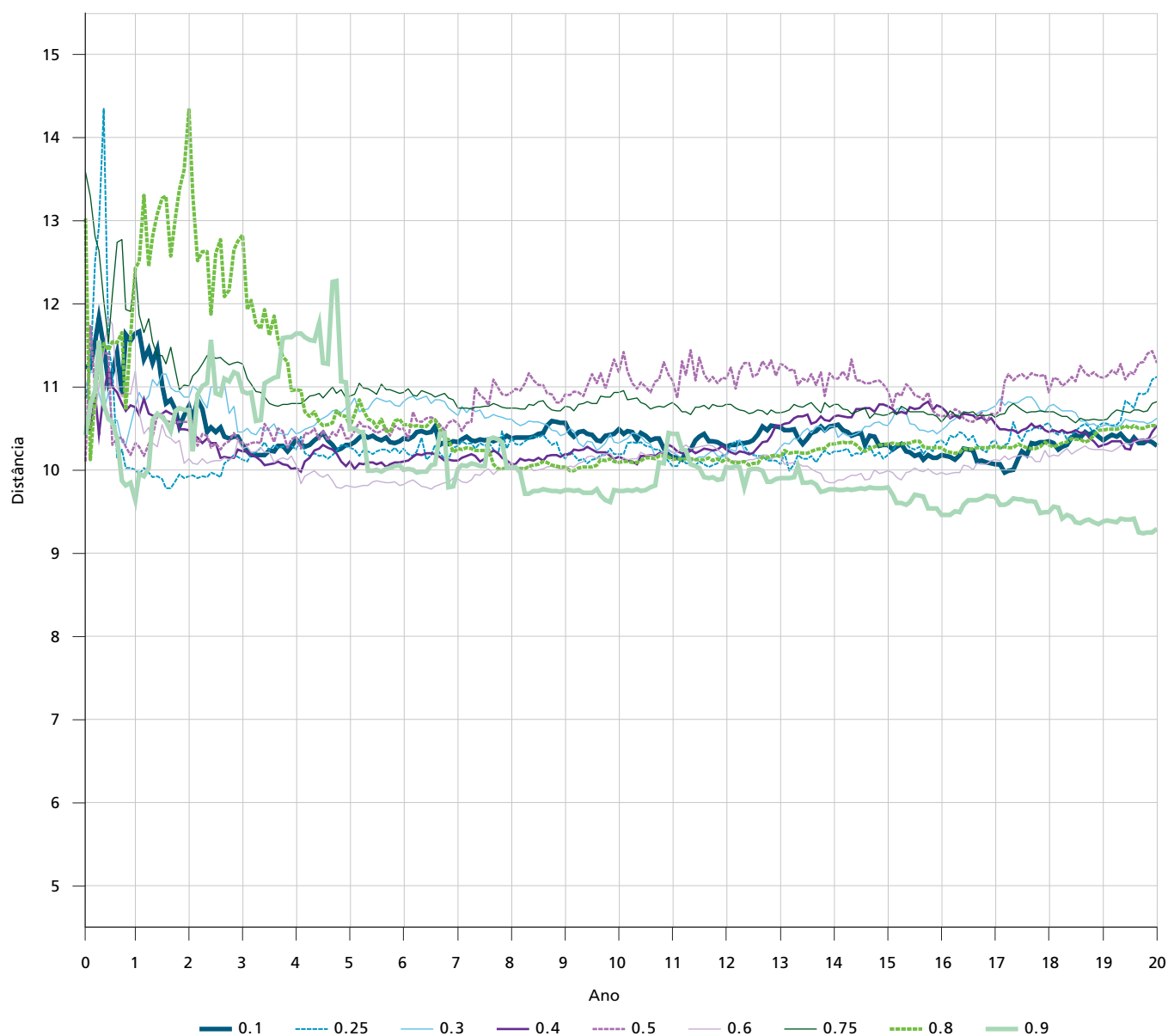
---

3. *Seed* (semente) é o número de referência para a geração dos números aleatórios. No texto anterior (Furtado e Eberhardt, 2016), os resultados foram obtidos a partir de mil simulações. Entretanto, a análise de sensibilidade, assim como a ilustração deste artigo, são feitas com *seed* fixa.

**GRÁFICO 1**

Variação da distância média *per capita* percorrida para vários níveis do parâmetro que determina a frequência da entrada da firma no mercado de trabalho, na simulação com sete regiões

Média da distância *per capita* – nº de regiões = 7



Elaboração dos autores.

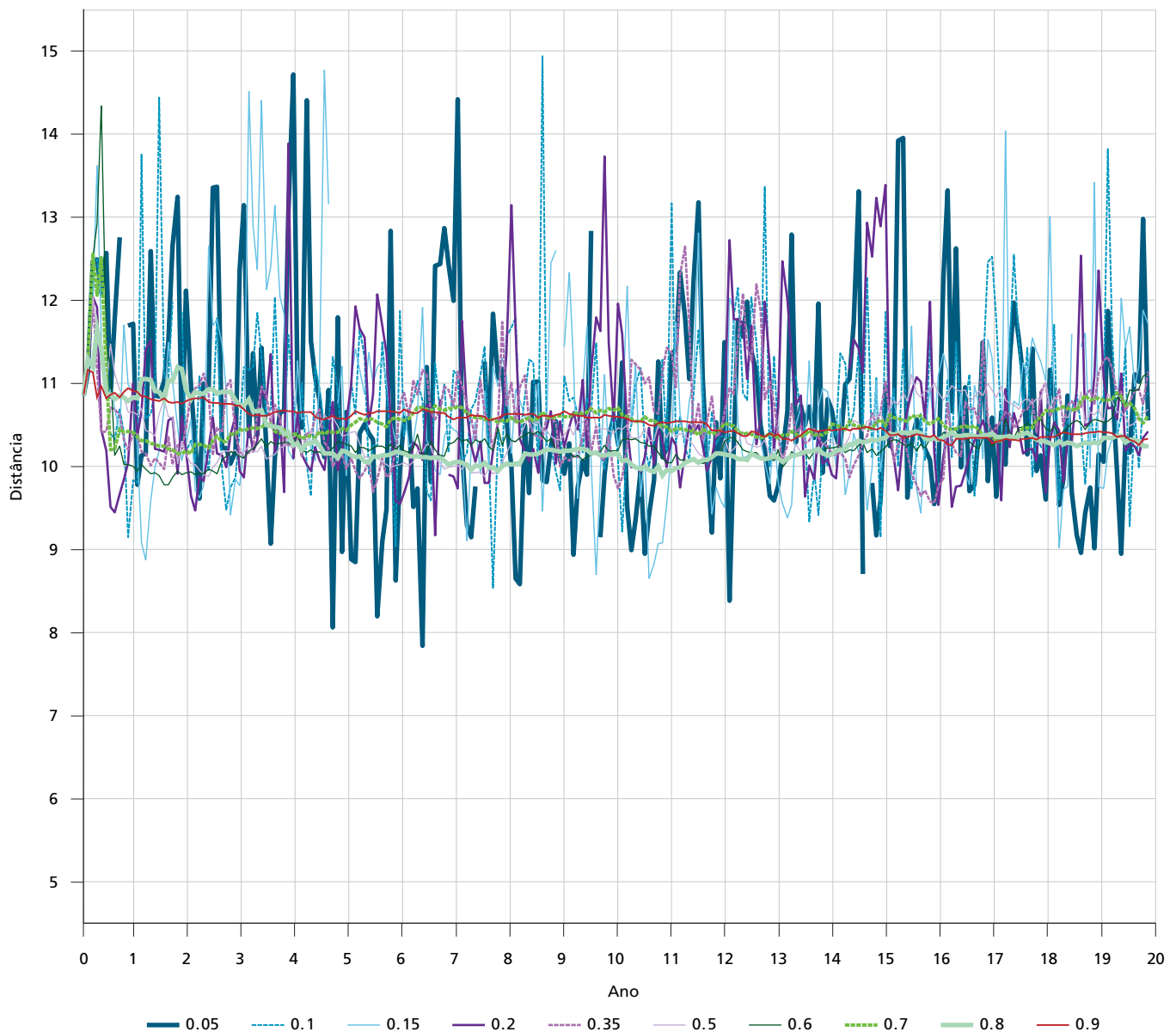
O gráfico 2 demonstra como a dinâmica econômica – nesse modelo – está fortemente vinculada às necessidades de deslocamento das famílias. Para valores de beta mais altos, quando as famílias consomem quase toda a renda disponível, a economia fica mais ativa e a distância média percorrida mantém-se estável entre dez e onze unidades.

Valores menores de beta, todavia, levam a menor consumo e, conseqüentemente, vendas menores das firmas. Esse efeito, por sua vez, aumenta a rotatividade do mercado de trabalho e há aumento considerável da variabilidade na mobilidade das famílias. Deste modo, o efeito é de maiores desajustes no deslocamento das famílias, com valores muito altos em alguns meses e valores bem menores em seguida. Ressalte-se que o deslocamento é nulo quando o trabalhador está desempregado.

**GRÁFICO 2**

Variação da distância média *per capita* percorrida para vários níveis do parâmetro que determina a propensão das famílias ao consumo, na simulação com sete regiões

Média da distância *per capita* – nº de regiões = 7



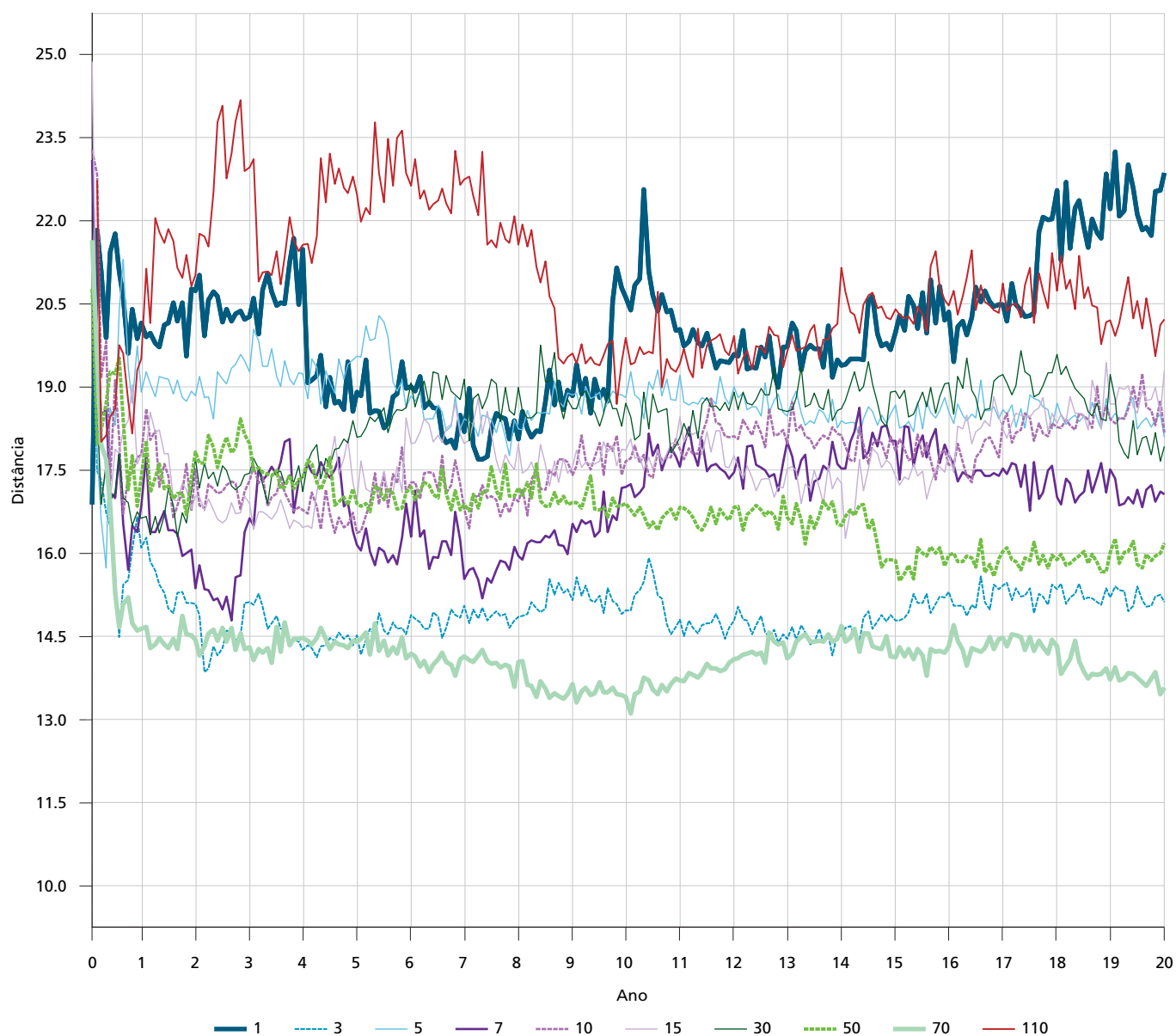
Elaboração dos autores.

O número de firmas que os consumidores consultam parece não interferir com o padrão definido nas distâncias médias percorridas (gráfico 3). Claro, considerando-se que nesse modelo são computados apenas os deslocamentos casa-trabalho, e não aqueles exclusivos para consumo.

**GRÁFICO 3**

Variação da distância média *per capita* percorrida para vários níveis do parâmetro que determina o número de firmas consultadas na decisão de consumo, na simulação com sete regiões

Média da distância *per capita* – nº de regiões = 7



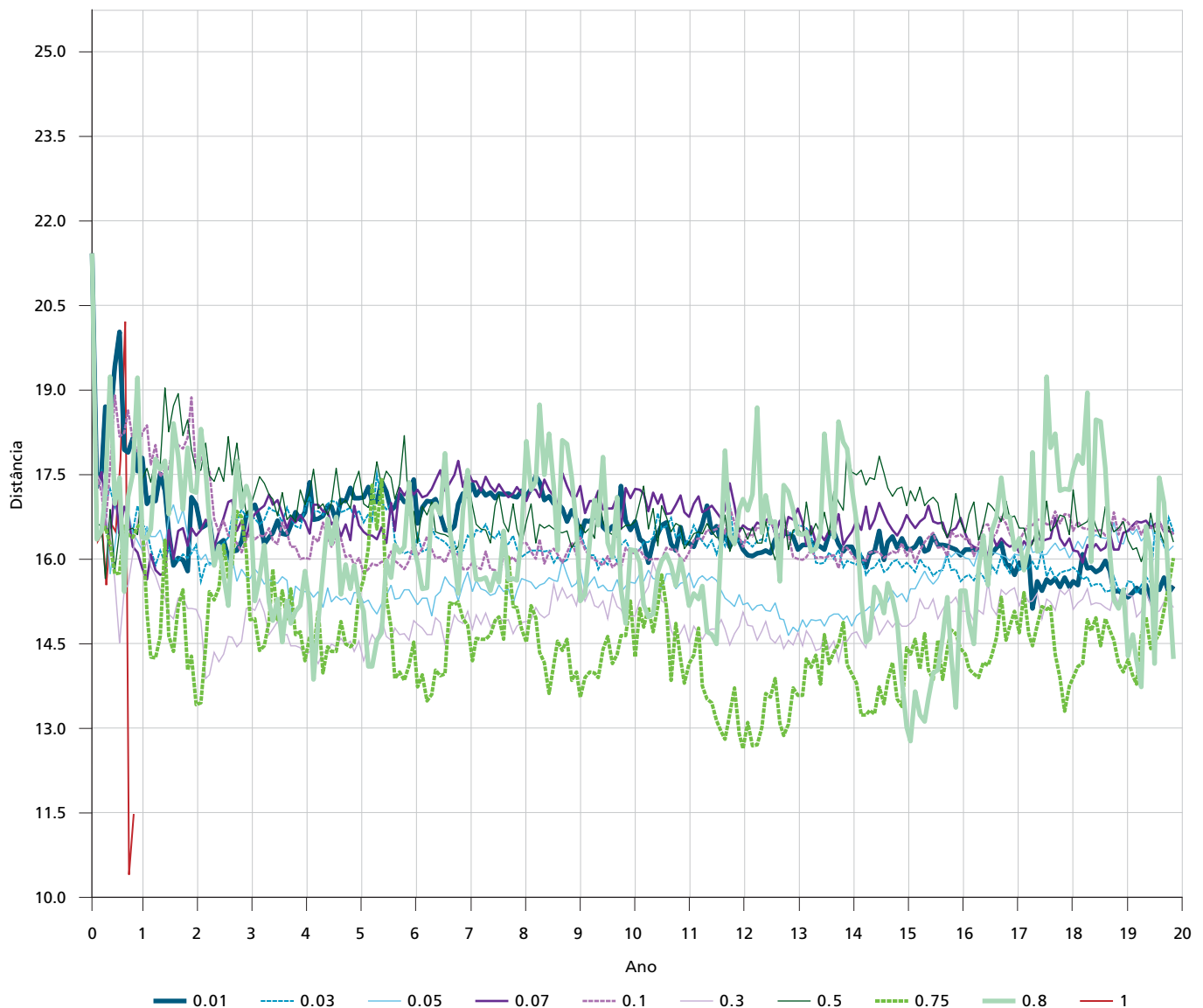
Elaboração dos autores.

O nível da alíquota do imposto sobre o consumo apresenta influência mais significativa nos deslocamentos das famílias (gráfico 4). Quando a alíquota é de 100%, a economia entra rapidamente em colapso, com desemprego generalizado e, portanto, deslocamento nulo. Quando a taxa é de 80% – ainda em patamar bastante elevado – há constante variação na distância percorrida. Com alíquota de 50%, ainda há bastante variação, porém em menor escala. Finalmente, para valores iguais ou inferiores a 30%, o deslocamento retorna aos padrões típicos, com valores em torno de dez ou onze unidades.

**GRÁFICO 4**

Variação da distância média *per capita* percorrida para vários níveis do parâmetro que determina o nível dos impostos sobre o consumo, na simulação com sete regiões

Média da distância *per capita* – nº de regiões = 7



Elaboração dos autores.

Outra maneira de observar os resultados dos deslocamentos casa-trabalho das famílias é focar a soma das distâncias ao longo do período, ressaltando tendências de longo prazo do conjunto das famílias.

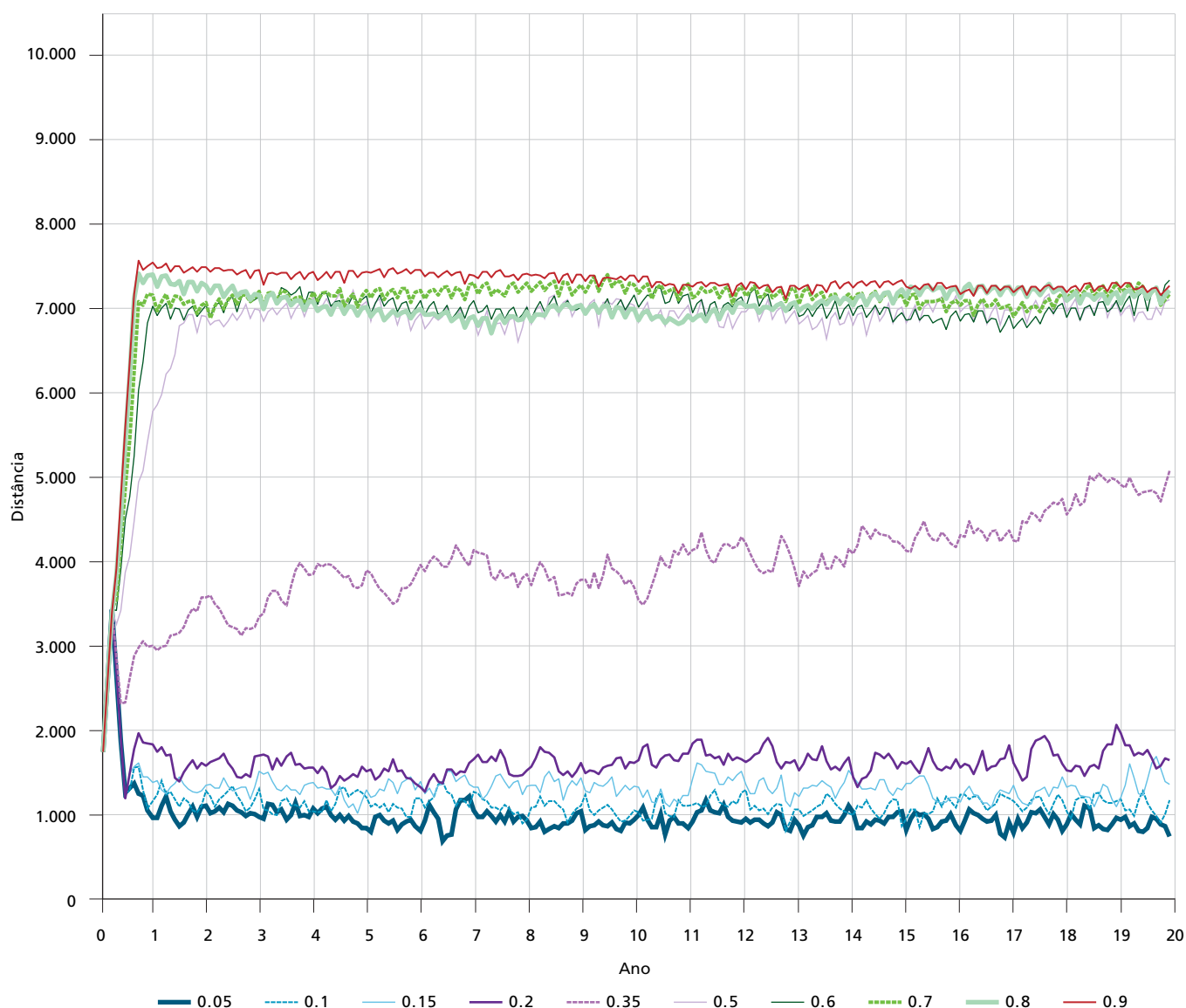
A distância total percorrida é constante e maior para valores de *beta* acima de 0,5 (gráfico 5), com certa consistência no padrão de deslocamento. Quando *beta* assume valor igual a 0,35, observa-se gradual aumento da distância, com incorporação paulatina da população no mercado de trabalho. Valores inferiores, quando a economia é menos dinâmica, geram necessidade de deslocamentos bem menores no conjunto da economia.



**GRÁFICO 5**

Soma das distâncias percorridas pelos trabalhadores em relação às variações no parâmetro de propensão a consumir das famílias, na simulação com sete regiões

Soma das distâncias percorridas – nº de regiões = 7



Elaboração dos autores.

O parâmetro que determina a entrada das famílias no mercado imobiliário reflete maior ou menor dinamismo na mobilidade residencial. Quando o parâmetro é igual a um, todas as famílias verificam todos os meses se há imóvel com melhor qualidade ou mais barato que esteja acessível (gráfico 6). Embora todas as famílias entrem no mercado, não são todas que conseguem efetivar a mudança. Como resultado, todavia, tem-se certa otimização do mercado, o que leva à maior eficiência nos deslocamentos. É possível que essa eficiência seja derivada de maior segregação, com firmas menos dinâmicas concentrando-se em locais com maior população e firmas que empregam mais próximas às famílias com maiores médias de qualificação.

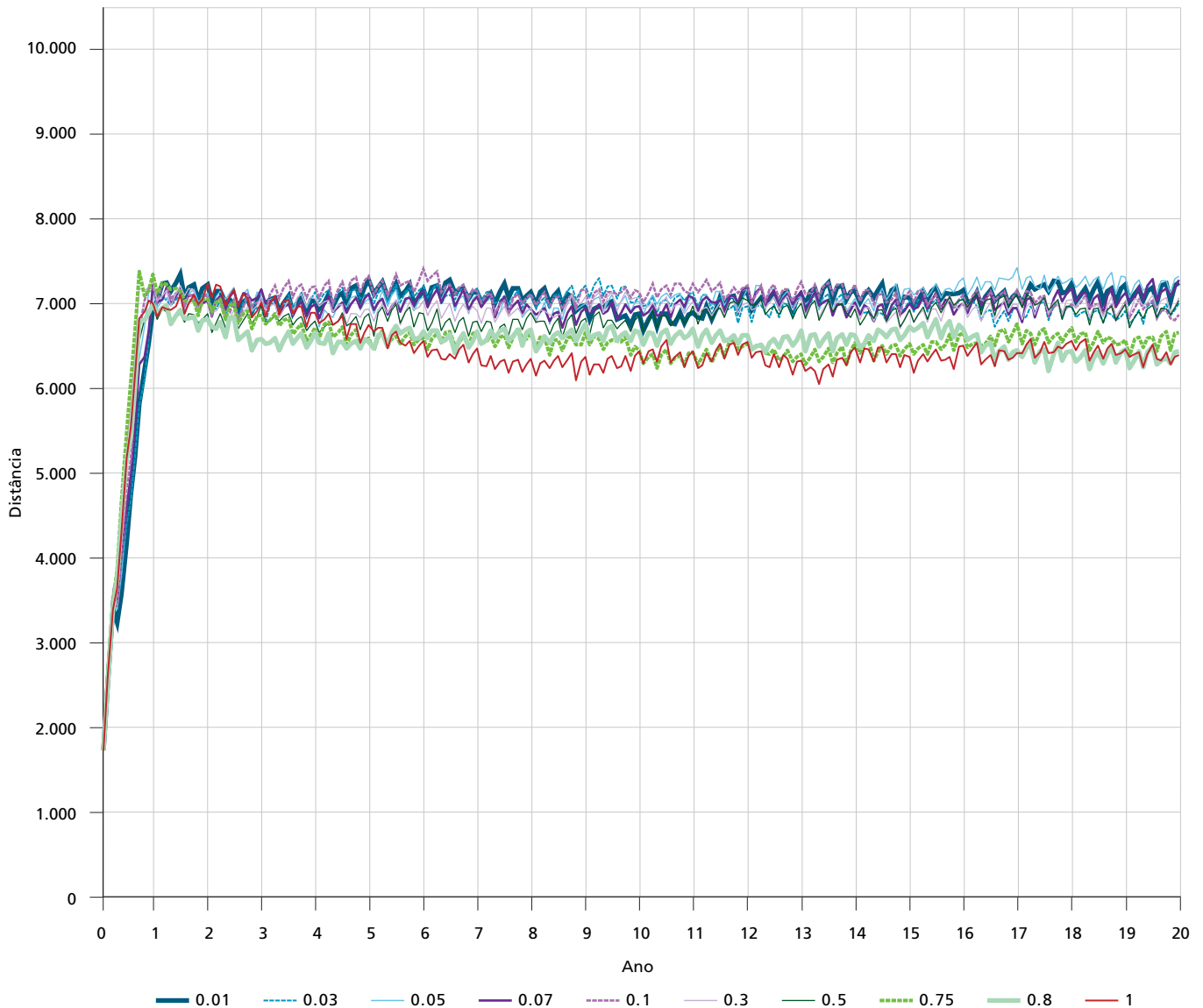
Para valores mais baixos de famílias que entram no mercado, há maior rigidez espacial e a soma das distâncias permanece estável.



**GRÁFICO 6**

Soma das distâncias percorridas pelos trabalhadores em relação às variações no parâmetro que determina a entrada das famílias no mercado imobiliário, na simulação com sete regiões

Soma das distâncias percorridas – nº de regiões = 7



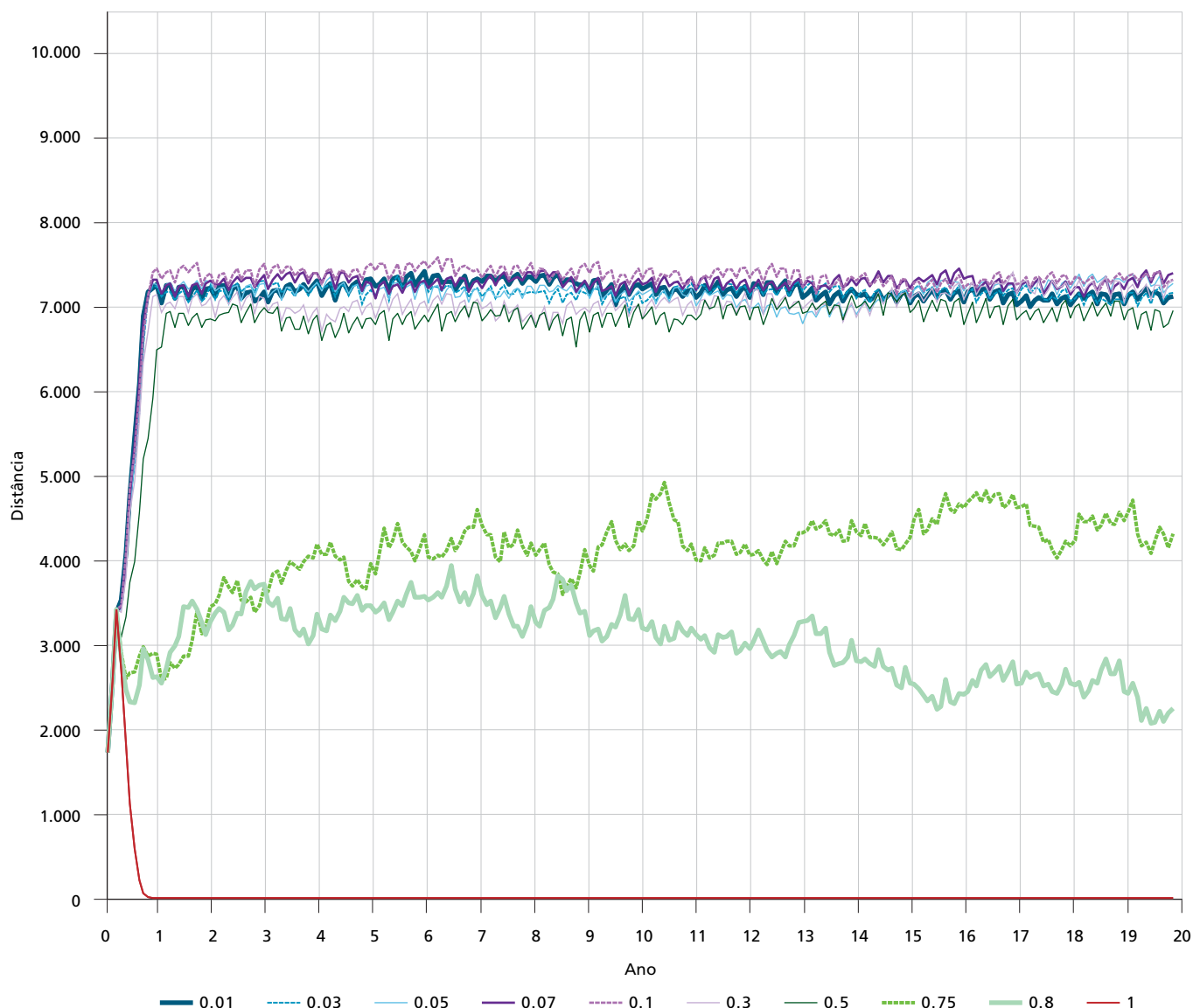
Elaboração dos autores.

As alíquotas sobre o consumo impactam a variabilidade das distâncias percorridas, conforme demonstrado no gráfico 4, mas também a soma das distâncias (gráfico 7). Da mesma forma, alíquotas acima de 50% levam a padrões de deslocamento inferiores – uma vez que parte dos trabalhadores permanece desempregada.

**GRÁFICO 7**

Soma das distâncias percorridas pelos trabalhadores em relação às variações na alíquota do imposto sobre o consumo das famílias, na simulação com sete regiões

Soma das distâncias percorridas – nº de regiões = 7



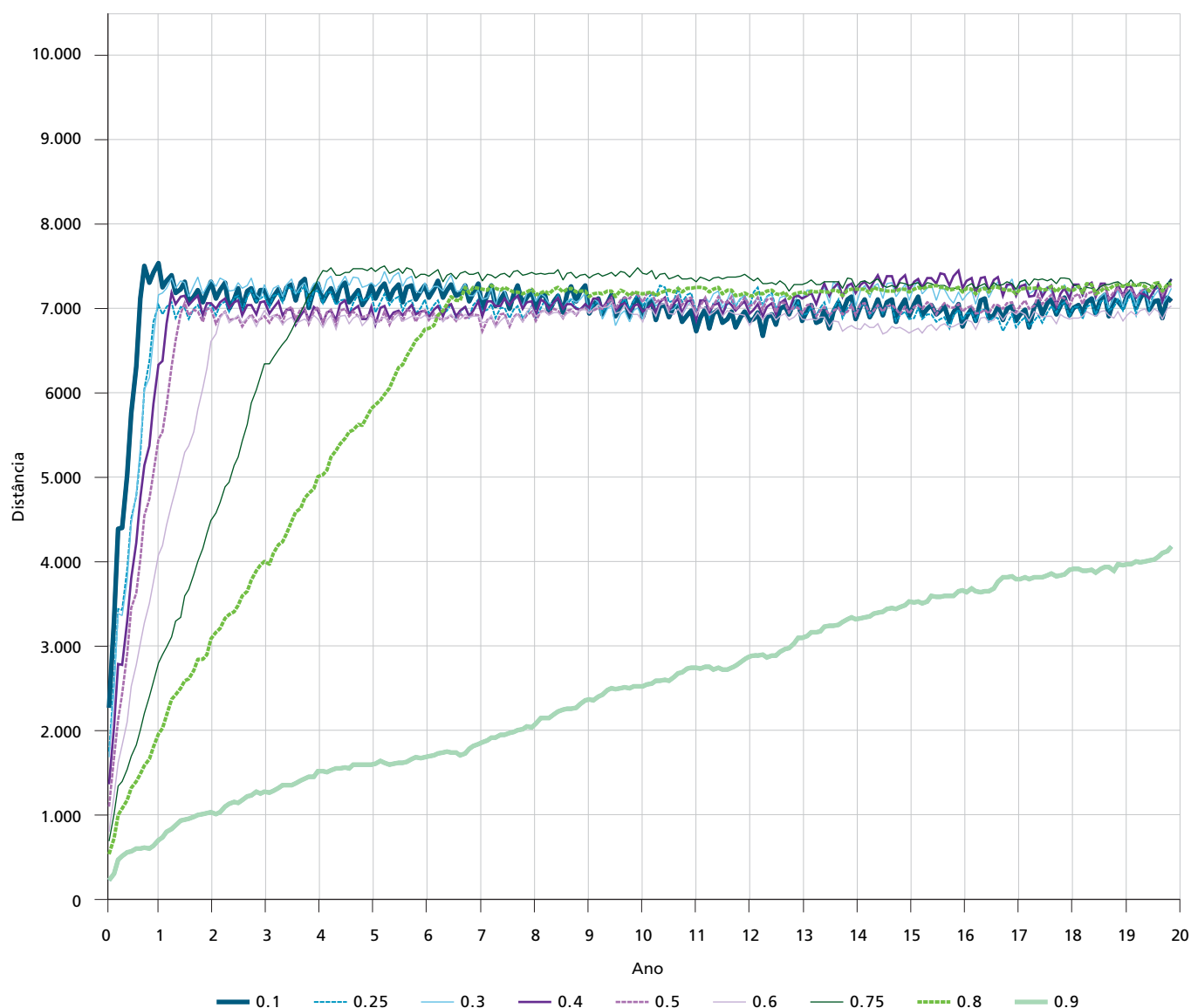
Elaboração dos autores.

Novamente, para o caso da frequência da tomada de decisão da firma em relação ao mercado de trabalho, nota-se (gráfico 8) que a soma das distâncias percorridas apresenta tendência de padronização no nível de sete mil unidades. Entretanto, quanto maior o parâmetro e menor a frequência das firmas no mercado de trabalho, mais longo o ajuste. De fato, quando o parâmetro é de 0,9 e a chance de entrada no mercado de trabalho é de 10% a cada mês, a distância percorrida aumenta gradativamente; porém, não chega ao patamar típico dentro do período de vinte anos de simulação do modelo.

**GRÁFICO 8**

Soma das distâncias percorridas pelos trabalhadores em relação às variações no parâmetro que determina a frequência da tomada de decisão das firmas em relação ao mercado de trabalho, na simulação com sete regiões

Soma das distâncias percorridas – nº de regiões = 7



Elaboração dos autores.

## 4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este artigo apresentou rapidamente o modelo desenvolvido por Furtado e Eberhardt (2016), elaborando uma nova ilustração com base na distância percorrida pelos agentes e seu comportamento em relação a outros resultados do modelo.

Como contribuição principal, este trabalho permite explicitar quantitativamente as relações entre deslocamento dos trabalhadores e todos os outros elementos do modelo: desde propensão a consumir, passando por produtividade, dinamismo do mercado imobiliário ou intensidade da busca por preços.

Este estudo desenvolve – ainda que de forma preliminar – a proposta do item *e* da seção 4 do texto que propõe o modelo (Furtado e Eberhardt, 2016).<sup>4</sup> Neste sentido, a contribuição ganha relevo quando considera-se que a próxima etapa da pesquisa prevê a incorporação dos limites reais para as RMs brasileiras e a incorporação das alíquotas (e dos processos) do sistema tributário de forma específica.

Os resultados desse exercício correlacionam, de forma direta, a distância percorrida dos trabalhadores ao *mercado de trabalho*. Quando dinâmico, o deslocamento mantém-se relativamente constante. Quando o mercado piora, há queda nos deslocamentos. Efeito anterior ao mercado de trabalho, este trabalho ainda correlaciona a propensão a consumir no *mercado de bens* com o deslocamento dos trabalhadores. Finalmente, note-se também que a rigidez ou o dinamismo do *mercado imobiliário* também está correlacionado com o deslocamento das famílias.

Enfim, este artigo vincula aspectos indiretos da economia sobre a mobilidade urbana e apresenta-se como metodologia e ferramental para operar análise de efeitos de políticas públicas de forma integrada, prospectiva e dinâmica, espacial e temporalmente.

## REFERÊNCIAS

- ARTHUR, W. B. Inductive reasoning and bounded rationality. *The American Economic Review*, v. 84, n. 2, p. 406-411, 1994.
- CARVALHO, C. H. R.; PEREIRA, R. H. M. **Efeitos da variação da tarifa e da renda da população sobre a demanda de transporte público coletivo urbano no Brasil**. Brasília: Ipea, 2011. (Texto para Discussão, n. 1595).
- \_\_\_\_\_. **Gastos das famílias brasileiras com transporte urbano público e privado no Brasil: uma análise da POF 2003 e 2009**. Brasília: Ipea, 2012. (Texto para Discussão, n. 1803).
- FURTADO, B. A.; EBERHARDT, I. D. R. **Modelo espacial simples de uma economia com agentes: uma proposta metodológica**. Brasília: Ipea, 2016. No prelo.
- GOMIDE, A. Á. Mobilidade urbana, iniquidade e políticas sociais. *Políticas Sociais: acompanhamento e análise*, v. 12, p. 242-250, 2006.
- IPEA – INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA. **Poluição veicular atmosférica**. Brasília: Ipea, 2011. (Comunicados do Ipea, n. 113).
- PEREIRA, R. H. M.; SCHWANEN, T. **Tempo de deslocamento casa-trabalho no Brasil (1992-2009): diferenças entre regiões metropolitanas, níveis de renda e sexo**. Brasília: Ipea, 2013. (Textos para Discussão, n. 1813).

---

4. A proposta, conforme consta no texto original: “e. Embora a distância já esteja incluída no modelo, a fórmula de distância poderia ser sofisticada para incluir efetivamente o sistema de transportes disponível nos municípios objeto de estudo. Com isso, análises de acessibilidade estariam integradas ao resto da economia de forma sistêmica já que demanda e oferta do sistema de transportes (para fins de emprego) já estariam presentes no modelo” (Furtado e Eberhardt, 2016, p. 33-34).