

## **Revisão do modelo estrutural de médio porte – Samba**

*Estudo Especial nº 39/2019 – Divulgado originalmente como boxe do Relatório de Inflação (março/2019)  
- volume 21 | nº 1*

Este estudo apresenta as modificações pelas quais passou o modelo estrutural de médio porte, Samba<sup>1</sup>, desde a publicação de sua última revisão.<sup>2</sup> O Samba faz parte do conjunto de modelos utilizados na construção de cenários e projeções que subsidiam o processo decisório do Comitê de Política Monetária (Copom) do Banco Central do Brasil (BCB).

O estudo aborda, primeiramente, as mudanças na estrutura do modelo, nos tratamentos das variáveis observadas e na estimação. Ao longo do estudo, serão apresentados alguns exercícios com essa nova versão do modelo, buscando, em grande medida, motivar as alterações realizadas. São mostradas as funções de resposta ao impulso do Samba, comparando os resultados com a versão de 2015, e a decomposição histórica da inflação e do produto com base nos choques estruturais simulados pelo modelo. Além disso, o estudo motiva as alterações realizadas nas equações de mensuração de observáveis com dois exercícios: primeiro, com uma análise da volatilidade de projeções de inflação e produto; segundo, por meio de um exemplo específico observado na publicação de informações oficiais, calculam-se os efeitos sobre as projeções da mudança nas equações de observação.

### **Alterações no modelo**

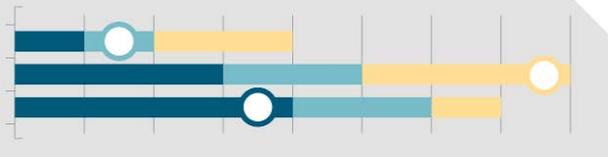
O modelo sofreu alterações significativas, tanto no tratamento das variáveis observadas e parâmetros estimados, como em suas equações. Em termos de tratamento das variáveis observadas e de estimação, as modificações foram as seguintes:

- 1) Os componentes da demanda doméstica – consumo das famílias, investimento e consumo do governo – são observados ainda em termos de taxa de crescimento. Entretanto, em vez de se subtrair a média amostral do crescimento do Produto Interno Bruto (PIB) das observações para construção do hiato, subtrai-se uma tendência linear comum, estimada a partir da série do PIB;
- 2) O tratamento dado à série de preços de importados foi alterado. Anteriormente, sua tendência era obtida a partir de uma regressão linear. Atualmente, utiliza-se a extraída pelo

---

<sup>1</sup> Ver Castro et al. (2011).

<sup>2</sup> Ver boxe “Revisão do Modelo Estrutural de Médio Porte – Samba”, de setembro de 2015.



filtro Hodrick-Prescott (HP). O hiato é formado a partir da diferença entre a série observada e a tendência;

3) Os parâmetros do modelo foram reestimados com dados atualizados até o terceiro trimestre de 2018. Destaca-se que o parâmetro que descreve o inverso da elasticidade de Frisch passou a ser estimado com uma distribuição *a priori* normal, com média e variância mais elevadas.<sup>3</sup> O resultado é um parâmetro final de magnitude mais elevada em relação ao valor calibrado inicialmente em *Castro et al.* (2011).

Em termos de equações do modelo, as mudanças foram as seguintes:

1) A equação da lei de movimento da meta de inflação foi alterada para permitir um choque antecipado em seis trimestres, conforme a equação abaixo, onde  $\bar{\pi}_t^C$  é a meta de inflação para o período “t” e  $\varepsilon_t^{\bar{\pi}^C}$  são choques exógenos ocorridos em “t” que desviam a meta do estado estacionário. Anteriormente o choque utilizado seguia um processo autorregressivo AR(1) tradicional. Esta nova formulação é consistente com o anúncio da meta um ano e meio antes de sua vigência, o que está em linha com o período de antecedência observado na maior parte do período do regime de metas.

$$\bar{\pi}_t^C = (\bar{\pi}^C)^{1-\rho_{\bar{\pi}^C}} (\bar{\pi}_{t-1}^C)^{\rho_{\bar{\pi}^C}} \exp\{\varepsilon_{t-6}^{\bar{\pi}^C}\}.$$

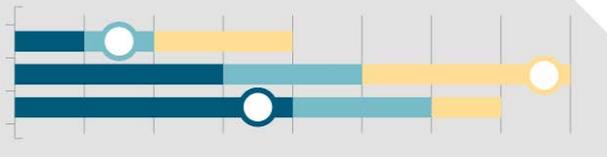
2) O custo de ajustamento das importações originalmente levava em consideração a razão importação-produto do respectivo setor e agora depende apenas da quantidade importada, como ilustrado pela equação abaixo. A formulação anterior forçava, no curto prazo, uma elasticidade unitária entre produto e importações, o que conflita com resultados de estudos empíricos para o Brasil.<sup>4</sup> Na formulação abaixo, o subscrito “H” refere-se ao setor da economia (consumo das famílias, investimento, consumo do governo ou exportações),  $\Gamma_{H,t}^M$  é o custo de ajustamento das importações do setor “H” no período “t”,  $\tilde{M}_t^H$  é a quantidade importada do setor “H”,  $Z_t^Z$  é a produtividade agregada da economia, e  $Z_{H,t}^M$  é um choque na demanda por importações.

$$\Gamma_{H,t}^M = \frac{\vartheta_H^M}{2} \left( (Z_{H,t}^M)^{-\frac{1}{\vartheta_H^M}} \frac{\tilde{M}_t^H Z_t^Z}{\tilde{M}_{t-1}^H} - Z_t^Z \right)^2.$$

3) O setor referente ao resto do mundo do Samba foi reestruturado, passando de processos AR(1) individuais para um vetor autorregressivo (VAR) com cinco variáveis e duas defasagens. Sua estimação foi feita utilizando-se métodos bayesianos com choques identificados pela

<sup>3</sup> A distribuição *a priori* com média mais elevada foi calibrada de acordo com as observações em Chetty (2012), que mostra evidências sobre o descasamento entre as estimativas microeconômicas recentes da elasticidade de Frisch e os resultados de modelos macroeconômicos. A variância mais elevada da distribuição, por outro lado, permite um melhor ajuste do modelo aos dados brasileiros.

<sup>4</sup> Minella e Souza Sobrinho (2013) estimam elasticidade-renda de curto prazo de 1,98 em um modelo semiestrutural. Morais e Portugal (2005) e Gouvêa e Schettini (2015), ambos com modelos de Markov-Switching, encontram elasticidade-renda de curto prazo significativamente maior do que um.



imposição de restrição de sinais sobre as funções de respostas ao impulso. As variáveis observadas na estimação foram: *Fed funds rate*, hiato do PIB mundial (mesma série utilizada nos modelos semiestruturais<sup>5</sup>), inflação de preços ao consumidor dos Estados Unidos (*Consumer Price Index – CPI*), índice de volatilidade da Cboe (*Chicago Board Options Exchange Volatility Index – VIX*) e o Índice de *Commodities – Brasil* (IC-Br) em dólares. Identificam-se quatro choques no sistema: de política monetária, de oferta, de demanda e choque financeiro (neste último caso, a restrição consiste em associar aumentos do VIX a quedas no hiato do produto mundial).

4) Originalmente, apenas as equações de observação de PIB e Índice Nacional de Preços ao Consumidor Amplo (IPCA) apresentavam choques exógenos em sua formulação (chamados na literatura de erros de observação ou de mensuração). Essa metodologia foi estendida para salários nominais, consumo das famílias, formação bruta de capital fixo, consumo do governo, exportação e importação. Esses choques seguem um processo de média móvel MA(1), como descrito na equação abaixo para uma variável genérica “X”. Para fins de estimação, a volatilidade dos choques foi restrita a um teto de 75% da volatilidade observada de cada série.

$$\Delta X_t^{obs} = \log X_t - \log X_{t-1} + \varepsilon_t + \theta \varepsilon_{t-1}.$$

5) A indexação da inflação de administrados era baseada na inflação acumulada nos quatro trimestres anteriores e agora baseia-se apenas no trimestre imediatamente anterior.

6) A indexação da variação de salários nominais era baseada na variação do trimestre imediatamente anterior e agora baseia-se na variação média dos quatro trimestres anteriores.

7) Os choques de *mark-ups* de preços livres, administrados, salários e de preços de exportação assumiam anteriormente processos AR(1) e agora seguem o modelo ARMA(1,1), em linha com a especificação em Smets e Wouters (2007). As equações que caracterizam os choques de *mark-ups* são descritas abaixo, onde os sobrescritos “p” e “w” fazem referência aos *mark-ups* de preços e salários:

$$\log \hat{Z}_t^{p,w} = \rho \log \hat{Z}_{t-1}^{p,w} + \varepsilon_t - \delta \varepsilon_{t-1}.$$

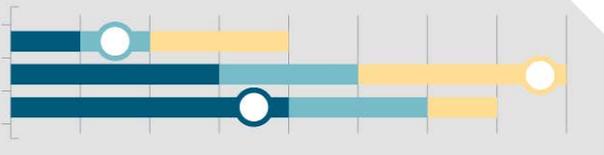
8) O processo que caracteriza o choque de política monetária, que anteriormente era definido como um ruído branco, é descrito agora como um MA(1).

## Propriedades do modelo

Nesta seção são explorados dois tópicos: (i) as funções de resposta ao impulso do Samba, em comparação com a versão do modelo de 2015, e (ii) a decomposição histórica da inflação e do produto, de acordo com os choques estruturais do modelo.

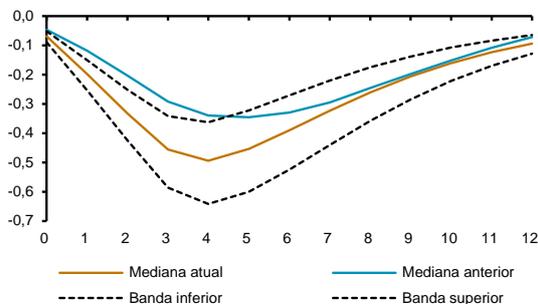
---

<sup>5</sup> Ver, por exemplo, o boxe “Modelo de preços desagregados de pequeno porte – 2018”, publicado no Relatório de Inflação de junho de 2018.

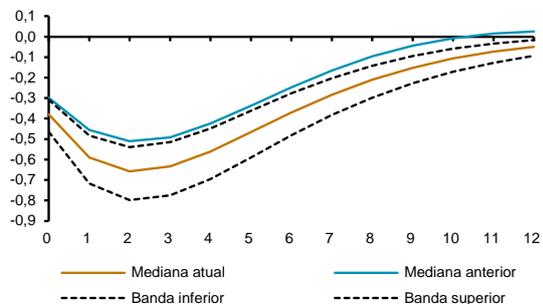


O primeiro exercício considera um choque de política monetária equivalente a 1 ponto percentual (p.p.) em termos anualizados, com a trajetória de juros seguindo uma regra de Taylor nos períodos seguintes. Os Gráficos 1 e 2 exibem as trajetórias da inflação acumulada em quatro trimestres e do produto simuladas a partir da mediana dos parâmetros estimados (linha contínua), bem como intervalos de confiança para os mesmos baseados na incerteza a respeito dos valores estimados para os parâmetros do modelo.<sup>6</sup> A nova estimativa do Samba sugere maior impacto da política monetária sobre atividade e preços. Especialmente sobre preços, destaca-se também que o efeito máximo da política monetária é atingido quatro trimestres após o choque, contra um efeito de cinco a seis trimestres estimado na versão anterior do modelo.

**Gráfico 1 – Resposta da inflação a choques de política monetária**  
IPCA acumulado em 4 trimestres (p.p.)



**Gráfico 2 – Resposta da atividade econômica a choques de política monetária**  
Hiato do produto (%)



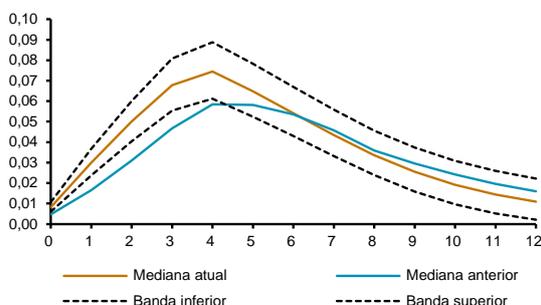
O segundo exercício considera um choque de 1 ponto percentual (p.p.) no câmbio real no primeiro período, com as demais variáveis seguindo as respostas endógenas do modelo. Os Gráficos 3 e 4 exibem, respectivamente, as trajetórias da inflação acumulada em quatro trimestres e do produto nesse cenário. As novas estimativas sugerem aumento no repasse do câmbio para os preços, além de caracterizar uma leve expansão na economia no horizonte de um ano. Tanto na estimativa antiga quanto na versão atual, em um horizonte de longo prazo, depreciações não esperadas no câmbio real geram redução do nível de atividade, em função do aumento dos custos marginais de produção das empresas, onde o bem intermediário importado é componente importante de sua estrutura.

<sup>6</sup> Os intervalos de confiança de 68% foram calculados usando simulações a partir da distribuição *a posteriori* dos parâmetros estimados.



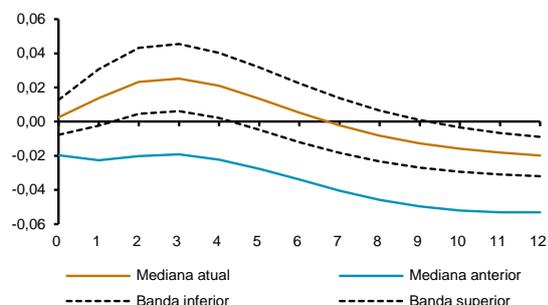
**Gráfico 3 – Resposta da inflação a choques de câmbio real**

IPCA acumulado em 4 trimestres (p.p.)



**Gráfico 4 – Resposta da atividade econômica a choques de câmbio real**

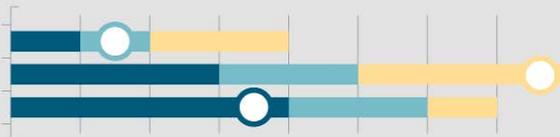
Hiato do produto (%)



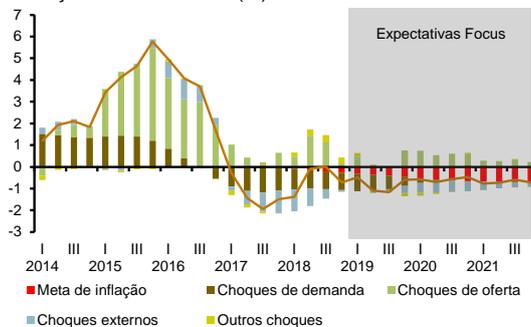
A decomposição histórica de choques procura interpretar o comportamento de desvios de uma variável em relação ao seu valor de longo prazo em termos dos choques do modelo. Os Gráficos abaixo mostram decomposições históricas para o período compreendido entre o primeiro trimestre de 2014 e o quarto trimestre de 2021 (até onde atualmente existe meta para a inflação definida pelo Conselho Monetário Nacional – CMN), iniciando o horizonte de projeções em 2019. As expectativas da pesquisa Focus para IPCA, meta da taxa do Sistema Especial de Liquidação e de Custódia (Selic), taxa de câmbio e crescimento do PIB<sup>7</sup> foram utilizadas como condicionamentos no modelo até o final de 2021, com o objetivo de se extrair choques consistentes com o cenário esperado pelos analistas de mercado. A decomposição da inflação, mostrada no Gráfico 5, ressalta os efeitos negativos recentes de choques de demanda, contribuindo para que a variável se encontre abaixo de seu valor de equilíbrio de longo prazo. Isso ocorre a despeito de surpresas negativas vindas do lado da oferta, observadas principalmente ao redor da metade de 2018.

Também merece destaque o papel das definições dos últimos dois anos sobre a meta para a inflação. Por hipótese, a decomposição histórica da inflação é realizada ao redor de um valor de 4,5%, correspondente à meta para a inflação mais frequente desde a implementação do regime. A presença de expectativas de inflação ancoradas nas metas estabelecidas para o período entre 2019 e 2021 – portanto, abaixo de 4,5% – permite a construção de uma estimativa dos impactos dos anúncios das novas metas. A nova estrutura do modelo, com choques antecipados sobre a mudança da meta para a inflação, caracteriza, inclusive, os efeitos contemporâneos de eventos que ainda ocorrerão no futuro. Assim, o estabelecimento, no ano de 2017, de metas menores para 2019 e 2020, em relação aos níveis estabelecidos para 2018, apresentou efeitos desinflacionários sobre a inflação e redução dos juros nominais já em 2018. Esse efeito foi potencializado para horizontes mais longos, com o anúncio, em 2018, da meta para 2021 em nível ainda mais baixo. Especificamente sobre os juros nominais, entre 2019 e 2021, estima-se que o efeito médio das surpresas com as reduções na meta de inflação anunciadas em 2018 e 2019 seja de uma queda de 0,4 p.p. em termos anualizados.

<sup>7</sup> Medianas das projeções Focus de 15.3.2019.

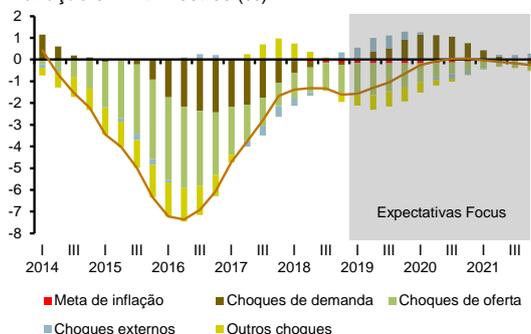


**Gráfico 5 – Decomposição histórica do IPCA**  
Variação em 4 trimestres (%)



Na decomposição histórica do PIB, apresentada no Gráfico 6 junto com as projeções apresentadas no Relatório Focus para o período a partir de 2019, choques externos, primeiro, e, posteriormente, de demanda, contribuem para que a economia mostre uma trajetória de recuperação gradual. Uma sequência importante de choques de oferta, principalmente aqueles definidos como de produtividade, constitui uma força persistente a reduzir o potencial de crescimento da economia brasileira.<sup>8</sup> O Gráfico mostra também efeitos negligenciáveis das alterações das metas de inflação na taxa de crescimento do PIB.

**Gráfico 6 – Decomposição histórica do PIB**  
Variação em 4 trimestres (%)

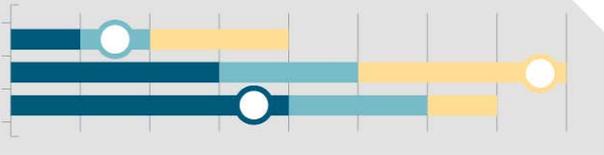


## Alterações nas equações de observação

A introdução de choques exógenos ao modelo nas equações de observação tem por objetivo capturar possíveis flutuações de alta frequência na construção das séries que não reflitam exatamente o momento do ciclo econômico.<sup>9</sup> Essas flutuações, ao não serem devidamente tratadas no modelo, poderiam provocar dois efeitos indesejáveis: i) flutuações econômicas

<sup>8</sup> Cabe ressaltar que os choques de produtividade citados já apareciam na decomposição histórica do PIB apresentada no boxe do Relatório de Inflação de setembro de 2015, com a última atualização do modelo Samba.

<sup>9</sup> Tecnicamente, estes choques são conhecidos na literatura por “erros de mensuração” ou “erros de observação”. Note-se que esses são termos técnicos, que não refletem nenhuma avaliação da qualidade das estatísticas em questão.



implausíveis decorrentes de possível interpretação pelo modelo de que são choques estruturais; e, ii) amplificação desnecessária da volatilidade das projeções do modelo. No primeiro caso, a literatura já reconhece a necessidade da inclusão de choques exógenos nas equações de observação dos salários nominais, já que sua ausência resulta em flutuações significativas dos *mark-ups* de salários e de um impacto no ciclo econômico muito acima do razoável.<sup>10</sup> Esta seção do estudo traz dois exercícios para caracterizar melhor o segundo efeito.

No primeiro exercício, são feitas projeções com o conjunto de informação de reuniões recentes do Copom, utilizando-se o modelo reestimado. A comparação da volatilidade das projeções para inflação e produto em relação à volatilidade das projeções efetivamente apresentadas nas reuniões do Copom mostra-se uma medida aproximada da redução do grau de variabilidade das projeções obtida com a nova especificação.<sup>11</sup> Os cálculos sugerem que a volatilidade das projeções é reduzida praticamente pela metade no horizonte de três anos. A mesma redução é observada nas projeções de inflação dois anos à frente; os ganhos para as projeções de PIB ficam na ordem de 30%. Nas projeções de curto prazo, a redução da volatilidade nas projeções de PIB chega a 20%, enquanto a volatilidade das projeções de inflação apresenta pequeno aumento, derivado, principalmente, de outras alterações no modelo de maior importância nessa dimensão, como a menor indexação dos preços administrados.

Em um segundo exercício, faz-se uso de um caso real de distorção nas projeções do modelo resultantes de um efeito meramente contábil e temporário nas estatísticas das Contas Nacionais. Em nota oficial de 30 de novembro de 2018, o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) destaca que a contabilização da formação bruta de capital fixo foi afetada no terceiro trimestre de 2018 “pela incorporação de bens destinados à indústria de óleo e gás decorrente de modificações no Regime Aduaneiro Especial de Exportação e Importação de Bens destinados às Atividades de Pesquisa e de Lavra das Jazidas de Petróleo e de Gás Natural (Repetro)”<sup>12</sup>. Ou seja, máquinas e equipamentos que já estavam em operação tiveram sua propriedade transferida de subsidiárias no exterior para empresas sediadas no Brasil, impactando positivamente a conta de investimentos no terceiro trimestre de 2018 sem que, efetivamente, novos investimentos houvessem sido realizados.<sup>13</sup>

Com a modificação da estrutura das equações de observação do modelo, pode-se simular<sup>14</sup> a trajetória da formação bruta de capital físico consistente com as demais informações incluídas,

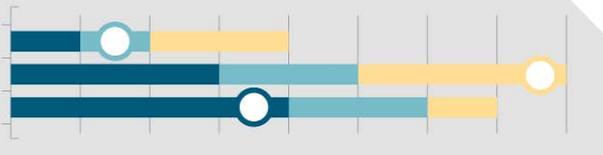
<sup>10</sup> Ver, por exemplo, Justiniano, Primiceri e Tambalotti (2011) e Galí, Smets e Wouters (2012).

<sup>11</sup> Como deve ser ressaltado, essa medida é apenas aproximada, já que as replicações das reuniões anteriores consideram todas as alterações de estrutura listadas no início deste estudo, e não apenas a inclusão dos choques exógenos nas equações de observação.

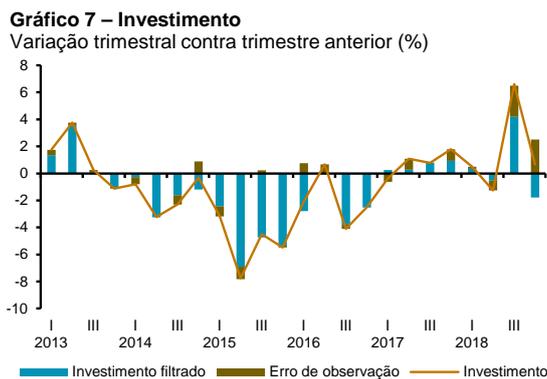
<sup>12</sup> <https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-sala-de-imprensa/2013-agencia-de-noticias/releases/23251-pib-cresce-0-8-e-chega-a-r-1-716-trilhao-no-3-tri-de-2018>.

<sup>13</sup> <http://agenciabrasil.ebc.com.br/economia/noticia/2018-11/indicador-de-investimentos-tem-crescimento-de-96-no-3o-trimestre>.

<sup>14</sup> De acordo com o IBGE, na comparação com o mesmo período de 2017, a formação bruta de capital fixo cresceu 7,8%, incluindo informações sobre o Repetro. Excluindo-se este fator, o crescimento, na mesma base de comparação, seria de 2,7%. Estas



filtrando dos dados o efeito exógeno do “choque” associado ao Repetro. O Gráfico 7 mostra a trajetória da formação bruta até o final de 2018 de acordo com os dados do IBGE (linha sólida), a contribuição dos efeitos dos choques exógenos (barras mais escuras) e a parte “explicada” pelo modelo (barras azuis). Como se pode observar, no terceiro trimestre de 2018, houve um aumento significativo da contribuição dos erros de observação no modelo.

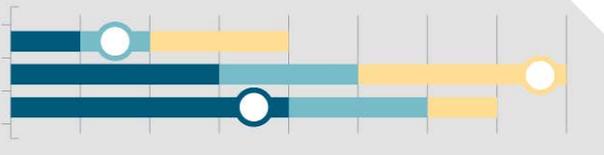


Este exercício considera um cenário contrafactual, onde o efeito dos choques exógenos é tratado pelo modelo Samba como acréscimo efetivo na formação bruta de capital fixo. Para isso, assume-se que toda a variação do investimento decorrente do choque exógeno seria transformada, no modelo, em um choque de tecnologia específico do investimento<sup>15</sup>, caso não fosse alterada a equação de observação. Com isso, são simuladas as possíveis consequências sobre as projeções de investimento, produto e preços. Esse procedimento é equivalente a calcular funções de resposta ao impulso do choque de investimento, para uma variação inicial igual ao valor simulado do choque exógeno.

Como os Gráficos 8 e 9 mostram, os efeitos sobre as projeções de investimento e produto são quantitativamente relevantes, com efeitos significativos até 12 trimestres após a ocorrência do choque. Os efeitos sobre os preços são de pequena magnitude, como pode-se observar no Gráfico 10, mas estatisticamente significativos em um horizonte de até dois anos.

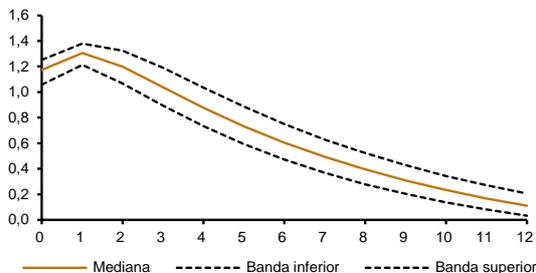
estimativas poderiam ser incorporadas no exercício mostrado aqui. Entretanto, preferiu-se mostrar aqui a capacidade do modelo em detectar este tipo de variação de alta frequência nos dados.

<sup>15</sup> Na terminologia do modelo em *Castro et al. (2011)*, o choque exógeno é simulado como uma variação no choque  $Z_t^I$ .



**Gráfico 8 – Resposta do investimento ao choque de investimento\***

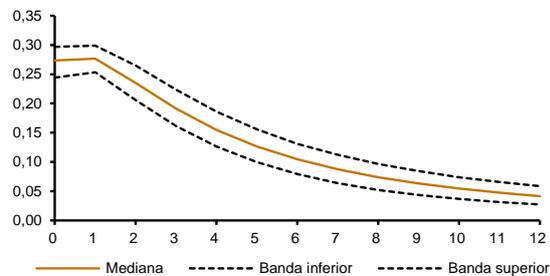
Hiato do investimento (%)



\* Na magnitude do erro de observação do terceiro trimestre de 2018.

**Gráfico 9 – Resposta da atividade econômica ao choque de investimento\***

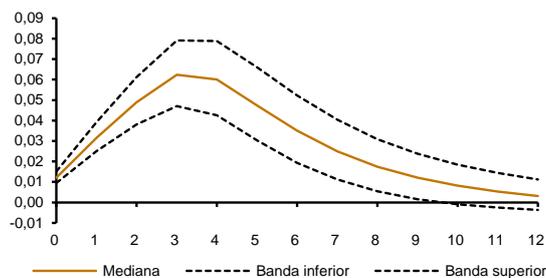
Hiato do produto (%)



\* Na magnitude do erro de observação do terceiro trimestre de 2018.

**Gráfico 10 – Resposta da inflação ao choque de investimento\***

IPCA acumulado em 4 trimestres (p.p.)



\* Na magnitude do erro de observação do terceiro trimestre de 2018.

Em resumo, buscando manter o nível de transparência que caracteriza as ações de política monetária, esse estudo atualiza as informações sobre o modelo Samba do BCB. As mudanças implementadas buscam aprimorar a capacidade preditiva e de análise do modelo em todas as suas dimensões, não se restringindo a um instrumento de projeção da inflação. Esse modelo faz parte do conjunto utilizado pelo Copom no seu processo de decisão, e está em constante processo de revisão e aperfeiçoamento.

## Referências

Castro, Marcos R. de, Gouvea, Solange N., Minella, André, Santos, Rafael, e Souza Sobrinho, Nelson F., 2011. “SAMBA: Stochastic Analytical Model with a Bayesian Approach,” Trabalhos para discussão número 239, Banco Central do Brasil.

Chetty, Raj, 2012. “Bounds on Elasticities with Optimization Frictions: A Synthesis of Micro and Macro Evidence of the Labor Supply,” *Econometrica*, 80(3): 969-1018.

Galí, Jordi, Smets, Frank, e Wouters, Rafael, 2012. “Unemployment in an Estimated New Keynesian Model,” *NBER Macroeconomics Annual*, University of Chicago Press, 26(1): 329-360.



Gouvêa, Raphael R., e Schettini, Bernardo P., 2015 “Empirical estimates for the Brazilian total imports equation using quarterly national accounts data (1996–2010),” *Economia*, 16(2): 250-271.

Justiniano, Alejandro, Primiceri, Giorgio E. e Tambalotti, Andrea, 2013. “Is There a Trade-Off between Inflation and Output Stabilization?,” *American Economic Journal: Macroeconomics*, American Economic Association, 5(2):1-31.

Minella, André e Souza Sobrinho, Nelson F., 2013. “Monetary Policy Channels in Brazil through the Lens of a Semi-Structural Model,” *Economic Modelling*, 30:405-419.

Morais, Igor Alexandre C. de, e Portugal, Marcelo S., 2005. “A Markov Switching Model for the Brazilian Demand for Imports: Analyzing the Import Substitution Process in Brazil,” *Brazilian Review of Econometrics*, Sociedade Brasileira de Econometria - SBE, 25(2):173-219.

Smets, Frank e Wouters, Rafael, 2007. “Shocks and Frictions in US Business Cycles: A Bayesian DSGE Approach,” *American Economic Review*, American Economic Association, 97(3): 586-606.