

## Novo modelo agregado de pequeno porte com estimação bayesiana

Com o propósito de auxiliar o processo decisório do Comitê de Política Monetária (Copom), o Banco Central do Brasil (BCB) utiliza diversos modelos para projetar variáveis macroeconômicas, construir cenários e simular efeitos de políticas econômicas. Na elaboração de suas projeções, os modelos são combinados com o exercício de julgamento e análise de um amplo conjunto de informações.

Este boxe apresenta um novo modelo, pertencente à categoria de modelos agregados semiestruturais de pequeno porte.<sup>1</sup> O modelo é estimado com técnicas bayesianas, que oferecem maior flexibilidade em relação a métodos econométricos tradicionais. Uma das principais características do novo modelo é a estimação endógena de variáveis econômicas não-observáveis, como o hiato do produto e a taxa de juros real neutra. Além disso, incorpora novos aperfeiçoamentos, como a representação endógena das expectativas de inflação e uma equação para a taxa de câmbio seguindo a paridade descoberta da taxa de juros.

### Especificação do novo modelo

Em linhas gerais, embora o novo modelo apresente inovações importantes, sua especificação segue uma linha semelhante à do modelo descrito no boxe “Modelo agregado de pequeno porte – 2017”<sup>2</sup>, mantendo a abordagem de focar nas principais relações econômicas relevantes para análise da política monetária. As principais equações do novo modelo são as seguintes: *i*) curva IS, que determina a trajetória do hiato do produto; *ii*) curva de Phillips para a inflação de preços livres; *iii*) regra de Taylor, que representa a função de reação de um banco central ao desvio das expectativas de inflação em relação à meta e à abertura do hiato do produto; *iv*) paridade descoberta de juros (*Uncovered Interest Parity – UIP*), que descreve a relação entre a variação na taxa de câmbio e o diferencial de juros internos e externos e um prêmio de risco; e *v*) curva de expectativas de inflação, que reagem endogenamente ao modelo.<sup>3</sup>

A curva IS descreve a dinâmica do hiato do produto como função de suas defasagens, do hiato de taxa de juros real *ex-ante*, da incerteza econômica e de variáveis fiscais externas, a saber:

$$(1) \quad h_t = \sum_{i \geq 1} \beta_{1i} h_{t-i} - \sum_{j > 0} \beta_{2j} \hat{r}_{t-j} - \sum_{k \geq 0} \beta_{3k} \hat{r}p_{t-k} + \sum_{l \geq 0} \beta_{4l} h_{t-l}^* - \sum_{m \geq 0} \beta_{5m} \hat{e}_{t-m} + \epsilon_t^h,$$

onde  $h$  é o hiato do produto (tratada como uma variável não-observável estimada no próprio modelo);  $\hat{r}$  é uma medida de hiato da taxa de juros real, que é obtida pela diferença da taxa real de juros esperada (expectativa da taxa do Sistema Especial de Liquidação e de Custódia (Selic) um ano à frente desinflacionada pela expectativa de inflação referente ao mesmo período) e a taxa de juros real neutra (tratada como uma variável não-observável);  $\hat{r}p$  representa uma medida do resultado primário do governo central corrigido

1/ A denominação “agregado” vem do procedimento de modelar a inflação de preços livres sem desagregações. O BCB tem publicado informações sobre a estrutura dos seus modelos pequenos, sendo as mais recentes os boxes “Modelo agregado de pequeno porte – 2017” (Relatório de Inflação de junho de 2017) e “Modelo de preços desagregados de pequeno porte – 2018” (Relatório de Inflação de junho de 2018).

2/ Relatório de Inflação de junho de 2017. Modelo estimado usando o Método Generalizado de Momentos (GMM, na sigla em inglês).

3/ Ressalta-se que os modelos utilizados para preços administrados seguem basicamente os apresentados em “Reformulação dos modelos de projeção de médio prazo dos preços administrados”, no Relatório de Inflação de setembro de 2017. Na elaboração de projeções, utilizam-se também as projeções dos especialistas.

pelo ciclo econômico e por *outliers*;  $h^*$  é uma medida do hiato do produto mundial relevante para a economia brasileira<sup>4</sup>;  $\hat{\epsilon}$  representa uma medida do grau de incerteza na economia<sup>5</sup>; e, por fim,  $\epsilon_t^i$  é um termo de erro.

A curva de Phillips para a inflação de preços livres é representada por:

$$(2) \quad \pi_t^{L,sa} = \sum_{i \geq 1} \alpha_{1i} \pi_{t-i}^{L,sa} + \left(1 - \sum_{i > 0} \alpha_{1i}\right) \pi_{t,t+4|t}^e + \sum_{j \geq 0} \alpha_{2j} \hat{\pi}_{t-j}^* + \sum_{k \geq 0} \alpha_{3k} \widehat{\Delta e}_{t-k} + \sum_{l \geq 0} \alpha_{4l} h_{t-l} + \sum_{m \geq 0} \alpha_{5m} \text{Clima}_t^2 + \epsilon_t^L,$$

onde  $\pi_t^{L,sa}$  é a inflação de preços livres do IPCA com ajuste sazonal;  $\pi_{t,t+4|t}^e$  é a expectativa em  $t$ , apurada pela pesquisa Focus, acerca da inflação esperada para quatro trimestres à frente;  $\hat{\pi}_{t-j}^*$  é o desvio da inflação externa, medida pelo Índice de *Commodities* Brasil (IC-Br) em reais, em relação à meta de inflação doméstica;  $\widehat{\Delta e}_{t-k}$  é o desvio da variação da taxa de câmbio (R\$/US\$) em relação à sua variação de longo prazo prevista pela teoria da paridade do poder de compra (PPC)<sup>6</sup>;  $\text{Clima}_t^2$  representa a variável que captura choques de oferta provenientes de anomalias climáticas<sup>7</sup>; e  $\epsilon_t^L$  é um termo de erro.

A função de reação do banco central, representada aqui por uma Regra de Taylor, é dada por:

$$(3) \quad i_t = \sum_{j \geq 1} \theta_j i_{t-j} + \left(1 - \sum_{j \geq 1} \theta_j\right) * [r^{eq} + \pi^{meta} + \theta_k (\pi_{t,t+4|t}^e - \pi^{meta}) + \theta_l h_t] + \epsilon_t^i,$$

onde  $i_t$  representa a taxa Selic nominal, que é função de seu próprio valor no passado e de respostas do banco central aos desvios das expectativas de inflação em relação à meta e ao hiato do produto. A taxa de juros real neutra é representada por  $r^{eq}$  e a meta para a inflação por  $\pi^{meta}$ .

A equação da paridade descoberta da taxa de juros, abaixo, relaciona a variação da taxa de câmbio ( $\Delta e_t$ ) com a variação do diferencial de juros ( $i_t^{dif}$ ) domésticos e externos (no caso, a *Fed Funds rate*), ajustados pelo prêmio de risco, medido nesta estimação pelo *Credit Default Swap* (CDS) de cinco anos para o Brasil. A variação esperada para o câmbio no longo prazo ( $\Delta e^{ppc}$ ) segue a PPC e é dada pelo diferencial entre a meta de inflação doméstica e a inflação de equilíbrio externa ( $\pi^{*ss}$ )<sup>8</sup>:

$$(4) \quad \Delta e_t = \Delta e^{ppc} - \beta_1 (i_t^{dif} - i_{t-1}^{dif}) + \epsilon_t^e \quad \text{onde:}$$

$$(5) \quad i_t^{dif} = i_t - (i_t^* + \alpha_1 \text{CDS}_t),$$

$$(6) \quad \Delta e^{ppc} = \pi^{meta} - \pi^{*ss}.$$

A equação das expectativas de inflação busca manter a coerência e consistência entre as expectativas de inflação medidas pela pesquisa Focus e as demais variáveis do modelo, capturando, por exemplo, alterações esperadas na pesquisa Focus caso haja mudanças em condicionantes relevantes, como na taxa de câmbio, na Selic, nos preços de *commodities*, na atividade econômica, entre outros. A equação é dada por:

$$(7) \quad \hat{\pi}_{t,t+4|t}^e = \sum_{j \geq 1} \varphi_{1j} \hat{\pi}_{t-j,t-j+4|t-j}^e + \varphi_2 E_t \hat{\pi}_{t,t+4} + \sum_{k \geq 1} \varphi_{3k} (\hat{\pi}_{t-k}) + \sum_{m \geq 0} \varphi_{4m} \hat{\pi}_{t-m}^{petro} + \sum_{n \geq 0} \varphi_{5n} \widehat{\Delta e}_{t-n} + \sum_{p \geq 0} \varphi_{6p} h_{t-p} + \epsilon_t^e,$$

4/ Calculado a partir da combinação do PIB de diversos países, onde o peso utilizado para cada país é baseado em sua participação nas exportações brasileiras.

5/ Na presente estimação, foi utilizado o Indicador de Incerteza da Economia – Brasil (IIE-Br), produzido pela Fundação Getulio Vargas, como desvio da sua média.

6/ Esse termo procura captar possíveis efeitos da taxa de câmbio que não passam pelo preço de *commodities*.

7/ Em virtude do papel que os fenômenos *El Niño* e *La Niña* exercem para o comportamento da inflação de alimentos, utiliza-se variável de controle que reflete as temperaturas do Oceano Pacífico. A série utilizada é o *Oceanic Niño Index* (ONI), provida pelo *Climate Prediction Center*, vinculado ao *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA) – EUA. Para mais detalhes, ver boxe “Modelo agregado de pequeno porte – 2017” (Relatório de Inflação de junho de 2017).

8/ Sobre a utilização da PPC em projeções, vide boxe “Condicionantes de câmbio nas projeções do Banco Central do Brasil e a paridade do poder de compra”, neste Relatório.

onde  $\hat{\pi}_{t,t+4|t}^e$  é o desvio de expectativa de inflação para os próximos quatro trimestres à frente apurada pela pesquisa Focus em relação à meta de inflação;  $E_t \hat{\pi}_{t,t+4}$  representa a expectativa de inflação consistente com o modelo (*model-consistent expectations*);  $\hat{\pi}_t$  é o desvio da inflação em relação à meta de inflação;  $\hat{\pi}_t^{petro}$  é o desvio da inflação do preço do barril de petróleo do tipo Brent em relação à meta de inflação externa de longo prazo; e  $\epsilon_t^e$  é um termo de erro de medida. Essa equação procura captar fatores que afetam as expectativas de inflação da pesquisa Focus, ao mesmo tempo que permite algum grau de ajustamento consistente com o modelo.

O novo modelo é implementado em representação de espaço de estados por meio de um filtro de Kalman, que permite a introdução de variáveis não-observáveis no modelo. Em particular, o modelo introduz o hiato do produto como uma variável não-observável, cuja trajetória incorpora informação de quatro variáveis de atividade econômica, referentes ao produto na economia e à ociosidade dos fatores de produção. Especificamente, são utilizados o Produto Interno Bruto (PIB), o Nível de Utilização da Capacidade Instalada (Nuci, calculado pela Fundação Getúlio Vargas – FGV), a taxa de desocupação (medida pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE) e as contratações líquidas medidas pelo Cadastro Geral de Empregados e Desempregados (Caged – Ministério da Economia). A especificação das equações de observação dessas quatro variáveis procura captar o componente cíclico comum a essas medidas de atividade, normalizadas pela variância do PIB:

$$(8) \quad fpib_t = h_t + \sigma^h \epsilon_t^{pib}$$

$$(9) \quad fnuci_t = \gamma_{nuci} h_t + \sigma^h \epsilon_t^{nuci}$$

$$(10) \quad femp_t = \gamma_{unemp} h_{t-1} + \sigma^h \epsilon_t^{unemp}$$

$$(11) \quad fcaged_t = \gamma_{caged} h_{t-1} + \sigma^h \epsilon_t^{caged},$$

onde  $fx_t$  representa o componente cíclico da variável  $x$  no período  $t$ ;  $\sigma^h$  é a variância do erro de mensuração, que, por suposição, é igual para todas as observáveis; e os termos de erro são dados por  $\epsilon$ . Ressalta-se, porém, que o modelo adiciona estrutura econômica ao condicionar o hiato também à sua relação com a inflação de preços livres (via curva de Phillips), expectativas de inflação de mercado, reação do banco central e a própria curva IS. Assim, a trajetória do hiato será influenciada pelo comportamento das variáveis do modelo, como o da inflação de preços livres.

A estimação foi realizada com dados trimestrais, considerando o período de 2003T4 a 2019T4. Excluiu-se, assim, o período inicial do regime de metas, caracterizado por elevada volatilidade, e o período atípico recente, afetado pela pandemia da Covid-19.

## Estimativa de variáveis não-observáveis

O Gráfico 1a mostra a trajetória do hiato do produto no período de 2003T4 a 2020T2, obtida com a formulação e estimação apresentada neste box.<sup>9</sup> Também apresenta o comportamento das quatro variáveis de atividade relacionadas. Note que a trajetória do hiato do produto não é determinada a partir de uma combinação fixa entre as variáveis. Em alguns momentos o hiato tem maior correspondência com a dinâmica do PIB e, em outros, com a dinâmica da utilização dos fatores de produção.

O comportamento do hiato está em linha com fatos estilizados da economia brasileira, como hiato exercendo pressões inflacionárias no período anterior ao início da crise global financeira, desinflacionárias no período

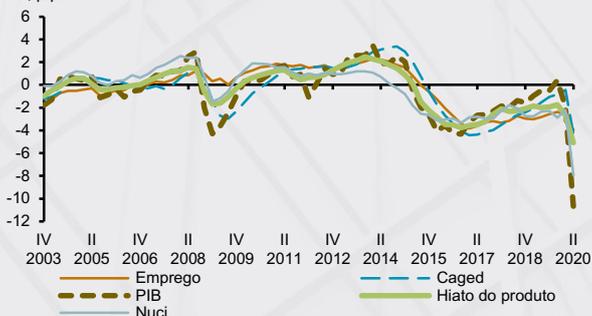
9/ A trajetória do hiato até 2020T2 foi obtida aplicando, sobre amostra estendida de dados de 2003T4 a 2020T2, o filtro de Kalman calibrado com parâmetros da estimação original com amostra 2003T4-2019T4.

imediatamente posterior e, depois, exercendo pressões inflacionárias nos anos seguintes. Também mostra o hiato exercendo pressões desinflacionárias nos últimos anos da amostra, embora em processo de fechamento até o final de 2019. Com o impacto da pandemia da Covid-19 neste ano, o hiato do produto teve significativa abertura em 2020T2. O Gráfico 1b apresenta a trajetória do hiato do produto junto com seu intervalo de confiança, evidenciando a incerteza envolvida na estimação dessa variável. Ressalta-se ainda que o BCB considera também outras medidas de hiato em seu processo decisório, obtidas por diferentes metodologias.

**Gráfico 1a – Hiato do Produto**

Hiato e variáveis observadas de atividade

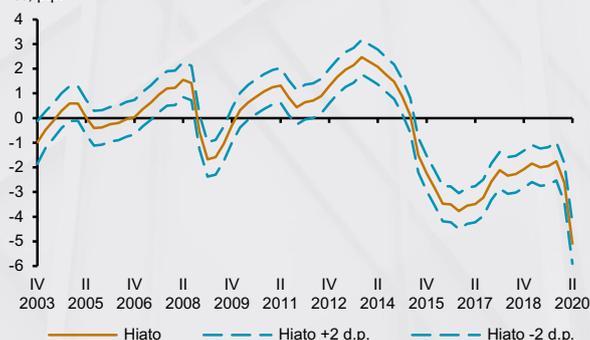
%, p.p.



Fontes: BCB, ME, IBGE e FGV

**Gráfico 1b – Hiato do produto e intervalos de confiança estimados**

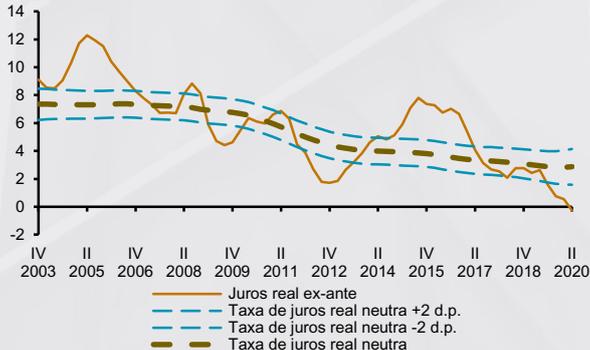
%, p.p.



Outro aspecto conveniente dessa metodologia é a possibilidade de estimar a trajetória da taxa Selic real neutra internamente e de forma consistente com a estrutura do modelo. A trajetória estimada com a especificação utilizada neste box é apresentada no Gráfico 2, juntamente com a taxa de juros real *ex-ante*, nesse caso, medida pela expectativa da taxa Selic ao longo de quatro trimestres à frente, desinflacionada pela expectativa de variação do IPCA para o mesmo período, ambas obtidas pela pesquisa Focus. Como indicativo de sensibilidade, o gráfico ainda apresenta o intervalo de mais ou menos dois desvios-padrão, obtido também por meio do filtro de Kalman. Observa-se um processo de queda da taxa de juros real neutra ao longo do tempo. Por outro lado, o tamanho do intervalo de confiança é um indicativo da elevada incerteza envolvendo

**Gráfico 2 – Taxa de juros real neutra estimada**

% a.a.



a estimativa dessa variável não-observável. Como no caso do hiato do produto, ressalta-se também que o BCB utiliza várias metodologias para o cálculo da taxa de juros real neutra.

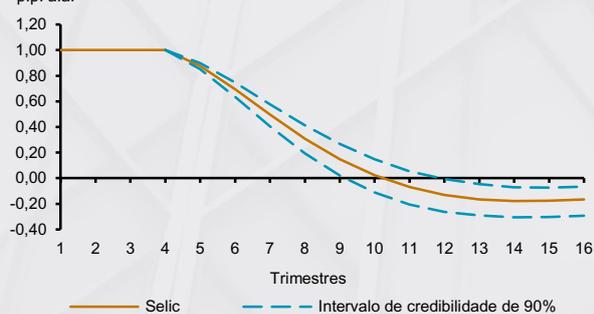
## Funções de respostas ao impulso

Para ilustrar as propriedades do modelo, os Gráficos 3 a 6 apresentam as funções de resposta ao impulso de quatro diferentes choques nas variáveis econômicas e seu impacto na inflação, medida pela variação do IPCA<sup>10</sup>. Os gráficos à esquerda apresentam o comportamento da variável em que o choque é aplicado e os da direita o comportamento da inflação acumulada em quatro trimestres. Para se chegar às respostas de inflação, as simulações são realizadas incorporando também o modelo de preços administrados<sup>11</sup>.

Na especificação estimada e apresentada neste boxe, um aumento temporário de 1 p.p. na taxa Selic, com duração de quatro trimestres, gera um efeito máximo de redução na inflação, acumulada em quatro trimestres, de aproximadamente 0,3 p.p. Por outro lado, uma depreciação cambial na ordem de 10% eleva a inflação acumulada em quatro trimestres em cerca de 0,7 p.p. no período de um ano após o choque (a inflação de preços livres aumenta em torno de 0,6 p.p. e a de preços administrados cerca de 1,1 p.p.).<sup>12</sup>

**Gráfico 3a – Taxa de juros Selic após choque de política monetária<sup>1/</sup>**

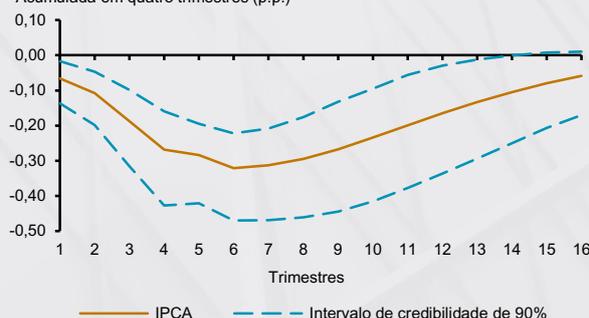
p.p. a.a.



1/ Taxa Selic mais alta em 1 p.p. durante quatro trimestres consecutivos e depois segue a regra de Taylor

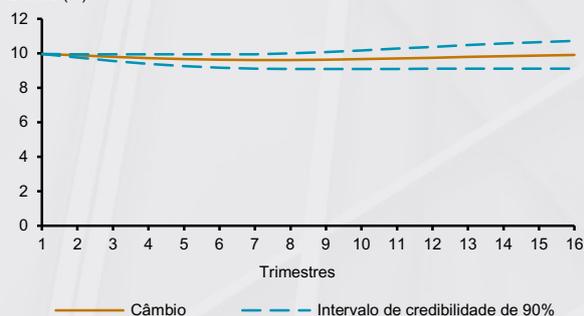
**Gráfico 3b – Resposta da inflação ao choque na taxa de juros**

Acumulada em quatro trimestres (p.p.)



**Gráfico 4a – Taxa de câmbio após choque de depreciação cambial<sup>1/</sup>**

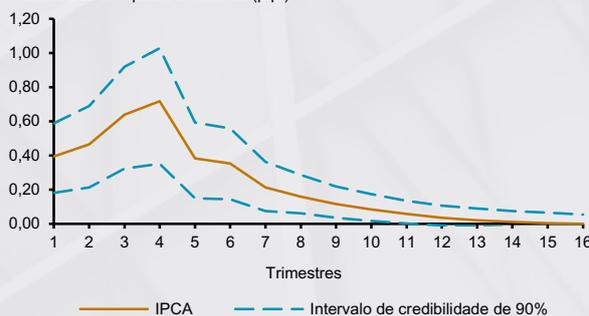
Desvio (%)



1/ Depreciação de 10% na taxa de câmbio em um trimestre

**Gráfico 4b – Resposta da inflação ao choque de depreciação cambial**

Acumulada em quatro trimestres (p.p.)

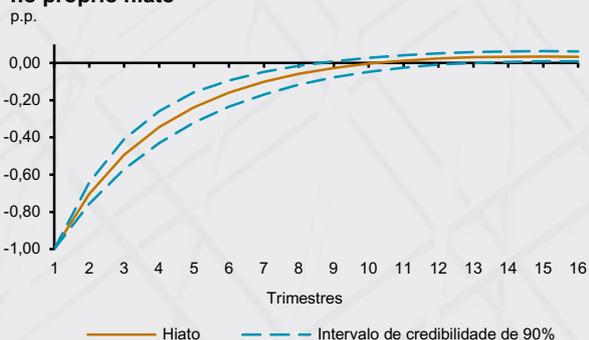


10/ As trajetórias de resposta ao impulso são apresentadas com intervalos de credibilidade de 90%, construídos a partir da distribuição posterior dos parâmetros obtida por estimação bayesiana.

11/ Ver boxe “Reformulação dos modelos de projeção de médio prazo dos preços administrados”, no Relatório de Inflação de setembro de 2017.

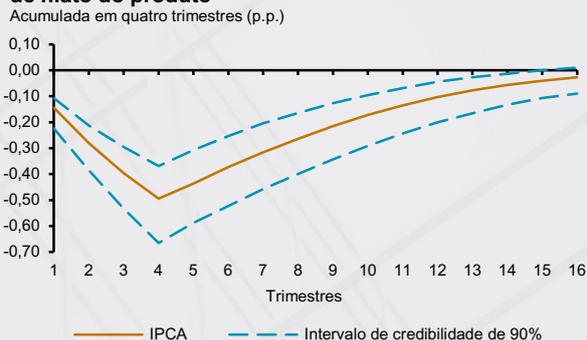
12/ A evolução da taxa de câmbio é também afetada pelo comportamento das variáveis do modelo depois do choque.

**Gráfico 5a – Hiato do produto após choque no próprio hiato<sup>1/</sup>**

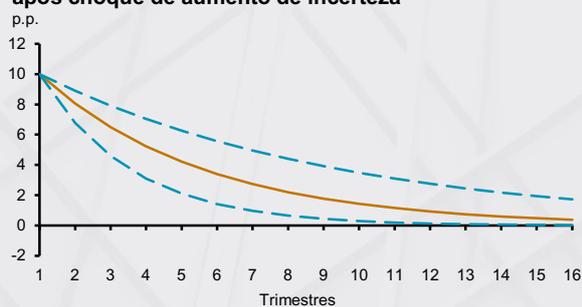


1/ Queda de 1 p.p. no hiato do produto doméstico durante um trimestre

**Gráfico 5b – Resposta da inflação ao choque de hiato do produto**

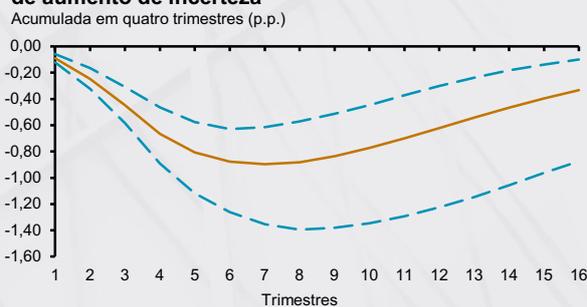


**Gráfico 6a – Nível de incerteza econômica após choque de aumento de incerteza<sup>1/</sup>**



1/ Elevação da incerteza econômica em 10 pontos por um trimestre e depois segue um processo AR(1)

**Gráfico 6b – Resposta da inflação ao choque de aumento de incerteza**



Além disso, uma queda do hiato do produto de 1 p.p. produz uma redução na inflação, acumulada em quatro trimestres, de aproximadamente 0,5 p.p. no período de um ano após o choque. Por fim, um choque no grau de incerteza econômico de 10 pontos, medido pelo desvio do IIE-Br em relação à sua média, atinge um efeito máximo em aproximadamente sete trimestres, produzindo uma redução na inflação acumulada em quatro trimestres de cerca de 0,9 p.p.<sup>13</sup>

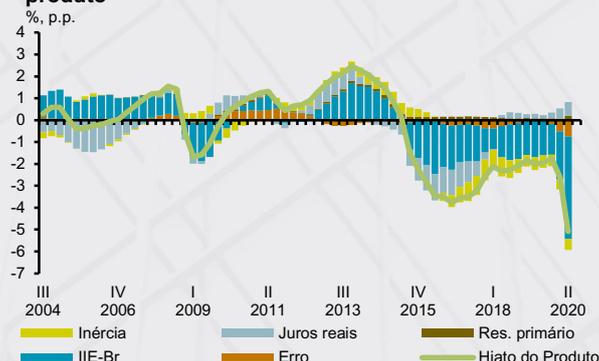
## Decomposição dos fatores do hiato do produto e da inflação de preços livres

Por fim, os Gráficos 7 e 8 mostram a decomposição do hiato do produto e da inflação de preços livres em seus fatores determinantes, de acordo com as curvas IS e de Phillips estimadas. Nessa formulação, a contribuição da inércia advinda de impactos gerados até os quatro trimestres imediatamente anteriores é incorporada dentro dos próprios fatores que a produziram. Assim, o fator inércia inclui apenas a propagação de impactos que ocorreram em períodos anteriores a esses trimestres.

Nessa especificação, o comportamento cíclico do hiato do produto está bastante associado ao grau de incerteza econômica, medida pelo IIE-Br, que, por sua vez, sintetiza um conjunto relevante de informações vinculadas à perspectiva econômica. Além disso, percebe-se o papel dos ciclos de política monetária, incluindo o caráter estimulativo da política atual.

13/ Ressalta-se que esse exercício não considera os possíveis efeitos da incerteza sobre a taxa de câmbio, que atuam no sentido de aumentar a inflação. Para um exercício de modelagem conjunta de variáveis econômicas tratadas como exógenas, mas cujos comportamentos podem estar relacionados entre si, ver o box “Condiccionamentos internamente consistentes para câmbio, incerteza econômica e risco-país”, do Relatório de Inflação de março de 2018.

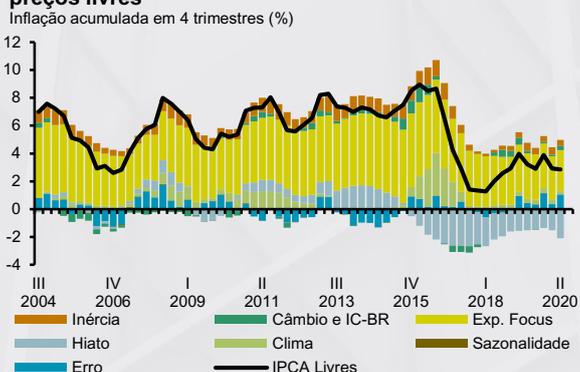
**Gráfico 7 – Decomposição do hiato do produto**



Em termos de decomposição da inflação de preços livres, nota-se grande participação das expectativas de inflação obtidas na pesquisa Focus. Entretanto, a interpretação desse resultado deve ser feita com cuidado. As expectativas refletem avaliações sobre o comportamento futuro de vários fatores que afetam a inflação, inclusive das variáveis que entram na curva IS (chamadas de *driving forces*). Por exemplo, expectativas de uma inflação baixa podem ser o resultado de avaliação de que o hiato do produto estará ou permanecerá negativo no futuro. Portanto, o efeito das expectativas também inclui, em maior ou menor medida, efeitos das outras variáveis da curva IS. Por outro lado, as expectativas também refletem o grau de credibilidade da autoridade monetária. Quando esta última é elevada, a reação das expectativas de inflação a choques na economia é de menor magnitude.

Interessante ainda é destacar o papel do hiato do produto nas flutuações da inflação de preços livres, tendo pressionado para baixo a inflação nos últimos anos. De acordo com essa decomposição, a queda nas expectativas de inflação e o hiato do produto negativo têm sido os principais fatores responsáveis pela redução de inflação verificada nos últimos anos.

**Gráfico 8 – Decomposição da inflação de preços livres**



## Considerações finais

Em resumo, visando manter o nível de transparência que caracteriza as ações de política monetária, este box apresenta informações sobre um novo modelo que está sendo incorporado pelo BCB em sua coleção de modelos semiestruturais agregados de pequeno porte. Esse e outros modelos utilizados pelo BCB para efetuar análises de cenários e projeções estão em constante revisão e aperfeiçoamento.