

# **Medindo a taxa de juros de Equilíbrio para o Brasil numa abordagem DSGE\***

Renan Alves (FGV/EESP)<sup>†</sup>

Marcelo Kfoury (FGV/EESP)<sup>‡</sup>

## **Abstract**

Nesse trabalho estimamos um modelo Novo Keynesiano de pequena economia aberta (DSGE) para o Brasil com o objetivo de avaliarmos a taxa de juros de equilíbrio e como fatores externos contribuem para explicar sua dinâmica no Brasil. Nossos resultados mostram que a taxa natural de juros apresentou volatilidade ao longo do tempo e uma trajetória de queda ao longo do período, tendência essa que se acentuou recentemente. Além disso, mostramos que os resultados são robustos para especificações alternativas de política monetária, como no caso em que a taxa nominal de juros responde a taxa de juros efetiva além do desvio da inflação e do hiato do produto.

Palavras-chave: Política Monetária, Pequena Economia Aberta, Taxa de Juros de Equilíbrio, Estimação Bayesiana

JEL Classification: C11, C13, E43, E58, F41

---

\* Este artigo foi financiado pela Rede de Pesquisa Aplicada da FGV.

<sup>†</sup> Aluno de doutorado do curso de Economia da FGV/EESP.

<sup>‡</sup> Professor e Coordenador do Centro Macro-Brasil da FGV/EESP

## 1. Introdução

O banqueiro central ao direcionar a política monetária avalia o comportamento da economia em relação a algum parâmetro que ele segue como referência (*benchmark*). Como por exemplo, definir se aumenta ou diminui a taxa de juros nominal de curto prazo, a depender dos desvios da inflação com relação a sua meta e dos desvios do produto em relação ao seu nível potencial. Deste modo, a taxa de juros nominal determinada pelo banco central oscila ao redor deste *benchmark*, o qual não é observado de forma direta nos dados, mas pode ser determinado a partir de uma estrutura teórica. Esse referencial é chamado de taxa natural de juros.

Um *benchmark* importante para o *policymaker* é como a economia estaria se por acaso não houvesse rigidez de preços, ou seja, preços totalmente flexíveis. Referimos de taxa natural de juros e nível natural do produto (ou potencial), quando preços e salários são flexíveis, conforme Woodford (2003). A partir desta visão, a política monetária é formulada em termos de desvios dessas taxas naturais, logo em termos de hiato do produto e hiato da taxa de juros.<sup>1</sup>

No caso dos modelos Novos Keynesianos, o hiato da taxa de juros é fundamental para determinar o nível de produto e de inflação, Gali (2015).<sup>2</sup> Se o hiato da taxa de juros for positivo, o produto está abaixo do seu nível potencial. A explicação para isso é que as pessoas estão inclinadas a adiar suas decisões de gastos para aproveitar os retornos mais altos da economia. Com isto, o hiato do produto ficará negativo, o que não pressionará para cima preços e salários, devido a uma demanda menor. De maneira análoga, se o hiato dos juros é negativo, o produto está acima do nível potencial, o que pressionará a inflação e salários para cima, em razão de uma maior demanda.

Um grande obstáculo no uso do hiato da taxa de juros como orientação para política monetária é que a taxa natural de juros não é observada diretamente nos dados, o que limita a sua utilização como um alvo a ser perseguido pela autoridade monetária. Além disso, a taxa natural de juros não é constante, ela flutua ao longo do tempo e responde a choques de tecnologia e de preferências, Gali (2015).

---

<sup>1</sup> O hiato do produto é definido como a diferença entre o produto e seu nível potencial, enquanto o hiato de juros é a diferença entre a taxa nominal de juros e a sua taxa natural.

<sup>2</sup> Os modelos Novo Keynesiano (ou modelos DSGE) usam como base o modelo de ciclo de negócios real e adiciona a esses preços rígidos, uma forma de rigidez nominal que permite que choques puramente nominais tenham efeitos reais e que altera a resposta da economia a choques reais de uma maneira que fornece um papel não trivial para a política de estabilização ativa.

A taxa natural de juros é uma variável chave para o Banco Central, pois esta é vista como uma taxa de equilíbrio. Como esta taxa é um indicador fundamental de uma apropriada política monetária, em especial em um regime de metas de inflação, é adequado ter uma boa estimativa dela e consequentemente do hiato da taxa de juros, para indicar se a política monetária adotada foi contracionista ou expansionista. Em particular, no Brasil, onde a taxa de juros era tida como uma das maiores taxas entre os países emergentes e que nos últimos anos tem apresentado queda.

O objetivo do artigo é estimar a taxa natural de juros, para a economia brasileira, por meio de um modelo Novo Keynesiano. O modelo incorpora as principais características dos modelos DSGE de pequena economia aberta e possibilita investigar como choques externos afetam a taxa natural no Brasil, durante o período pós metas de inflação.

Iremos seguir a proposta por Grossman et al. (2019), que permite que choques externos afetem a taxa natural de juros. Com a nova equipe econômica assumindo o comando, a partir de 2019, e um novo mix de política econômica, há uma mudança na economia brasileira, com uma tendência a redução de gastos do governo e maior abertura da economia.

Estendemos os artigos de ciclos de negócios, para economia aberta de Gali e Monacelli (2005) e Lubik e Schorfheide (2007), permitindo choques de preferência, choques de tecnologia e choques externos. Para avaliarmos a taxa natural de juros, utilizamos três diferentes regras de política monetária. A primeira, seguindo a regra de Taylor padrão, com o banco central respondendo a desvio da inflação e do hiato do produto. A segunda o banco central responde a taxa natural de juros e a inflação e a terceira regra é uma combinação as duas anteriores.

Nossos principais resultados apontam uma variação temporal na taxa natural de juros durante todo o período e uma trajetória de queda. Essa queda da taxa neutra acompanha o movimento da taxa básica de juros da economia, a taxa Selic. A média da taxa natural de juros varia nas últimas três gestões do Banco Central e apresenta resultados distintos para as diferentes regras de política monetária.

O artigo está organizado em sete seções, incluindo a introdução. A seção 2 explica onde nosso artigo está inserido na literatura sobre estimação de taxa natural de juros. Na seção 3 apresentamos o modelo de pequena economia aberta seguindo Gali e Monacelli (2005) e Lubik e Schorfheide (2007). A seção 4 descreve nossa base de dados utilizada no artigo. A seção 5 apresenta a estratégia empírica de estimação da taxa neutra. Na seção 6 comentamos os principais resultados do nosso modelo. E por fim a seção 7 nossas considerações finais.

## 2. Revisão de Literatura

O maior problema encontrado na literatura é que a taxa neutra de juros não é observada. Por conta disso, diversas técnicas econométricas são utilizadas para estimar a taxa natural de juros. Em um artigo seminal sobre o assunto, Laubach e Williams (2003) (chamarei de LW daqui em diante) estimam a taxa de equilíbrio de médio prazo os EUA, e encontram que as estimativas exibem bastante variação ao longo do tempo. Estes modelos da classe LW são popularmente chamados de modelos semi estruturais.<sup>3</sup>

Nesta classe de modelos LW, a taxa natural de juros é uma variável latente que depende da taxa de crescimento da tendência do produto potencial e uma raiz unitária que captura outros determinantes. A taxa natural é inferida a partir da relação estrutural que conecta o hiato do produto, a inflação e os desvios da taxa real de juros do seu nível natural, implicado por uma curva IS e uma curva de Phillips. Essa é uma literatura pioneira e que gerou uma grande literatura desde então.<sup>4</sup>

A segunda classe de artigos utiliza modelos estruturais para estimar a taxa neutra de juros. Estes são conhecidos por modelos de equilíbrio geral dinâmicos estocásticos (DSGE). Como comentado na introdução, a taxa natural de juros é um conceito crucial nessa classe de modelos. Essa taxa representa a taxa de retorno real que é requisitado para manter a produto no seu nível potencial, ou seja, o nível de produto consistente com preços e salários flexíveis e *markups* constantes no mercado de bens e de trabalho.<sup>5</sup>

Justiniano e Primiceri (2011) utilizam um modelo DSGE de média escala para estudar a evolução da taxa de juros de equilíbrio, para economia americana.<sup>6</sup> Os resultados encontrados indicam que a taxa natural de juros apresenta um comportamento decrescente e bastante variação

---

<sup>3</sup> Laubach e Williams (2003) enfatizam que mudanças na taxa natural de juros estão associadas a mudanças na tendência de crescimento do produto. Além disso, ressaltam que as estimativas variam no tempo e são muito sujeitas a erros de medida que eles chamam de tempo real.

<sup>4</sup> Diversos trabalhos tem aplicado a mesma metodologia, como Mésonnier e Renne (2007) para zona do Euro; Wynne e Zhang (2018), com um modelo de pequena economia aberta, usando dados de EUA e Japão; Us (2018) mensura a taxa neutra para a Turquia; Holston et al. (2017) estimam a taxa neutra para quatro economias avançadas (Canadá, EUA, Reino Unido e Zona do Euro) e encontram que as estimativas da taxa natural quanto da tendência do produto variam juntos; Lewis e Vazquez-Grande (2018), estendem o modelo LW ao explorar especificações alternativas para a taxa neutra.

<sup>5</sup> Um aspecto conveniente de utilizar modelos DSGE para avaliar a resposta ótima da política monetária quem está encara um aumento ou uma redução na taxa neutra de juros, ao contrário dos modelos semi estruturais ou modelos que só utilizam séries temporais.

<sup>6</sup> Estes modelos DSGE de média escala apresentam diversas fricções nominais, como rigidez de salários e preços, fricções reais, como formação de hábito, custo de ajustamento do capital, nível de utilização da capacidade, além de vários choques estruturais, como choques de produtividade, eficiência marginal do investimento, *markup* de preços e salários.

ao longo dos anos e que a partir do final de 2008 encontra-se abaixo de zero. Barsky et al. (2014) utilizando do famoso artigo de Smets e Wouters (2007) (modelo DSGE de média escala) mostram que estimativas da taxa neutra de juros para os EUA tem um comportamento altamente pró cíclico, com grandes variações e com uma queda acentuada durante a Grande Recessão.

Del Negro et al. (2017) também utilizando o modelo de Smets e Wouters (2007), adicionando fricções financeiras e um prêmio de liquidez sobre os títulos do Tesouro americano, o que eles chamam de *convenience yield*. Os resultados do artigo mostram que os fatores de liquidez, conjuntamente com a tendência de produtividade são os principais fundamentos por trás dos movimentos de baixa frequência na taxa natural de juros no modelo DSGE.<sup>7</sup>

Para o caso brasileiro, também temos trabalhos que estimam a taxa neutra de juros usando tanto modelos estruturais, quanto semi estruturais.<sup>8</sup> Barcello Neto e Portugal (2009) utilizam tanto filtros estatísticos quanto o modelo LW para estimar o nível da taxa natural de juros no Brasil. Encontram que a taxa neutra é demasiadamente alta, em comparação com padrões internacionais, além de indicar que a política monetária brasileira tem sido excessivamente rígida com o intuito de perseguir a meta de inflação, no período estudado no artigo.

Barbosa et al. (2016) estuda a taxa de juros de equilíbrio da economia brasileira, supondo que se trata de uma pequena economia aberta. Isto permite determinar a taxa natural de juros e de seus componentes: juros internacionais; prêmio de risco país, prêmio de risco cambial; taxa de retorno das LFTs. As evidências encontradas no artigo sugerem que durante o primeiro mandato da ex presidente Dilma Rousseff o Banco Central foi mais leniente em relação a inflação, em comparação com os demais anos analisados.

Palma e Portugal (2017) é o único artigo a utilizar um modelo DGSE para estimar a taxa natural de juros no Brasil. Os resultados encontrados apontam uma tendência de queda na taxa natural e que o Banco Central tem adotado uma política monetária mais conservadora, até meados de 2007, embora o hiato de juros negativo após esse período mostra uma política monetária mais frouxa e mais leniente em relação a inflação.

---

<sup>7</sup> Outros artigos também utilizaram modelos DSGE para estimar a taxa neutra de juros para a economia americana. Edge et al. (2008), Andrés et al. (2009), Bjornland et al. (2011), Canzoneri et al. (2015), Cúrdia et al. (2015), Neri e Gerali (2019). E para a Zona do Euro Edge et al. (2008), Andrés et al. (2009), Hristov (2016), Neri e Gerali (2019).

<sup>8</sup> Entretanto a absoluta maioria dos artigos utilizam a segunda abordagem.

### 3. Um modelo de pequena economia aberta

Nesta seção descreveremos as derivações das equações estruturais implicada pelo modelo proposto por Gali e Monacelli (2005) e Lubik e Schorfheide (2007). Adicionamos um choque na curva de Phillips para conseguir capturar melhor a dinâmica da inflação e um choque de preferência para contribuir na variação da taxa natural de juros.<sup>9</sup>

#### 3.1 As Famílias

Cada família no país doméstico  $i$  resolve maximizar a utilidade intertemporal:

$$E_0 \sum_{t=0}^{\infty} \beta^t \varepsilon_t^c \left[ \frac{C_t^{1-\sigma}}{1-\sigma} - \frac{N_t^{1-\varphi}}{1-\varphi} \right]$$

onde  $N_t$  representa as horas trabalhadas,  $\sigma, \varphi > 0$  são o inverso da elasticidade de substituição intertemporal e o inverso da elasticidade de Frisch da oferta de trabalho, respectivamente

$C_t$  representa uma cesta de consumo:

$$C_t = \left[ (1-\alpha)^{1/\eta} C_{H,t}^{\frac{\eta-1}{\eta}} + \alpha^{1/\eta} C_{F,t}^{\frac{\eta-1}{\eta}} \right]^{\frac{\eta}{\eta-1}}$$

onde  $C_{h,t}$  e  $C_{F,t}$  são os agregados Dixit-Stiglitz dos bens produzidos domesticamente e importados, respectivamente, dados por:

$$C_{H,t} = \left[ \int_0^1 C_{H,t}(i)^{\frac{\varepsilon-1}{\varepsilon}} di \right]^{\frac{\varepsilon}{\varepsilon-1}} \text{ e } C_{F,t} = \left[ \int_0^1 C_{F,t}(i)^{\frac{\varepsilon-1}{\varepsilon}} di \right]^{\frac{\varepsilon}{\varepsilon-1}}$$

em que  $\varepsilon$  é a elasticidade de substituição entre bens produzidos em cada país e  $\eta$  é a elasticidade de substituição entre produtos domésticos e importados e  $\alpha > 0$  mede a substituição entre bens domésticos e importados.

A otimização ocorre sujeito a restrição orçamentária:

$$P_t C_t + E_t \{ \Lambda_{t,t+1} D_{t+1} \} \leq W_t N_t + D_t + T_t + \Pi_t$$

---

<sup>9</sup> Parecido com a contraparte em economia fechada, o modelo apresenta uma curva IS e uma curva de Phillips *forward looking*, o que sintetiza o comportamento do setor privado. A regra de política monetária captura a resposta da política monetária a evolução da economia.

Onde  $W_t$  é o salário nominal,  $P_t$  é o nível de preços sobre a cesta de consumo  $C_t$ ,  $\Pi_t$  representa os lucros (ou perdas) providos da propriedade total das empresas nacionais (produtores finais de bens e produtores de bens intermediários),  $T_t$  são os impostos do tipo lump-sum levantado pelo governo do país doméstico  $i$ .  $D_t$  refere-se aos ativos das famílias, podendo ser títulos domésticos ou estrangeiros para possíveis estados da natureza e  $\Lambda_{t,t+1}$  é o preço contingente do estado desses títulos da Arrow-Debreu.

A escolha entre bens domésticos e importados em cada período implica as seguintes funções de demanda:

$$C_{H,t} = (1 - \alpha) \left( \frac{P_{H,t}}{P_t} \right)^{-\eta} C_t \text{ e } C_{F,t} = \alpha \left( \frac{P_{F,t}}{P_t} \right)^{-\eta} C_t$$

A escolha das famílias para a alocação ótima dos bens leva a:

$$C_{H,t}(i) = \left( \frac{P_{H,t}(i)}{P_{H,t}} \right)^{-\varepsilon} C_{H,t} \text{ e } C_{F,t}(i) = \left( \frac{P_{F,t}(i)}{P_{F,t}} \right)^{-\varepsilon} C_{F,t}$$

Os bens e serviços são substitutos perfeitos, o que implica que cada firma possui algum poder de mercado. Isto se reflete em uma curva de demanda negativamente inclinada. Com isso temos os índices de preços. O índice de preço dos bens produzidos domesticamente e os importador, ambos em moeda doméstica:

$$P_{H,t} = \left[ \int_0^1 P_{H,t}(i)^{1-\varepsilon} di \right]^{\frac{1}{1-\varepsilon}} \text{ e } P_{F,t} = \left[ \int_0^1 P_{F,t}(i)^{1-\varepsilon} di \right]^{\frac{1}{1-\varepsilon}}$$

E  $\varepsilon_t^c$  é um choque de preferência e segue um AR(1) estacionário:

$$\ln(\varepsilon_t^c) = \rho_c \ln(\varepsilon_{t-1}^c) + \eta_t^c$$

As condições de primeira ordem para o problema de otimização da família são:

As condições de primeira ordem do problema de otimização das famílias são:

$$\frac{W_t}{P_t} = C_t^\sigma N_t^\varphi$$

$$C_t^{-\sigma} \varepsilon_t^c = \beta E_t \left[ \varepsilon_{t+1}^c C_{t+1}^{-\sigma} R_t \frac{P_t}{P_{t+1}} \right]$$

A taxa de juros nominal de curto prazo  $R_t = \frac{1}{E_t[\Lambda_{t,t+1}]}$ .

## 3.2 Firmas

### 3.2.1 Firmas produtoras de bens final

As firmas produtoras domésticas de bens final utilizam um contínuo de bens intermediários de acordo com uma tecnologia com elasticidade constante de substituição (CES). A firma doméstica  $j$  escolhe produzir  $Y_t(j)$  para maximizar o lucro por período:

$$\max_{Y_t(j)} P_{H,t} \left( \int_0^1 Y_{t(j)}^{\frac{\varepsilon-1}{\varepsilon}} dj \right)^{\frac{\varepsilon}{\varepsilon-1}} - \int_0^1 P_{H,t}(j) Y_t(j) dj$$

Tomando como dado  $P_{H,t}(j)$ , resolvendo o problema de otimização da firma produtora doméstica de bem final, obtemos a demanda por bens intermediários da firma  $j$ :

$$Y_t(j) = \left( \frac{P_{H,t}(j)}{P_{H,t}} \right)^{-\varepsilon} Y_t$$

Onde  $Y_t = \left( \int_0^1 Y_{t(j)}^{\frac{\varepsilon-1}{\varepsilon}} dj \right)^{\frac{\varepsilon}{\varepsilon-1}}$  mede a produção total de bens final da economia doméstica e

$P_{H,t} = \left( \int_0^1 P_{H,t}(j)^{1-\varepsilon} dj \right)^{\frac{1}{1-\varepsilon}}$  é o índice de preços dos bens produzidos domesticamente<sup>10</sup>.

### 3.2.2 Firmas produtoras de bens intermediários

Há um contínuo de firmas domésticas operando em concorrência monopolística, indexados por  $j \in [0,1]$ , utilizando uma tecnologia linear no trabalho e sujeitas a um choque de produtividade  $A_t$ :

$$Y_{H,t}(j) = A_t N_t(j)$$

Onde a produtividade agregada,  $A_t$ , cresce a taxa,  $z_t = \ln \left( \frac{A_t}{A_{t-1}} \right)$  e a taxa de crescimento segue um processo AR(1):

$$z_t = \rho_z z_{t-1} + \eta_t^z$$

O custo marginal real para todos os produtores domésticos é dado por:

$$MC_t = \frac{W_t}{P_{H,t} A_t}$$

---

<sup>10</sup> Onde  $P_t = \left[ (1-\alpha)(P_{H,t})^{1-\eta} + \alpha(P_{F,t})^{1-\eta} \right]^{1/(1-\eta)}$ .



Assim, podemos escrever o lucro da firma doméstica  $i$  como:

$$\Pi_{H,t} = y_{H,t}(j)(P_{H,t}(j) - P_{H,t}MC_t)$$

As firmas produtoras de bens intermediários determinam seus preços de forma infrequente, baseado em calvo (1983). Com uma probabilidade  $\theta$  a firma mantém seu preço fixado como no período anterior. Logo, em cada período há uma fração  $(1 - \theta)$  de firmas reajustam seus preços de maneira ótima, enquanto as firmas restantes  $\theta$  mantem o preço do período anterior. As firmas que são capazes de escolher seus preços otimamente no período  $t$  escolhem um novo preço  $P_{H,t}(j)$  para maximizar o valor presente esperado dos lucros futuros:

$$\max_{P_{H,t}(j)} E_t \sum_{j=0}^{\infty} \theta^j \Lambda_{t,t+j} [P_{H,t+j}(j)Y_{t+j}(j) - MC_{t+j}P_{H,t+j}(j)]$$

Sujeito a:

$$Y_{t+j}(j) = \left( \frac{P_{H,t+j}(j)}{P_{H,t+j}} \right)^{-\varepsilon} Y_{t+j}$$

$$\Lambda_{t,t+j} = \beta^j E_t \left[ \frac{\varepsilon_{t+j}^c C_{t+j}^{-\sigma} P_t}{\varepsilon_{t+1}^c C_t^{-\sigma} P_{t+j}} \right]$$

Resolvendo a condição de primeira ordem, temos:

$$1 + \pi_{H,t}^{\#} = \frac{\varepsilon}{\varepsilon - 1} (1 + \pi_{H,t}) \frac{c_{1t}}{c_{2t}}$$

$$c_{1t} = C_t^{-\sigma} MC_t Y_t + \alpha \beta E_t \left[ \frac{\varepsilon_{t+j}^c}{\varepsilon_{t+1}^c} (1 + \pi_{H,t+1})^{\theta} c_{1t+1} \right]$$

$$c_{2t} = C_t^{-\sigma} Y_t + \alpha \beta E_t \left[ \frac{\varepsilon_{t+j}^c}{\varepsilon_{t+1}^c} (1 + \pi_{H,t+1})^{\theta-1} c_{2t+1} \right]$$

Onde  $\pi_{H,t}^{\#} = P_{H,t}^{\#}/P_{H,t} - 1$  é a taxa de inflação dos preços ótimos escolhidos em  $t$ , com  $P_{H,t}^{\#}$  sendo o preço ótimo atualizado da firma doméstica. Como o índice de preços agregados para os produtos domésticos evolui de acordo com :  $P_{H,t} = \left[ (1 - \theta) P_{H,t}^{\# 1-\varepsilon} + \theta P_{H,t-1}^{1-\varepsilon} \right]^{\frac{1}{1-\varepsilon}}$ , a inflação doméstica é

$\pi_{H,t} = P_{H,t}/P_{H,t-1} - 1$  evolui de acordo com:

$$(1 + \pi_{H,t})^{1-\theta} = (1 - \alpha)(1 + \pi_{H,t}^{\#})^{1-\theta}$$

### 3.3 Equilíbrio Geral – *Market Clearing*

O equilíbrio no mercado de bens e serviços requer igualdade entre a produção doméstica e a soma do consumo doméstico com as exportações:

$$Y_t = C_{H,t} + C_{H,t}^*$$

onde  $C_{H,t}^*$  é a demanda externa pelos bens produzidos domesticamente. A função de demanda ótima para  $C_{H,t}^*$  é dada por:

$$C_{H,t}^* = \alpha \left( \frac{P_{H,t}/S_t}{P_t^*} \right)^{-\eta} C_t^*$$

onde  $S_t$  é a taxa nominal de câmbio. A economia externa é assumida ser próximo de uma pequena economia aberta, logo  $C_t^* = Y_t^*$ .

### 3.4 Estacionarizando o modelo<sup>11</sup>

Dado que é assumido que a produtividade doméstica agregada possui uma tendência estocástica, estacionarizamos o modelo definindo  $Y_{A,t} = Y_t/A_t^{\sigma^{-1} + \sigma^{-1}\varphi/1 + \sigma^{-1}\varphi}$ ,  $C_{A,t} = C_t/A_t^{\sigma^{-1} + \sigma^{-1}\varphi/1 + \sigma^{-1}\varphi}$ ,  $Y_{A,t}^f = Y_t^f/A_t^{\sigma^{-1} + \sigma^{-1}\varphi/1 + \sigma^{-1}\varphi}$ ,  $N_{A,t} = N_t/A_t^{\sigma^{-1}-1/1 + \sigma^{-1}\varphi}$ ,  $W_{A,t} = W_t/A_t$ . Transformando as condições de primeira ordem do consumidor, teremos:

$$C_{A,t}^\sigma N_{A,t}^\varphi = W_{A,t}/P_t$$

$$C_{A,t}^{-\sigma} \varepsilon_t^c = \beta E_t \left[ \varepsilon_{t+1}^c C_{A,t+1}^{-\sigma} R_t \frac{P_t}{P_{t+1}} \frac{1 + \varphi}{1 + \varphi/\sigma} z_{t+1} \right]$$

O custo marginal real fica:

$$MC_t = \frac{W_{A,t}}{P_t}$$

Vamos definir  $c_{1A,t} = c_{1t} A_t^{-(\sigma^{-1}-1)(1+\varphi)/(1+\varphi/\sigma)}$  e  $c_{2A,t} = c_{2t} A_t^{-(\sigma^{-1}-1)(1+\varphi)/(1+\varphi/\sigma)}$ .

Podemos transformar a condição de primeira ordem da firma que atualiza seu preço:

$$1 + \pi_{H,t}^\# = \frac{\varepsilon}{\varepsilon - 1} (1 + \pi_{H,t}) \frac{c_{1A,t}}{c_{2A,t}}$$

<sup>11</sup> Para garantir estacionaridade do modelo todas as variáveis são expressas em termos do desvio percentual com respeito a  $A_t^{\sigma^{-1} + \sigma^{-1}\varphi/1 + \sigma^{-1}\varphi}$ .

$$c_{1A,t} = C_{A,t}^{-\sigma} M C_t Y_{A,t} + \alpha \beta E_t \left[ \frac{\varepsilon_{t+j}^c}{\varepsilon_{t+1}^c} (1 + \pi_{H,t+1})^\theta c_{A1,t+1} \left( \frac{(1 + \varphi)(\sigma^{-1} - 1)}{1 + \varphi/\sigma} \right)^{z_{t+1}} \right]$$

$$c_{A2,t} = C_{A,t}^{-\sigma} Y_{A,t} + \alpha \beta E_t \left[ \frac{\varepsilon_{t+j}^c}{\varepsilon_{t+1}^c} (1 + \pi_{H,t+1})^{\theta-1} c_{2A,t+1} \right]$$

Podemos ainda definir  $C_{AH,t} = \frac{C_{H,t}}{A_t^{\sigma^{-1} + \sigma^{-1}\varphi/1 + \sigma^{-1}\varphi}}$  e  $C_{AH,t}^* = \frac{C_{H,t}^*}{A_t^{\sigma^{-1} + \sigma^{-1}\varphi/1 + \sigma^{-1}\varphi}}$ . Com isso, teremos:

$$Y_{A,t} = C_{AH,t} + C_{AH,t}^*$$

$$C_{AH,t} = (1 - \alpha) \left( \frac{P_{H,t}}{P_t} \right)^{-\eta} C_{A,t}$$

$$C_{AH,t}^* = \alpha \left( \frac{P_{H,t}/S_t}{P_t^*} \right)^{-\eta} C_{A,t}^*$$

### 3.5 Log Linearizando as Condições de Equilíbrio

#### 3.5.1 Termos de Troca e *Risk-Sharing* Perfeito

Os termos de troca definido como o preço dos bens importados sobre o preço dos bens domésticos:

$$S_t = \frac{P_{F,t}}{P_{H,t}}$$

Tomando o logaritmo da equação acima,  $s_t = \log(S_t) = p_{F,t} - p_{H,t}$ .

Log linearizando o índice de preços ao redor do estado estacionário com  $S = 1$ , retornará:

$$p_t = p_{H,t} + \alpha s_t$$

Se a inflação doméstica é definida como a taxa de mudança no índice de preços dos bens domésticos, logo  $\pi_t = \pi_{H,t} + \alpha \Delta s_t$ .

Assumindo que a lei do preço único se mantém para todos os bens em todos os tempos, temos que  $P_{F,t} = \mathcal{E}_t P_t^*$ , onde  $\mathcal{E}_t$  é a taxa nominal de câmbio. Log linearizando e calculando em termos de taxa teremos  $\pi_{F,t} = \Delta e_t + \pi_t^*$ , onde  $e_t = \log(\mathcal{E}_t)$ .

Expressando a taxa de crescimento dos termos de troca, temos:

$$\Delta s_t = \pi_{F,t} - \pi_{H,t}$$

$$\Delta s_t = (\Delta e_t + \pi_t^*) - (\pi_t - \alpha \Delta s_t)$$

$$\Delta s_t = \Delta e_t + \pi_t^* - \pi_t + \alpha \Delta s_t$$

Isto implica que a inflação do índice de preços pode ser formalizada como uma combinação linear da taxa de depreciação  $\Delta e_t$ , a taxa de crescimento dos termos de troca  $\Delta s_t$  e a inflação externa  $\pi_t^*$ :

$$\pi_t = \Delta e_t + \pi_t^* - (1 - \alpha)\Delta s_t \quad (1)$$

Aqui, a inflação externa é a inflação dos EUA e segue um AR(1):

$$\pi_t^* = \rho_{\pi^*}\pi_{t-1}^* + \eta_t^{\pi^*}$$

Seguindo Lubik e Schorfheide (2007) assumimos que os termos de troca seguem um choque exógeno AR(1), ou seja, a taxa de crescimento dos termos de troca  $\Delta s_t$  segue o seguinte processo:

$$\Delta s_t = \rho_s \Delta s_{t-1} + \eta_t^s \quad (2)$$

Sob a suposição de mercados completos na economia doméstica e estrangeira, existe um perfeito *risk sharing* entre a economia doméstica e a estrangeira, o que implica um fator estocástico de desconto idêntico entre os países e todos os possíveis estados da natureza:

$$\beta \varepsilon_{t+1}^c \left( \frac{C_{t+1}}{C_t} \right) \frac{P_{t+1}}{P_t} = \beta \varepsilon_{t+1}^c \left( \frac{C_{t+1}^*}{C_t^*} \right) \left( \frac{P_{t+1}^*}{P_t^*} \right) \left( \frac{\varepsilon_{t+1}}{\varepsilon_t} \right)$$

### 3.5.2 Condição de Equilíbrio

A condição de equilíbrio log linearizada retorna as seguintes equações:

$$y_{A,t} = (1 - \alpha)c_{AH,t} + \alpha c_{AH,t}^*$$

$$c_{AH,t} = -\eta \alpha s_t + c_{A,t}$$

$$c_{AH,t}^* = -\eta s_t + c_{A,t}^*$$

Combinando as equações acima, retorna a condição de equilíbrio log linearizada a seguir:

$$y_{A,t} = (1 - \alpha)c_{A,t} + \alpha c_{H,t}^* - (2 - \alpha)\alpha \eta s_t$$

A economia estrangeira é considerada próximo de uma economia fechada  $c_{A,t}^* \approx y_{A,t}^*$ .

Combinando essa com o equilíbrio no mercado de bens e perfeito *risk sharing* temos

$$y_{A,t} = y_{A,t}^* - 1/\tau_\alpha s_t$$

Onde  $\tau_\alpha = 1/\sigma^{-1} + \alpha(2 - \alpha)(\eta - \sigma^{-1})$ .

Log linearizando a equação do custo marginal teremos:

$$mc_t = (w_{A,t} - p_t) + (p_t - p_{H,t})$$

$$\begin{aligned}
mc_t &= \sigma c_{A,t} + \varphi n_{A,t} - \alpha s_t \\
mc_t &= \sigma y_{A,t}^* + \varphi y_{A,t} - s_t \\
mc_t &= (\tau_\alpha + \varphi) y_{A,t} + (\sigma - \tau_\alpha) y_{A,t}^*
\end{aligned}$$

Em uma economia sem fricções na economia doméstica, o custo marginal real, será:

$$mc_t^n = (\tau_\alpha + \varphi) y_{A,t}^n + (\sigma - \tau_\alpha) y_{A,t}^{*n}$$

Sob competição perfeita e ausência de rigidez de preços, o custo marginal natural será constante (e igual a 1) para todo t e o log do custo marginal natural será igual a zero,  $mc_t^n = 0$ . Então:

$$y_{A,t}^n = -\Gamma_* y_{A,t}^* \quad (3)$$

Onde  $\Gamma_* = 1 - \sigma^{-1} \tau_\alpha / \sigma^{-1} \tau_\alpha + \sigma^{-1} \varphi$ . O produto potencial doméstico  $y_{A,t}^n$  depende do produto do resto do mundo  $y_{A,t}^*$ . Podemos interpretar esta equação como explicando as flutuações do produto potencial que não são explicadas por flutuações na produtividade doméstica, são atribuídas a flutuações do produto estrangeiro. Diferente de Lubik e Schorfheide (2007), aqui o produto estrangeiro é o PIB dos EUA e não um processo exógeno AR(1).

$$y_{A,t}^* = \rho_{y^*} y_{A,t-1}^* + \eta_t^{y^*}$$

### 3.5.3 Curva de Phillips

Agora, log linearizando a condição de equilíbrio da firma de atualiza seus preços retorna uma equação determinando a inflação doméstica,  $\pi_{H,t}$ , como uma função dos desvios do custo marginal em relação a sua contraparte natural,  $mc_t - mc_t^n$ :

$$\begin{aligned}
\pi_{H,t} &= \beta E_t(\pi_{H,t+1}) + \kappa(mc_t - mc_t^n) \\
\pi_{H,t} &= \beta E_t(\pi_{H,t+1}) + \kappa(\varphi + \tau_\alpha)x_t
\end{aligned}$$

Onde  $x_t$  é o hiato do produto, definido como  $x_t = y_{A,t} - y_{A,t}^n$  e a inclinação da curva de Phillips é  $\kappa = (1 - \beta\theta)(1 - \theta)/\theta$ . Com isso podemos expressar a curva de Phillips para uma pequena economia aberta,  $\pi_t$ :

$$\pi_t = \beta E_t(\pi_{t+1}) + \alpha \beta E_t(\Delta s_{t+1}) - \alpha \Delta s_t + (\tau_\alpha + \varphi) \kappa x_t + \varepsilon_t^p \quad (4)$$

A curva de Phillips relaciona a medida de inflação  $\pi_t$ , a expectativa de inflação  $E_t(\pi_{t+1})$ , a primeira diferença dos termos de troca  $\Delta s_t = s_t - s_{t-1}$ , segue um processo AR(1), o hiato do produto doméstico  $x_t$  e um choque *cost-push*  $\varepsilon_t^p$ , gerado exogenamente para capturar flutuações no *mark-up*.

$$\varepsilon_t^p = \rho_p \varepsilon_{t-1}^p + \eta_t^p$$

### 3.5.4 Curva IS Dinâmica e Taxa Natural de Juros

Log linearizando a equação de Euler, do problema do consumidor, temos:

$$c_{A,t} = E_t(c_{A,t+1}) - \sigma^{-1} [i_t - E_t(\pi_{t+1}) - E_t(\Delta \varepsilon_{t+1}^c) - (1 + \varphi/1 + \sigma^{-1}\varphi) E_t(z_{t+1})]$$

Substituindo na equação de Euler acima a condição de equilíbrio do mercado de bens  $y_{A,t} = (1 - \alpha)c_{A,t} + \alpha c_{H,t}^* - (2 - \alpha)\alpha\eta s_t$  e a condição de perfeito *risk sharing*  $y_{A,t} = y_{A,t}^* - 1/\tau_\alpha s_t$  e de produto potencial da economia  $y_{A,t}^n = -\Gamma_* y_{A,t}^*$  e após algumas álgebras, podemos escrever a curva IS da pequena economia aberta em termos do hiato do produto,  $x_t$ :

$$x_t = E_t(x_{t+1}) - \frac{1}{(1-\alpha)\tau_\alpha} (i_t - E_t(\pi_{t+1}) - r_t^n) \quad (5)$$

A equação (5) se reduz para a economia fechada quando  $\alpha = 0$ . A dinâmica da curva IS estabelece que a atividade real corrente medida pelo hiato do produto  $x_t$  depende da expectativa em relação da atividade  $E_t(x_{t+1})$ , da taxa real de juros, definido pela diferença  $i_t - E_t(\pi_{t+1})$  e da sua taxa natural  $r_t^n$ . Aqui,  $i_t$  é a taxa nominal de juros, determinada pelo banco central,  $\pi_t$  é a taxa de inflação.

E a taxa natural de juros da economia doméstica,  $r_t^n$  é:

$$r_t^n = E_t(\Delta \varepsilon_{t+1}^c) + (1 + \varphi/1 + \sigma^{-1}\varphi) E_t(z_{t+1}) + [\sigma^{-1} - (1 - \alpha)\tau_\alpha(\Gamma_* + 1)] E_t(\Delta y_{A,t+1}^*) \quad (6)$$

Podemos observar que a taxa natural de juros  $r_t^n$  depende de mudanças esperadas nas preferências  $E_t(\Delta \varepsilon_{t+1}^c)$ , positivamente do crescimento da produtividade no próximo período  $E_t(z_{t+1})$ , e da expectativa do crescimento do produto dos EUA,  $E_t(\Delta y_{A,t+1}^*)$ .

Um pouco de intuição para interpretar a equação da taxa natural. Se as famílias desejarem aumentar o consumo hoje, o que é capturado pelo aumento em  $\varepsilon_t^c$ , isto pressiona a taxa natural de

juros para cima, de tal modo condicionando os consumidores a agir de conforme o desejo de antecipar consumo. Um aumento esperado no crescimento da produtividade doméstica,  $E_t(z_{t+1})$  implica em um consumo maior, conseqüentemente em um aumento da taxa natural. Por fim, um efeito direto positivo de um aumento no crescimento esperado do produto americano, sobre a taxa natural de juros.

### 3.5.6 Regra de Política Monetária

Para avaliar a performance da taxa natural de juros, iremos especificar três regras de política monetária. Na primeira, iremos seguir uma regra de Taylor tradicional, onde o banco central responde a inflação e ao hiato do produto. A segunda regra alternativa, seguiremos Cúrdia et al. (2015), o banco central responde a inflação e a taxa natural de juros, que chamarei de regra *Wickseliana*.<sup>12</sup> Por fim, a terceira regra junta as duas, com banco central respondendo a inflação, hiato do produto e a taxa natural de juros.

A especificação da política monetária a qual é conduzida de acordo com a regra de Taylor:

$$i_t = \rho_i i_{t-1} + (1 - \rho_i)(\psi_x x_t + \psi_\pi \pi_t) + \eta_t^i \quad (7a)$$

O coeficiente de suavização  $0 < \rho_i < 1$  mensura a persistência da taxa de juros nominal. A resposta aos desvios da inflação (a inflação zero de estado estacionário) e do hiato são dados pelos parâmetros  $\psi_\pi > 0$  e  $\psi_x > 0$ . Além disso, o um componente não sistemático da política monetária,  $\eta_t^i$  captura o choque exógeno.

A segunda regra de política monetária, o banco central responde a inflação e a taxa natural de juros:

$$i_t = \rho_i i_{t-1} + (1 - \rho_i)(r_t^n + \psi_\pi \pi_t) + \eta_t^i \quad (7b)$$

Quando a taxa natural de juros aumenta, por exemplo, devido ao desejo das famílias em consumir mais hoje, a taxa nominal de juros deve subir, de modo a manter o hiato da taxa de juros igual a zero e, conseqüentemente, o produto igual ao seu nível potencial.

---

<sup>12</sup> Wickell (1898) foi o primeiro economista a caracterizar a taxa natural como sendo a taxa de juros que retorna estabilidade de preços. Woodford (2003) formalizou este conceito no contexto da macroeconomia moderna

Por último, a terceira regra de política monetária combina a regra de Taylor com a *Wickseliana*. Com o banco central respondendo a inflação, hiato do produto e a taxa natural de juros.

$$i_t = \rho_i i_{t-1} + (1 - \rho_i)(r_t^n + \psi_x x_t + \psi_\pi \pi_t) + \eta_t^i \quad (7c)$$

As equações (1) – (6) e as especificações das regras de política monetária (7a) – (7c) formam um modelo linear de equações a diferença. Assumimos que o choque de preferência  $\varepsilon_t^c$ , o choque doméstico *cost push*  $\eta_t^p$ , o choque do crescimento da tecnologia doméstico,  $\eta_t^z$ , o choque na primeira diferença nos termos de troca  $\eta_t^s$ , o choque no produto dos EUA e na taxa de inflação americana  $\pi_t^*$  seguem um processo univariado, AR(1). O modelo é resolvido utilizando o software *Dynare*.

#### 4. Dados

Nós usamos observações de sete variáveis. As variáveis domésticas: PIB, inflação, taxa de juros, taxa de câmbio nominal e termos de troca. As variáveis externas: PIB e inflação. A amostra começa em janeiro de 2000 e vai até o dezembro de 2019:

- Taxa de câmbio nominal R\$/US\$ - BACEN -  $e_t$
- Termos de troca (preço importação/ preço exportação) – FUNCEX -  $s_t$
- PIB real doméstico – IBGE –  $y_t$
- Inflação doméstica – IBGE -  $\pi_t$
- Taxa de juros nominal: taxa Selic anualizada (%) – BACEN -  $i_t$
- Inflação dos EUA – FRED (Fed St. Louis) -  $\pi_t^*$
- PIB real dos EUA – FRED (Fed St. Louis) -  $y_t^*$

As séries mensais foram convertidas em séries trimestrais da seguinte forma, para os termos de troca utilizei a última observação do trimestre, a taxa de câmbio a última cotação do trimestre. Para taxa de juros e inflação foram utilizados a média trimestral.<sup>13</sup>

A série de PIB real doméstico e dos EUA foram filtradas por meio do uso do Filtro HP com parâmetro de suavização igual a 1600. Com exceção da taxa de juros e inflação as demais variáveis foram calculados a primeira diferença em logaritmo para resolver a questão da tendência.

---

<sup>13</sup> Todas as observações utilizadas foram extraídas suas médias amostrais antes da estimação.



## 5. Estratégia Empírica de Estimação

Os parâmetros estruturais ou profundos do modelo são estimados usando métodos Bayesianos, por meio do software *Matlab*. A tabela 1 a seguir apresenta a distribuição *a priori* dos parâmetros estimados. A seleção das *prioris* levou em consideração a variação dos intervalos para cada parâmetro. Usamos a distribuição Beta para parâmetros que estão no intervalo  $[0,1]$ , a distribuição Gama Inversa para o intervalo  $[0, \infty]$  e distribuição Gamma para os casos restantes.

Como em Castro et al. (2015) a taxa de desconto intertemporal  $\beta = 0,989$ . O grau de abertura da economia  $\alpha = 0,19$ , conforme Linardi (2016)<sup>14</sup>. O parâmetro de firmas que ajustam o preço a *la Calvo*  $\theta = 0,82$ , conforme Carvalho e Vilela (2015).

A *priori* para o inverso da elasticidade de substituição  $\sigma$ , o inverso da elasticidade de Frisch da oferta de trabalho  $\varphi$  e o parâmetro que mede elasticidade de substituição entre bens domésticos e importados  $\eta$ , foram retirados de Linardi (2016). Para os demais parâmetros, as *prioris* seguiram os resultados de Castro et al. (2015).

Tabela 1 - Distribuição *a priori* dos parâmetros

Parâmetro	Definição	Distribuição à <i>priori</i>
$\beta$	Taxa de desconto intertemporal	0,989
$\alpha$	Grau de abertura da economia	0,19
$\epsilon$	Inverso da elasticidade de substituição	Gamma(1,2/10)
$\sigma$	Elasticidade de substituição entre bens domésticos e importados	Gamma(1,1/4)
$\varphi$	Inverso da elasticidade de Frisch da oferta de trabalho	Gamma(1,2/10)
$\theta$	Fração de produtores domésticos que não otimizam seus preços	0,82
$\rho_i$	Suavização da Regra de Taylor	Beta(6/10, 15/100)
$\rho_\pi$	Suavização da Regra de Taylor - inflação	Gamma(2, 35/100)
$\rho_x$	Suavização da Regra de Taylor - hiato do produto	Gamma(1/4, 1/10)
$\rho_z$	Inércia da taxa de crescimento da produtividade	Beta(1/2, 1/4)
$\rho_s$	Efeito inercial do choque nos termos de troca	Beta(1/2, 1/4)
$\rho_p$	Efeito inercial do choque <i>cost push</i> doméstico	Beta(1/2, 1/4)
$\rho_c$	Efeito inercial do choque de preferência	Beta(1/2, 1/4)
$\rho_{y^*}$	Efeito inercial do choque nos PIB estrangeiro	Beta(1/2, 1/4)
$\rho_{\pi^*}$	Efeito inercial do choque na inflação estrangeira	Beta(1/2, 1/4)
$\sigma_z$	Desvio padrão do choque de crescimento da produtividade	IG(1, $\infty$ )
$\sigma_s$	Desvio padrão do choque nos termos de troca	IG(1, $\infty$ )
$\sigma_p$	Desvio padrão do choque <i>cost push</i> doméstico	IG(1, $\infty$ )

<sup>14</sup> Palma e Portugal calibram em 0,12 e Carvalho e Vilela em 0,25.

$\sigma_c$	Desvio padrão do choque de preferência	IG(1,∞)
$\sigma_i$	Desvio padrão do choque de política monetária	IG(1,∞)
$\sigma_{y*}$	Desvio padrão do choque do PIB estrangeiro	IG(1,∞)
$\sigma_{\pi*}$	Desvio padrão do choque da inflação estrangeira	IG(1,∞)

---

## 6. Resultados da estimação para a taxa natural de juros

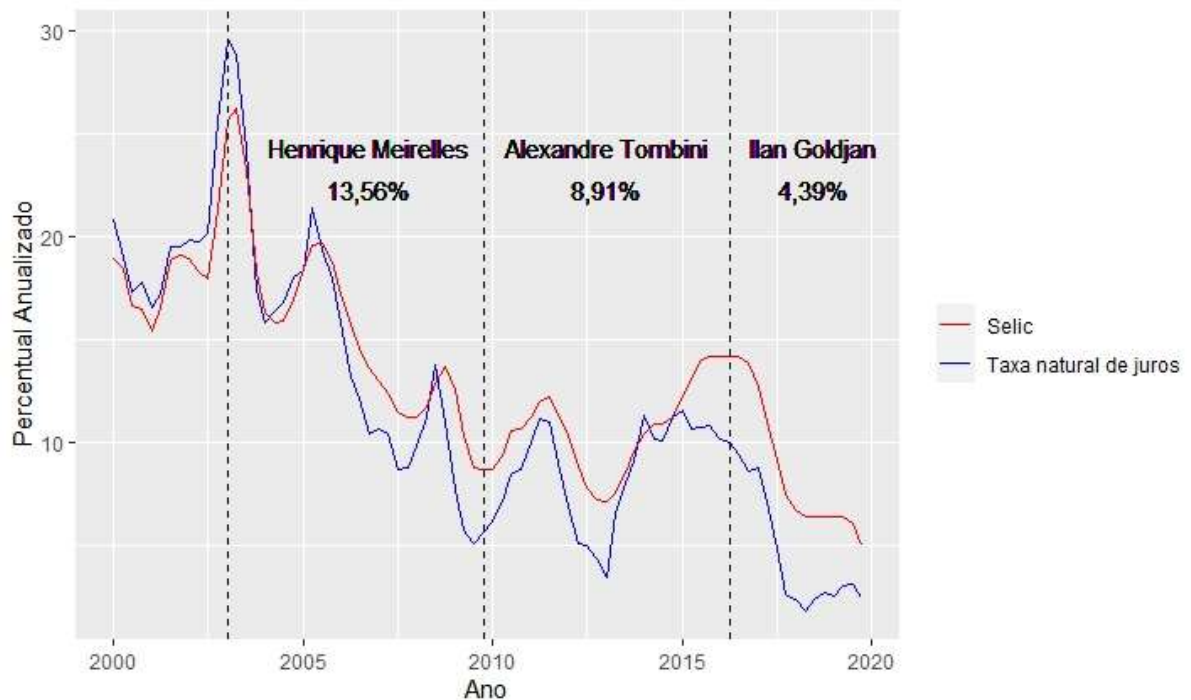
Nossos resultados para a estimativa da taxa natural de juros para o Brasil mostram que esta varia bastante ao longo do período e tem apresentado uma trajetória de queda consistente (resultado encontrado em economias avançadas Del Negro et al. (2017) e Holston et al. (2017)), para as três diferentes regras de política monetária.<sup>15</sup>

A Figura 1 a seguir, apresenta as estimativas da taxa neutra, no caso de o banco central seguir a regra de Taylor (Modelo 1). Para ajudar na avaliação do estado da política monetária, também foi incluída a taxa nominal de juros, Selic, na figura. Para apresentar de forma mais nítida nossos resultados, o valor inicial da estimativa da taxa neutra foi de 20,83%, no primeiro trimestre de 2000 e a última observação foi de 2,45% no último trimestre de 2019. Este resultado mostra como o banco central manteve a taxa básica de juros muito acima da taxa natural, no final de 2019, indicando um hiato de juros positivo (2,50%). O menor valor estimado foi de 1,77%, no segundo semestre de 2018, enquanto o maior valor foi de 29,60% ocorrido no primeiro semestre de 2003.

---

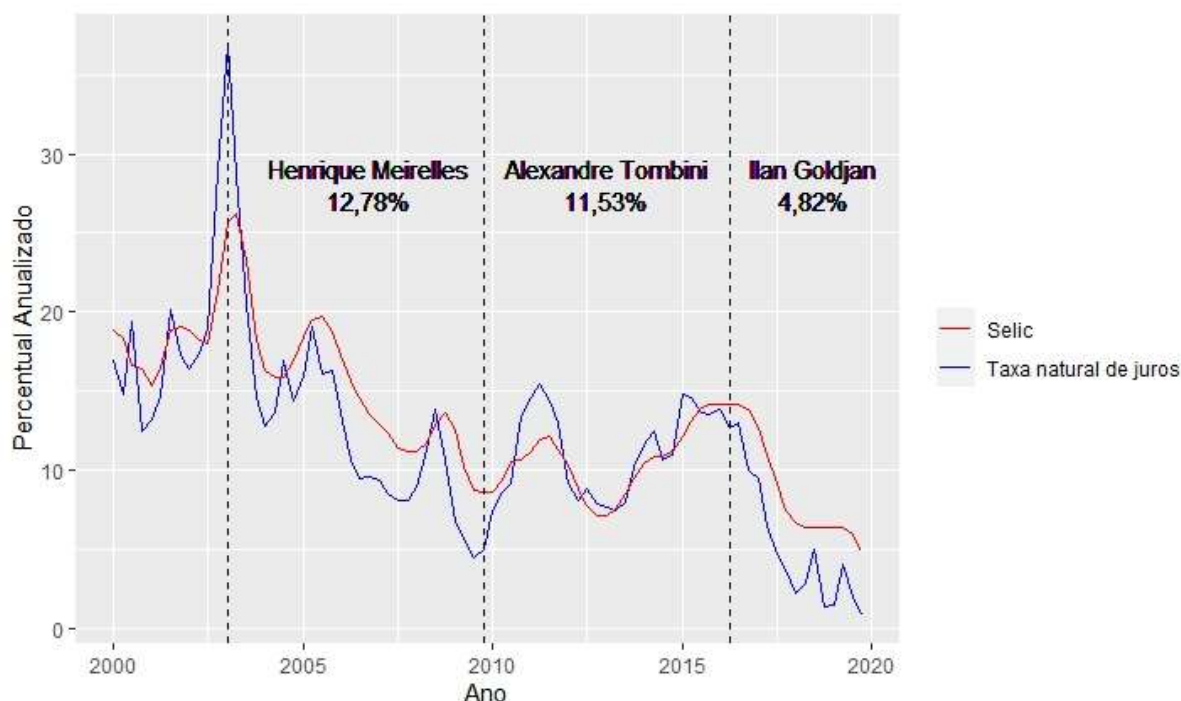
<sup>15</sup> Com a alta volatilidade da taxa natural de juros, uma política monetária neutra irá requerer relevantes mudanças na taxa de juros. Caso o banqueiro central considerasse a taxa natural de juros constante, tal política levaria a movimentos ineficientes da inflação e do produto.

Figura 1: Taxa Natural de juros (Regra de Taylor) vs. Taxa Nominal: Selic



A Figura 2 apresenta as estimativas da taxa natural de juros, quando o banco central responde a taxa neutra, a regra *Wickseliana* (Modelo 2). Mais uma vez, a taxa apresenta comportamento variante no tempo e queda ao longo dos anos da amostra. A estimativa inicial foi de 16,97% para o primeiro trimestre de 2000 e de 0,86% para o último trimestre de 2019, este o menor valor da série, sendo o maior de 37,01% no primeiro trimestre de 2003. A estimativa para a última observação da taxa neutra é próxima de zero, indicando que o banco central poderia cortar em muito a taxa básica da economia.

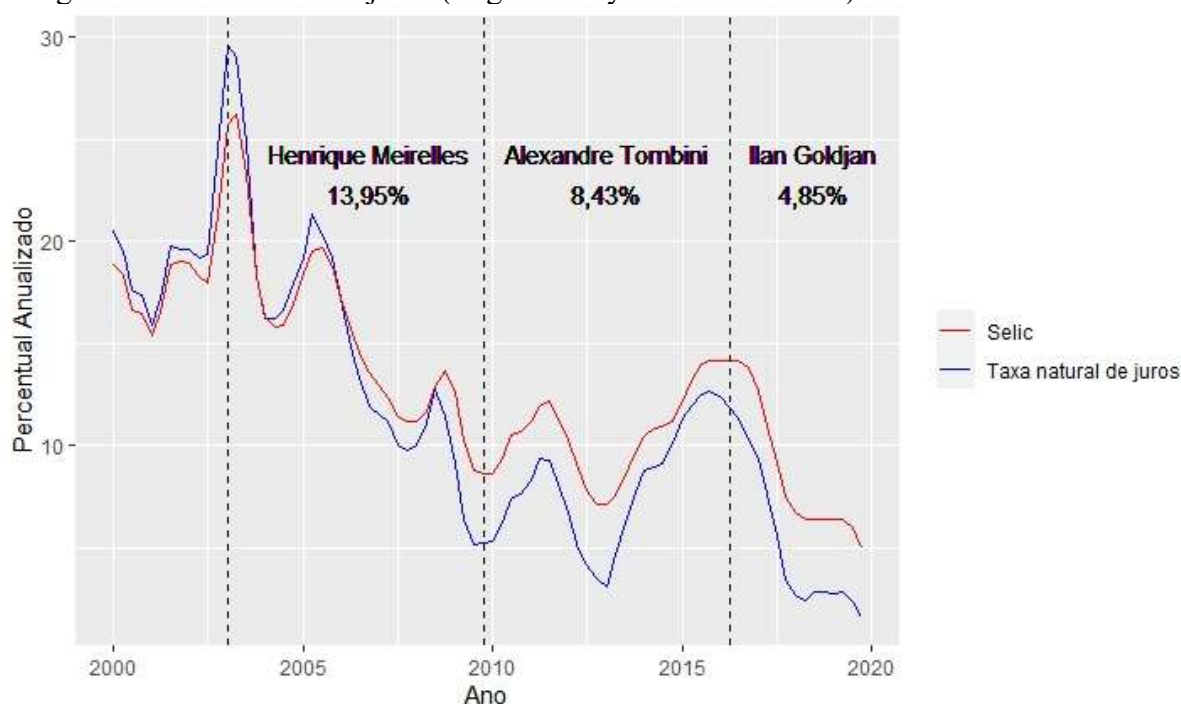
Figura 2: Taxa Natural de juros (Regra *Wickseliana*) vs. Taxa Nominal: Selic



Na Figura 3 apresentamos os resultados das estimativas do terceiro modelo, onde o banco central combina a regra de Taylor com a regra *Wickseliana* (Modelo 3). Mais uma vez, a taxa natural apresenta um comportamento declinante ao longo dos anos, acompanhando a taxa Selic, porém sempre abaixo desta. A estimativa de 20,55% para o primeiro trimestre de 2000 e 1,60% para o último trimestre de 2019, sugerindo que o banco central mais uma vez, poderia ter cortado ainda mais a taxa de juros.

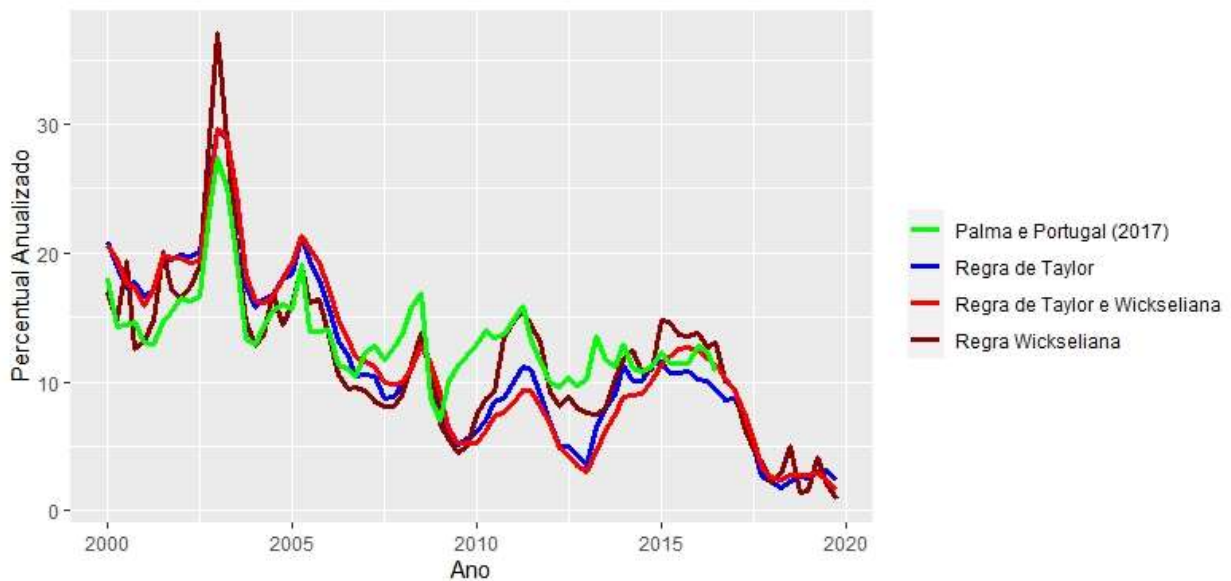
No período em que Henrique Meirelles foi presidente do Banco Central, o Modelo 2 apresentou a menor média para a taxa natural de juros, 12,78%, enquanto o Modelo 3 apresentou a maior com 13,95%. Para o segundo período da amostra, compreendido durante a gestão de Alexandre Tombini, como presidente do Banco Central, o Modelo 3 indicou a menor média da taxa neutra, 8,43% e o Modelo 2 a maior média com 11,53%. Durante o período em que Ilan Goldfjan ficou à frente do Banco central, a menor média ficou com o Modelo 1, sendo igual a 4,39% e a maior de 4,85%, representado pelo Modelo 3.

Figura 3: Taxa Natural de juros (Regra de Taylor e *Wickseliana*) vs. Taxa Nominal: Selic



Nossos resultados são parecidos quando comparamos com outra estimativa de taxa natural de juros, por meio de um modelo DSGE. Um comparativo das nossas estimativas com o trabalho de Palma e Portugal (2017). Ambas as estimativas se comportam de forma bastante parecida, com tendência de queda e bastante variação ao longo dos anos. No período da crise financeira internacional, entre 2008 e 2009 e no período em que Tombini foi presidente do Banco Central, as estimativas da taxa neutra de Palma e Portugal ficam acima das nossas. Nos demais períodos apresentamos taxas maiores.

Figura 4: Uma comparação das taxas naturais de juros



## 7. Conclusão

Neste artigo estimamos a taxa natural de juros para o Brasil, seguindo um modelo Novo Keynesiano de pequena economia aberta. As famílias escolhem entre consumo e trabalho, intertemporalmente e sofrem com choques de preferências. As firmas intermediárias da economia doméstica sofrem com rigidez de preços a la Calvo. O banco central segue três diferentes regras de política monetária. A primeira, a regra de Taylor tradicional, a segunda o banco central responde a taxa neutra de juros, chamamos essa de regra *Wickseliana* e uma terceira regra que combina as duas primeiras.

Encontramos que a taxa natural de juros varia ao longo dos anos e tem apresentado um declínio consistente. Resultado se mantém para as três diferentes regras de política monetária. Durante a gestão de Henrique Meirelles, o modelo em que o banco central respondia a taxa neutra de juros apresentou a menor média de juros natural. Sob a gestão de Alexandre Tombini, a menor média de taxa neutra foi estimada com a regra de política monetária que combina a regra de Taylor com a *Wickseliana*. E, enquanto Ilan Goldfajn foi presidente do banco central, a menor média de juros neutro foi encontrada quando o BC seguiu a regra de Taylor.

Em pesquisas futuras pretendemos expandir nosso modelo em três frentes. A primeira, permitindo *pass-through* incompleto, a lei do preço único não mais se mantém e com isso teremos também rigidez de preços nos bens importados. Segundo adicionar acumulação de capital e formação de hábitos de consumo. E por último, adicionar governo ao modelo, para avaliar como tais gastos afetariam a taxa natural.

## Referências Bibliográficas

- Andrés, J., López-Salido, J. D., & Nelson, E. (2009). Money and the natural rate of interest: Structural estimates for the united states and the euro area. **Journal of Economic Dynamics Control**, 33, 758–776.
- Barbosa, F. H., Camêlo, F. D., & João, I. C. (2016). A taxa de juros natural e a regra de taylor no brasil: 2003–2015. **Revista Brasileira de Economia**, 70(4), 399–417.
- Barcellos Neto, P. C. F. & Portugal, M. S. (2009). The natural rate of interest in brazil between 1999 and 2005. **Revista Brasileira de Economia**, 63(2), 103–118.
- Barsky, R., Justiniano, A., & Melosi, L. (2014). The natural rate of interest and its usefulness for monetary policy. **American Economic Review Papers and Proceedings**, 104(5), 37–43.
- Bjornland, H. C., Leitemo, K., & Maih, J. (2011). Estimating the natural rates in a simple new keynesian framework. **Empirical Economics**, 40(3), 755–777.
- Canzoneri, M., Cumby, R., & Diba, B. (2015). Monetary policy and the natural rate of interest. **Journal of Money, Credit and Banking**, 47, 383–412.
- Carrillo, J., Elizondo, R., Rodríguez-Pérez, C. A., & Roldán-Peña, J. (2018). What Determines the Neutral Rate of Interest in an Emerging Economy? Working paper.
- Carvalho, C., Ferrero, A., & Nechio, F. (2016). Demographics and real interest rates: Inspecting the mechanism. **European Economic Review**, 88, 208–226.
- Carvalho, C. V. & Vilela, A. D. (2015). What if brazil hadn't floated the real in 1999? **Brazilian Review of Econometrics**, (1), 265–308.
- Castro, Marcos, R., Gouvea, Solange, N., Minella, A., Santos, Rafael, C., & Souza-Sobrinho, Nelson, F. (2015). Samba: Stochastic analytical model with a bayesian approach. **Brazilian Review of Econometrics**, (1), 103–170.
- Cúrdia, V., Ferrero, A., Ng, G. C., & Tambalotti, A. (2015). Has u.s. monetary policy tracked the efficient interest rate? **Journal of Monetary Economics**, 70, 72–83.
- Del Negro, M., Giannone, D., Giannoni, M. P., & Tambalotti, A. (2017). Safety, liquidity, and the natural rate of interest. *Brookings Papers on Economic Activity*, 1, 235–316.
- Del Negro, M., Giannoni, M. P., & Schorfheide, F. (2015). Inflation in the great recession and new keynesian models. **American Economic Journal: Macroeconomics**, 7(1), 168–196.
- Edge, Rochelle, M., kiley, Michael, T., & Laforte, J.-P. (2008). Natural rate measures in an estimated dsge model of the u.s. economy. **Journal of Economic Dynamics Control**, 32, 2512–2535.

Galí, Jordi (2015) A. *Monetary policy, inflation, and the business cycle: an introduction to the new Keynesian framework and its applications*, Princeton University Press, Princeton, NJ.

Galí, J. & Monacelli, T. (2005). Monetary policy and exchange rate volatility in a small open economy. **Review of Economic Studies**, 72, 707–734.

Holston, K., Laubach, T., & Williams, J. C. (2017). Measuring the natural rate of interest: International trends and determinants. *Journal of International Economics*, 108, S59–S75.

Hristov, A. (2016). Measuring the Natural Rate of Interest in the Eurozone: A DSGE Perspective. Working Paper In CESifo Forum München: Ifo Institut–Leibniz Institut für Wirtschaftsforschung an der Universität München 17.

Justiniano, A. & Preston, B. (2010). Monetary policy and uncertainty in an empirical small open-economy model. **Journal of Applied Econometrics**, 25, 93–128.

Justiniano, A. & Primiceri, G. E. (2010). Measuring the equilibrium real interest rate. **Economic Perspectives**, 34, 14–27

Laubach, T. & Williams, J. C. (2003). Measuring the natural rate of interest. **The Review of Economics and Statistics**, 85(4), 1063–1070.

Lewis, Kurt, L. & Vazques-Grande, F. (2017). *Measuring the natural rate of interest alternative specifications*. Working paper.

Lubik, Thomas, A. & Schorfheide, F. (2007). Do central banks respond to exchange rate movements a structural investigation. **Journal of Monetary Economics**, 54, 1069–1087.

Linardi, F. d. M. (2016). Assessing the Fit of a Small Open-Economy DSGE Model for the Brazilian Economy. The Banco Central do Brasil working papers.

Monacelli, T. (2005). Monetary policy in a low pass-through environment. **Journal of Money, Credit and Banking**, 37(6), 1047–1066.

Mésonnier, J.-S. & Renne, J.-P. (2007). A time-varying “natural” rate of interest for the euro area. **European Economics Review**, 51, 1768–1784.

Moreira, J. R. R. & Portugal, M. S. (2019). *Natural rate of interest estimates for Brazil after adoption of the inflation targeting regime*. Working paper.

Mésonnier, J.-S. & Renne, J.-P. (2007). A time-varying “natural” rate of interest for the euro area. **European Economics Review**, 51, 1768–1784.

Neri, S. & Andrea, G. (2019). Natural rates across the Atlantic. **Journal of Macroeconomics**, 62, 1–15.

Okazaki, Y. & Sudo, N. (2018). Natural Rate of Interest in Japan: Measuring its size and identifying drivers based on a DSGE model. *Bank of Japan working paper series*,



number 18, march, 2018.

Orphanides, A. & Williams, J. C. (2002). Robust monetary policy rules with unknown natural rates. *Brookings Papers on Economic Activity*, 2, 63–118.

Palma, A. A. & Portugal, M. S. (2014). Preferences of the central bank of brazil under the inflation targeting regime estimation using a dsge model for a small open economy. **Journal of Policy Modeling**, 36, 824–839.

Palma, A. A. & Portugal, M. S. (2017). Time-varying neutral interest rate in brazil further evidence from a simple new keynesian model. **The Empirical Economics Letters**, 16(7), 633–646.

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

Us, V. (2018). Measuring the natural interest rate for the turkish economy. **International Journal of Central Banking**, 14(1), 259–316.

Wicksell, Knut (1898). *Interest and Prices: A study of the Causes Regulating the Value of Money*. Tranlated by R. F. Kahn (1936). Londres: Macmillan.

Woodford, Michael (2003). *Interest and Prices: Foundations of a Theory of Monetary Policy*. Princeton Univeristy Press, Princeton, NJ.

Wynne, M. A. & Zhang, R. (2018). Estimating the natural rate of interest in an open economy. **Empirical Economics**, 55(3), 1291–1318.