

# **Estimando a curva de Phillips brasileira no período do sistema de metas de inflação por redes neurais**

**Ricardo Summa (IE/UFRJ)**  
**José Leonardo Macrini (ITR/UFRRJ)**

## **Resumo**

O presente artigo busca avaliar os determinantes da inflação brasileira recente, mais especificamente a partir de 1999 quando é instituído o Sistema de Metas de Inflação (SMI). Utilizando um modelo de Redes Neurais, avaliamos: (1) se a dinâmica inflacionária é explicada por um modelo aceleracionista ou pela curva de Phillips tradicional; (2) se as pressões de demanda, medidas pelo hiato do produto e do desemprego têm impacto claro e sistemático sobre a inflação; (3) se a inflação importada, incluindo a inflação dos produtos transacionáveis em dólares e a variação da taxa de câmbio nominal, exerce influencia significativa sobre a inflação; e (4) se o canal de custo da taxa de juros se verifica empiricamente no caso brasileiro.

## **Abstract**

In this paper we assess the determinants of recent brazilian inflation, specifically since 1999 when the Inflation Targeting System was implemented. Using a Neural Network model, we evaluate: (1) whether the inflation dynamics is explained by an accelerationist model or by the traditional Phillips curve, (2) if the demand pressures, measured by the output gap and unemployment gap, have a clear and systematic impact on inflation, (3) if imported inflation, including tradable goods inflation in dollars and the nominal exchange rate changes, exerts a significant influence on inflation, and (4) if the interest rates cost channel is empirically verified in the brazilian case.

## 1. Introdução

O Plano Real, em 1994, terminou um longo processo de alta inflação no Brasil, principalmente durante as décadas de 80 e início dos 90. Quatro anos após o início do plano, houve uma grande crise no balanço de pagamentos e a taxa de câmbio, que era de certa maneira fixa, sofreu uma forte desvalorização em 1999. Nesse mesmo ano é instituído o Sistema de Metas de inflação (SMI), que fixa uma meta anual de inflação a ser perseguida. Além da meta de inflação, outra mudança que ocorreu foi relativa ao câmbio, que antes era de certa forma fixo e passou a flutuar. Desde que o SMI foi implantado no Brasil, em poucos anos a meta inflacionária não foi alcançada, e nos últimos seis anos o governo conseguiu controlar a inflação dentro da meta estabelecida.

Do ponto de vista teórico, o chamado modelo do Novo Consenso em política macroeconômica (Blinder (1997), Romer (2000)) para economia aberta (Romer (2005), Taylor (2005)) é a inspiração para a visão dos determinantes da inflação e de como ela deve ser controlada, tanto no Brasil quanto em diversos países do mundo. Segundo essa visão, a principal fonte de pressão inflacionária é pelo lado da demanda agregada, de tal maneira que pressões dessa natureza levam a uma aceleração da inflação. O instrumento da Autoridade Monetária para controlar a aceleração da inflação e colocá-la de volta na meta é a taxa básica de juros, que ao ser alterada afeta a taxa real de juros e controla a demanda agregada.

Um dos fundamentos do modelo do Novo Consenso é a curva de Phillips aceleracionista, que estabelece uma relação entre a aceleração da inflação com choques de demanda. Para economia aberta, postula ainda que os choques de custo advindos da economia internacional não têm efeito no longo prazo, pois a taxa de câmbio real segue o teorema da paridade do poder de compra e é neutra no longo prazo. Políticas de juros altos sempre surgem com a justificativa de que a inflação está acima da meta e a demanda tem que ser controlada

Dessa maneira, verificaremos nesse artigo se, para o caso brasileiro, existe realmente um efeito positivo e preponderante das pressões de demanda sobre a inflação; e analisaremos também qual é o papel da inflação dos produtos importados e exportáveis, já convertidos em reais pela variação da taxa de câmbio sobre a inflação brasileira.

O presente artigo se articula em mais três seções, além dessa introdução e da conclusão. Na seção 2, discutiremos brevemente a teoria da curva de Phillips e dois modelos alternativos. Na seção 3, analisaremos alguns resultados empíricos encontrados em trabalhos que estimaram a relação de Phillips para o Brasil. Na quarta seção, explicaremos o método de estimação por redes neurais e as vantagens deste método sobre o modelo linear. Na seção 5 discutiremos os resultados obtidos pela aplicação do método de estimação por redes neurais sobre a relação de Phillips no Brasil.

## 2. Curva de Phillips: modelo aceleracionista e alternativo

A curva de Phillips tem origem com um estudo de Phillips (1958), que estima empiricamente a relação entre a inflação dos salários com a taxa de desemprego<sup>1</sup>. Com o passar do tempo, passou-se então a acreditar em uma relação entre a taxa de inflação - variação do nível de preços - e a taxa de desemprego, este último um indicador da

---

<sup>1</sup> Nesse estudo original, segundo Palumbo (2008), já estava presente a idéia de que as instituições, o poder de barganha dos trabalhadores e a inflação dos produtos importados podem influenciar a relação entre desemprego e inflação salarial.

demanda agregada da economia. Segundo esta relação, taxas de desemprego baixas estavam associados à pressões salariais no mercado de trabalho e a taxas de inflação mais altas.

No final da década de 60, entretanto, começou a ganhar força uma visão aceleracionista da curva de Phillips, com a idéia de que se a taxa de desemprego se mantivesse baixa, mais baixa que a taxa natural (Friedman (1968)), a taxa de inflação aceleraria<sup>2</sup>. Tal visão aceleracionista da curva de Phillips perdura até os dias de hoje e está presente nos modelos do Novo Consenso em política econômica<sup>3</sup>.

Dessa maneira, em termos gerais, a curva de Phillips convencional utilizada no modelo do Novo Consenso (Blinder (1997), Romer (2000)) postula que há uma relação clara e sistemática entre pressões positivas (negativas) de demanda agregada e aceleração (desaceleração) da inflação<sup>4</sup>.

$$(2.1) \quad \pi = a\pi_{-1} + b(D), \text{ com } a = 1$$

Na equação (2.1) acima,  $\pi$  é a taxa de inflação,  $\pi_{-1}$  a inflação defasada, e  $D$  um indicador de pressão de demanda, que pode ser o hiato do produto ou do desemprego. O hiato do produto é a diferença entre o produto efetivo e o produto potencial, e o hiato do desemprego é a diferença entre a taxa de desemprego efetiva e a NAIRU (taxa de desemprego que não acelera a inflação).

O parâmetro “a” capta a inércia inflacionária. É importante notar que para a curva de Phillips ser aceleracionista, é necessário supor inércia completa, ou seja,  $a = 1$ <sup>5,6</sup>. O parâmetro “b” deve ser positivo no caso do hiato do produto (se o produto está acima do potencial deve se acelerar e abaixo, desacelerar) e negativo no caso do hiato do desemprego (se taxa de desemprego esta abaixo da NAIRU deve acelerar inflação e se estiver acima, desacelerá-la).

Em uma economia aberta, é preciso incorporar a variação dos preços dos bens transacionáveis com o exterior na curva de Phillips. Podemos dividir um índice de preços que capte a inflação entre bens *tradables* e *non-tradables*. Nesse caso, sendo o

---

2 Para uma diferença entre os efeitos sobre o nível de preços, taxa de inflação e aceleração da inflação, ver Serrano (2007).

3 Lavoie (2006) diz que o Modelo do Novo Consenso é apenas uma variante do monetarismo de Friedman.

4 Estamos aqui apresentando a versão mais simples, prática e voltada para política econômica do modelo do Novo Consenso, e não a versão com microfundamentos.

5 Na verdade, existem diversas maneiras de conceber o caráter aceleracionista, e supor que o parâmetro da defasagem  $a = 1$  é a maneira mais simples e didática. No caso em que a inflação seja sempre *backward-looking*, pode-se introduzir diversas defasagens da inflação na curva de Phillips e o importante é que a soma das defasagens seja igual a 1 (ver, por exemplo, Gordon, 1997). Outra maneira é conceber uma curva de Phillips híbrida, em que a inflação é em parte *backward looking* e em parte *forward looking* (introduz-se assim implicitamente uma variável de expectativas inflacionárias na curva de Phillips). Nesse caso, a soma dos parâmetros das defasagens com o parâmetro das expectativas deve ser igual a um. Porém, devido ao fracasso empírico dessa última forma (Fuhrer (1997), Eller e Gordon (2009)), e devido a simplicidade de apresentação da equação (2.1), optou-se pela apresentação *backward looking* da curva de Phillips.

6 Um argumento comum contra a curva de Phillips *backward looking* é que esta não incorporaria as expectativas inflacionárias. Porém, como as expectativas inflacionárias em geral são revistas pelo próprio andamento da inflação passada recente, e, logo, é difícil sustentar que as expectativas são exógenas, uma boa aproximação para as expectativas inflacionárias é a própria inflação ocorrida no passado. Logo, parte da explicação da inflação passada incluída na curva de Phillips é a própria expectativa inflacionária do tipo adaptativa; Outra parte da explicação da inflação passada incluída na equação é a própria estrutura de produção de uma economia capitalista com cadeias produtivas e estrutura do tipo insumo-produto, além da presença de contratos, que reajustam preços e salários segundo um índice de inflação defasada.

parâmetro  $\theta$  aquele que mede a participação dos bens *tradables* no índice de preços em questão, podemos apresentar a curva de Phillips para economia aberta da seguinte maneira:

$$(2.2) \pi = (1 - \theta)(a\pi_{-1} + b(D)) + \theta(\Delta e + \pi^w), \text{ com } a = 1$$

Assim, a curva de Phillips continua igual à da economia fechada para os bens non-tradables, enquanto a parcela dos *tradables* dependerá da variação da taxa nominal de câmbio,  $\Delta e$ , e da inflação dos produtos transacionáveis com o exterior (importados e exportáveis),  $\pi^w$ . Nesse caso, desvalorizações cambiais e inflação externa têm impactos positivos sobre a inflação doméstica, enquanto deflação externa e valorização nominal do câmbio diminuem a inflação interna.

No longo prazo, entretanto, tal como propõe Romer (2006), valeria a teoria da paridade do poder de compra (em inglês, PPP), que estabelece que a taxa de câmbio real, é constante no longo prazo, e a taxa nominal de câmbio deve variar de acordo com a relação entre o preço doméstico e o internacional, para manter a taxa real constante (McCallum (1996)). A variação da taxa nominal de câmbio deve ser igual a diferença entre a inflação doméstica e externa, mantendo a taxa de câmbio real estável. Com isso, a curva de Phillips de longo prazo volta a ser igual à de uma economia fechada, pois há neutralidade de longo prazo das pressões de inflação externa<sup>7</sup>:

$$(2.3) \pi - \pi_{-1} = b(D)$$

A curva de Phillips aceleracionista do Novo Consenso para economia aberta, entretanto, muitas vezes não apresenta bons resultados empíricos<sup>8</sup>. Do ponto de vista teórico, as principais objeções à formulação da curva de Phillips aceleracionista são: a) que a inércia não é completa ( $a < 1$ ) (Serrano (2007), Setterfield (2004)); que a PPP não se verifica empiricamente (Lavoie 2000, Summa 2010a); e que o conflito distributivo e outras variáveis que afetam os custos são importantes (Serrano, 2007);<sup>9</sup>.

No modelo alternativo proposto, utilizaremos as hipóteses de inércia parcial, da inflação importada relevante no longo prazo para a inflação doméstica e da presença de conflito distributivo e pressões de custo.

Com relação à inflação importada, esta depende tanto da inflação dos produtos transacionados com o exterior quanto da variação da taxa de câmbio nominal. Com reação ao conflito distributivo e pressões de custo, podemos ainda testar mais uma hipótese, seguindo Pivetti (1991), Lima e Setterfield (2008) e Serrano (2010b), que argumentam que mudanças na taxa de juros nominal ( $\Delta i$ ) têm efeitos inflacionários tanto pelo efeito do custo financeiro (para empresas endividadas) quanto para o efeito de custo de oportunidade do capital (pois a margem nominal de lucros segue a taxa

7 Ver Summa (2010a), cap.1.

8 Fair (2000) mostra que a estimação da curva de Phillips aceleracionista, para os EUA, não é uma boa aproximação para a dinâmica atual do processo inflacionário e propõe um modelo com índice de preços e de salários, pois a relação entre nível de preços e salários com o desemprego explica melhor a dinâmica inflacionária.

<sup>9</sup> Como mostram Serrano (1986), Ros (1989) e Lara (2008), o parâmetro “a” da curva de Phillips é maior ou menor dependendo do estado do conflito distributivo. Braga (2006) argumenta que, com a diminuição do acirramento do conflito distributivo nos EUA a partir da década de 80, o parâmetro “a” caiu consideravelmente e ficou menor que um. Setterfield e Lovejoy (2006) e Pollin(2002) mostram que, ao incluir explicitamente na equação da inflação variáveis que capturem o grau do conflito distributivo, o parâmetro “a” tem seu valor diminuído.

nominal de juros e, dessa maneira, também geram pressões inflacionárias). Dessa maneira, a curva de Phillips alternativa terá a seguinte forma:

$$(2.4) \pi = a\pi_{-1} + b(D) + \sigma\Delta i + \theta(\Delta e + \pi^w), \text{ com } a < 1.$$

Com  $\Delta e$  denotando a variação da taxa de câmbio nominal;  $\pi^w$  a inflação dos produtos transacionados com o exterior (medidos em moeda estrangeira); e  $\theta$  um parâmetro que reflete o peso dos bens *tradables* no índice de preços e ( $\Delta i$ ) a variação na taxa de juros nominal.

Sintetizando, temos em termos gerais dois modelos para estimar:

$$(2.5) \text{ Aceleracionista: } \Delta\pi = f(D)$$

$$(2.6) \text{ Alternativo: } \pi = g(\pi_{-1}, D, \Delta e + \pi^w, \Delta i)$$

Como os modelos a serem testados e comparados serão estimados pelo método de redes neurais, não linear, a hipótese do modelo aceleracionista é que há relação entre o hiato (do produto ou desemprego) e a aceleração da inflação, conforme equação (2.5); enquanto o modelo alternativo estabelece uma relação entre a taxa de inflação com a inflação defasada, hiato (do produto ou desemprego), inflação importada em R\$ e variação da taxa básica de juros.

### 3. Evidências empíricas para o Brasil

Existem diversos trabalhos empíricos que empregam diferentes métodos de estimação para a relação de Phillips no caso brasileiro recente.

Com relação à curva de Phillips brasileira ser aceleracionista ou não, parece haver bastante evidências de que a inércia é parcial, e que a soma dos parâmetros da inflação defasada é menor que 1 (Summa, 2010b)<sup>10</sup>.

Com relação aos choques de demanda, após uma resenha sobre os diversos trabalhos empíricos sobre a curva de Phillips, Summa (2010b) conclui que na maioria desses trabalhos não há um consenso em relação aos resultados de pressões de demanda sobre a inflação. As principais variáveis utilizadas para o cálculo de pressões de demanda são o hiato de desemprego e o hiato do produto (industrial e PIB).

Com relação ao hiato do desemprego, essa variável mostra em geral pouca relevância para explicar a inflação. Isso talvez ocorra porque a diminuição do desemprego não acarreta em crescimento dos salários reais acima da produtividade, como mostram Bastos e Braga (2010). Portanto, não é de se esperar impacto na inflação.

O hiato do produto medido pela produção industrial aparece com significativo em alguns trabalhos e em outros não. Ferreira e Jayme Junior (2004) encontra resposta não significativa de choques no hiato da produção industrial sobre a inflação, medindo por um modelo VAR, e estimativas por MQO de Braga (2010) mostram também que o hiato do produto não é estatisticamente significativo com relação a inflação. Moreira e outros (2007) e mais recentemente Holland (2010) encontram uma relação positiva entre o hiato do produto (com três meses de defasagem) e a inflação.

---

10 O trabalho também conclui o mesmo para o caso em que as expectativas são incorporadas na curva de Phillips, além de mostrar que a inflação defasada é correlacionada com as variáveis de expectativas utilizadas nas regressões.

Com relação à taxa de câmbio e inflação importada, Braga (2010) estima uma curva de Phillips por MQO e obtém parâmetro significativo que explica a relação entre inflação importada em R\$ e inflação doméstica<sup>11</sup>. Araujo e Modenesi (2010) chamam a atenção que o impacto cambial é expressivamente maior do que o impacto da demanda agregada sobre o IPCA e que há evidências de que o setor externo desempenha um papel crucial na evolução da inflação brasileira.

Por fim, alguns trabalhos, como os de Ferreira e Jayme Jr (2004) e Silva Filho (2008) encontram a presença do “*Price Puzzle*”, para a economia brasileira, ou seja, de que variações na taxa básica de juros afetam em um primeiro momento a inflação de maneira positiva.

Dessa maneira, utilizaremos o instrumental de estimação das redes neurais, que incorpora relações lineares e não-lineares entre as variáveis e será melhor explicado na seção seguinte, para tentar ver em que medida estes resultados estimados por modelos lineares se confirmam.

#### 4. Redes neurais

Rede Neural é um modelo composto por unidades (chamadas na literatura de “neurônios”) constituídas de funções não-lineares (tipicamente sigmóides e tangentes hiperbólicas). A combinação destas unidades, através de parâmetros estimados a partir dos dados, é o que confere a capacidade deste modelo de inferir relações não-lineares de complexidade arbitrária. Na forma utilizada neste estudo, Rede Neural *feedforward*, estas unidades são arrumadas em camadas, sendo uma camada de entrada conectada a uma camada oculta, que está diretamente conectada à saída do modelo. Estas conexões entre as unidades, ou neurônios, são chamadas de pesos (originalmente a terminologia era “pesos sinápticos”). Estes pesos são os parâmetros do modelo que são ajustados por um algoritmo iterativo através dos dados. Uma vez ajustados os pesos, a rede tem a capacidade de representar a relação dos dados de entrada com a variável de saída, que no nosso estudo é a inflação. A capacidade de aprender através de “exemplos” ou dados (na-amostra) e de generalizar (fora-da-amostra) informação gerada em ambientes não-lineares complexos, é sem dúvida a grande vantagem das Redes Neurais.

Seja  $x \in \mathfrak{R}^n$  o vetor contendo as variáveis de entrada e  $w \in \mathfrak{R}^M$  o vetor com todos os pesos e bias<sup>12</sup> de uma Rede Neural Artificial (RNA), sendo  $M = m n + 2 m + 1$ , com  $m$  correspondendo ao número de neurônios na camada oculta. Os bias das funções das camadas ocultas da Rede são representados por  $b_k$  e o bias da camada de saída por  $b$ . O modelo de uma RNA pode ser escrito como:

$$y = f(x, w) = \sum_{k=1}^m (w_k c_k) + b \quad (4.1)$$

onde  $c_k$  representa uma função da forma:

$$c_k = \phi \left( \sum_{i=1}^n w_{ik} x_i + b_k \right) \quad (4.2)$$

<sup>11</sup> Mesmo argumento aparece em Serrano (2010), sem estimativas mas utilizando um gráfico para mostrar a relação.

<sup>12</sup> O bias tem o efeito de aumentar ou diminuir a entrada líquida da função, dependendo se ele é positivo ou negativo, respectivamente.

Usualmente, dado um conjunto  $U$  contendo  $N$  pares de entrada/saída,  $U = \{X, Y\}$  para  $X = \{x_1, x_2, \dots, x_N\}$  e  $Y = \{y_1, y_2, \dots, y_N\}$ , onde  $y \in \mathfrak{R}$  representa a saída desejada, o objetivo de RNAs reside na estimação do vetor de pesos  $w$  através da minimização do risco empírico (erro de treinamento da rede) dado por:

$$\hat{\Psi} = \min_w \{E_s(w, U)\} = \frac{1}{2} \sum_{j=1}^N (y_j - f(x_j w))^2 \quad \text{ou}$$

$$\hat{\Psi} = \arg \min_{\Psi} Q_1(\Psi) = \arg \min_{\Psi} \sum_{t=1}^N (y_t - G(x, \Psi))^2 \quad (4.3)$$

Esta minimização é realizada utilizando o algoritmo clássico de retropropagação do erro, ou até mesmo métodos de segunda ordem como Levenberg-Marquardt (Bishop, 1995).

Este tipo de modelo não-linear tem sido utilizado com sucesso em uma gama extensiva de aplicações desde o final da década de 80. Referências clássicas em Redes Neurais incluem Haykin (1998), Bishop (1995) e Príncipe et al. (2000).

As variáveis consideradas relevantes para o modelo são utilizadas como entrada da Rede Neural, e, após o processo de treinamento, tem-se como saída da Rede a inflação para o período  $t$ . Utilizou-se a função de ativação tangente hiperbólica na camada oculta e a função de ativação linear na unidade de saída de forma que a saída da Rede se aproxime da verdadeira inflação no tempo  $t$ .

No processo de aprendizado utilizou-se o algoritmo de Regularização Bayesiana (Mackay, 1992). Neste algoritmo, assume-se que os parâmetros da Rede são variáveis aleatórias com distribuições especificadas. Os parâmetros de regularização são variâncias desconhecidas associadas a estas distribuições e pode-se calcular estes parâmetros utilizando então técnicas estatísticas. Portanto o modelo não é especificado de uma forma arbitrária.

O aprendizado ou treinamento de uma rede neural tem tipicamente por objetivo reduzir a soma dos quadrados dos erros (Foresee & Hagan, 1997), conforme a seguinte equação:

$$\hat{\Psi} = \arg \min_{\Psi} Q_1(\Psi) = \arg \min_{\Psi} \sum_{t=1}^N (y_t - G(x, \Psi))^2 \quad (4.4)$$

Onde  $(x, \Psi) \in X \times \Psi$ , sendo  $x = [x_1, x_2, \dots, x_I]$  vetores de variáveis independentes e  $\Psi$  o vetor de parâmetros  $\Psi = [\alpha, \gamma]$ , composto pelos vetores de pesos da camada de saída e da camada oculta respectivamente;  $y_t$  é a saída alvo da Rede e  $G(x, \Psi)$  é a saída estimada pela Rede. Assim como outros modelos flexíveis não-lineares, as Redes Neurais podem sofrer de *overfitting*. Este problema ocorre quando é utilizado um número excessivo de neurônios na camada oculta, que levarão a uma perda da capacidade de generalização (fora-da-amostra). Em contrapartida, se o número de neurônios em excesso for reduzido, ocorre a perda da capacidade de aproximar o processo gerador dos dados (Medeiros & Pedreira, 2001).

Atualmente, diversas metodologias são utilizadas para solucionar o problema de *overfitting* (Haykin, 1998). Neste estudo, será utilizado o procedimento desenvolvido por Mackay (1992), chamado de Regularização Bayesiana, que consiste em adicionar

um termo de penalização (regularização) à função objetivo, de forma que o algoritmo de estimação faça com que os parâmetros irrelevantes convirjam para zero, reduzindo assim o número de parâmetros efetivos utilizados no processo.

Seguindo a notação utilizada por Medeiros & Pedreira (2001), o problema de estimação passa a ser definido como:

$$\hat{\Psi} = \arg \min_{\Psi} Q_T(\Psi) = \arg \min_{\Psi} \sum_{t=1}^N (\eta Q_1(\Psi) - \phi Q_2(\Psi))^2 \quad (4.5)$$

Onde  $\eta$  e  $\phi$  são parâmetros de regularização,  $Q_1(\Psi)$  pode ser deduzido da equação 4.1, e  $Q_2(\Psi)$  é a função de penalização, que é dada pela soma do quadrado dos parâmetros  $\alpha$ ,  $\gamma$ , vetores de pesos da camada de saída e da camada oculta, respectivamente, conforme a seguinte equação:

$$Q_2(\Psi) = \sum_{h=0}^H \alpha_h^2 + \sum_{h=0}^H \sum_{i=0}^I \gamma_{hi}^2 \quad (4.6)$$

O problema de regularização é otimizar a função objetivo de forma a encontrar valores para os parâmetros de regularização  $\eta$  e  $\phi$ . Este problema de otimização requer o cálculo da matriz *Hessiana* como pode ser visto em (Mackay, 1992). O algoritmo desenvolvido por (Foresee & Hagan, 1997) propõe a aproximação da matriz *Hessiana* pelo algoritmo de *Levenberg-Marquardt* (Levenberg, 1944; Marquardt, 1963), reduzindo o custo computacional.

Todos os modelos utilizados neste estudo tiveram como arquitetura da rede neural uma camada de entrada, uma camada escondida com dez neurônios e uma camada de saída com um neurônio. A função de ativação tangente hiperbólica foi utilizada em todos os neurônios da camada oculta e a função de ativação linear na unidade de saída. Os pesos e os bias foram inicializados através do algoritmo de Nguyen-Widrow (1989).

## 5. Dados e resultados

Os dados utilizados para as estimativas são de frequência mensal e a amostra vai de 1999:07 a 2010:09, que é o período que compreende o funcionamento do sistema de metas de inflação. Os dados utilizados para a inflação são da variação do IPCA, medido pelo IBGE. Para as pressões de demanda, calculamos dois hiatos, do produto e da taxa de desemprego. O hiato do produto industrial é a relação entre o produto industrial observado, calculado pela PIM-IBGE e o produto industrial potencial, calculado pelo filtro HP. O hiato de desemprego também é uma relação calculada entre a taxa de desemprego observada do SEADE-DIEESE e sua média móvel, calculada também por um filtro HP.

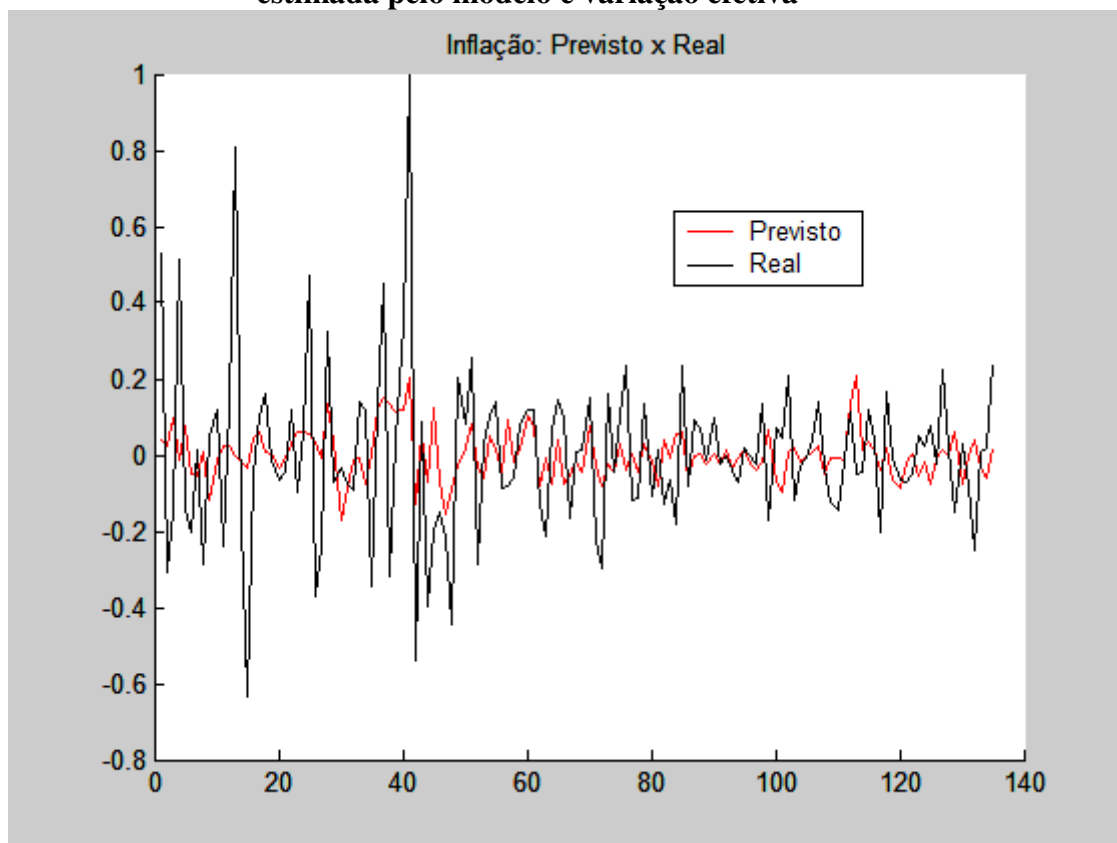
A inflação importada em R\$ leva em conta a variação dos índices de preços dos produtos importados pelo Brasil, calculado pela FUNCEX, e a variação da taxa nominal de câmbio. A variação da taxa SELIC mede a variação mensal da taxa selic observada/over em termos anualizados. Para todas as séries rejeitamos a presença de raiz unitária pelo teste ADF.

A primeira hipótese testada foi de que o modelo aceleracionista é uma boa aproximação para explicar o processo inflacionário brasileiro recente, e, portanto, hiatos



de produto (negativos) positivos levam a (des)aceleração da inflação. O resultado da estimação desse modelo (MODELO 1) por Redes Neurais é que ele não parece explicar bem o processo inflacionário brasileiro, como pode ser visto no gráfico 1 abaixo, em que a variação da inflação prevista pelo modelo se diferencia bastante da ocorrida de fato. Outro indicador da relevância dos resultado é o R2 que é muito baixo, de 0,09, o que nos leva a concluir que não é uma boa aproximação a estimação da aceleração da inflação com o hiato do produto<sup>13</sup>.

**Gráfico 1 – Modelo Aceleracionista: Relação entre variação da inflação estimada pelo modelo e variação efetiva**



Dessa maneira, passamos para a estimação da relação entre a inflação e o hiato do produto (MODELO 2). Primeiramente, estimamos um modelo linear por MQO, como primeira aproximação, considerando a inflação defasada, o hiato do produto defasado e a inflação importada defasada como variáveis explicativas. O resultado pode ser visto na Tabela 1 abaixo:

<sup>13</sup> Na literatura, muitas vezes é imposto uma condição de que os parâmetros das defasagens (ou defasagens e expectativas) devem somar 1, o que implica em forçar para que o modelo se comporte como aceleracionista. Silva Filho (2008) inclusive estima a relação entre a variação da inflação e a taxa de desemprego. Para críticas a esse procedimento de imposição do valor dos parâmetros, ver Summa (2010b).

**Tabela 1: Resultados do modelo linear (MODELO 2)**

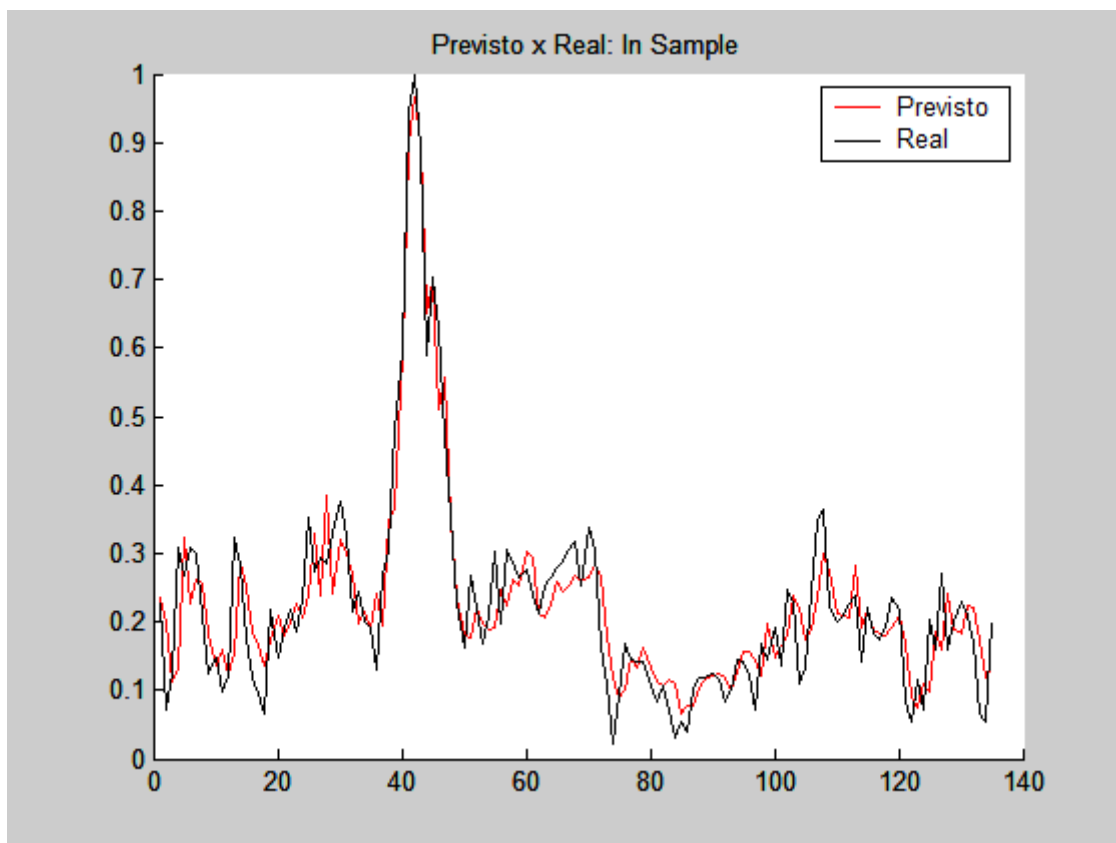
Variável dependente: Inflação					
Coefficients					
Modelo	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
	B	Std. Error	Beta		
(Constant)	,055	,026		2,136	,035
INFLAÇÃO (-1)	,877	,041	,877	21,254	,000
HPROD(-1)	,000	,004	,000	,011	,991
INFIMP_R\$ (-1)	1,488	,343	,187	4,335	,000
Model Summary					
Modelo	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	
	,882 <sup>a</sup>	,778	,773	,17039	

Observamos no modelo estimado acima que a variável inflação defasada (em um período) e inflação importada em R\$ são estatisticamente significativas a 5%, enquanto a variável hiato da produção industrial não apresenta parâmetro estimado significativo.<sup>14</sup> Em seguida, estimamos as mesmas relações entre as variáveis descritas no caso linear pelo método das Redes Neurais para captar, além das relações lineares entre as variáveis, possíveis relações não lineares entre elas.

O resultado entre o modelo previsto pelas redes neurais e a amostra mostram que as variáveis escolhidas parecem explicar bem a inflação, conforme pode ser observado na Figura 2.

<sup>14</sup> Os mesmos resultados são obtidos utilizando o hiato do desemprego ao invés do hiato do produto.

**Figura 2 – Relação entre a inflação estimada pelo modelo e a inflação efetiva**

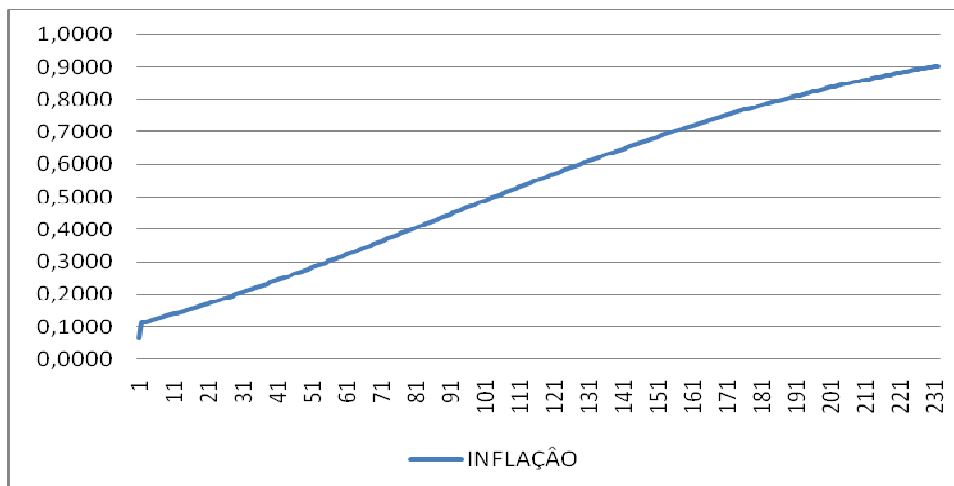


Podemos comparar os resultados obtidos entre o modelo estimado por redes neurais e o modelo linear simples. No modelo linear, o R<sup>2</sup> da estimativa foi de 0,77 e o das redes neurais 0,90, o que mostra que o modelo de redes neurais capta outras relações entre as variáveis e consegue produzir resultados melhores.

Para avaliar os resultados do MODELO 2 de como as variáveis afetam a inflação, fizemos simulações com as formas funcionais estimadas mantendo as demais variáveis constantes e aplicando um choque cada vez maior da variável em questão, para avaliar os resultados em termos de inflação.

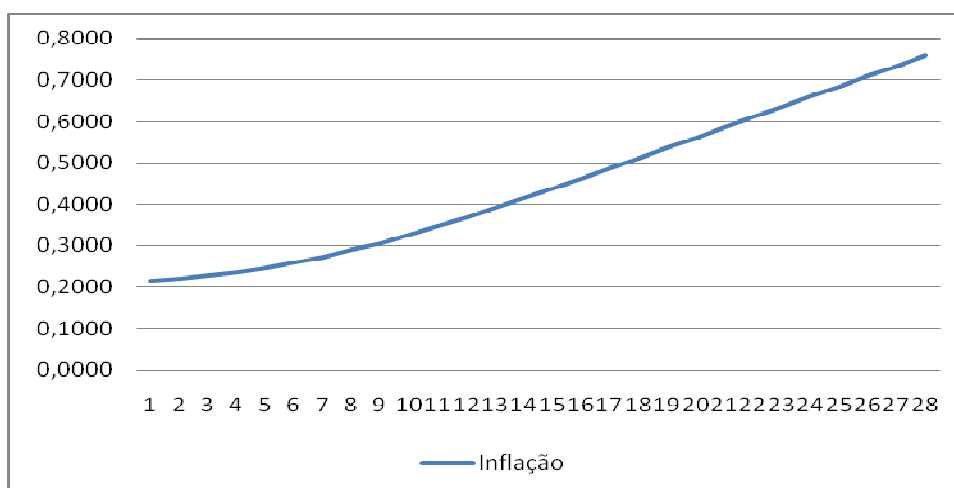
Com relação à inflação defasada, um choque nessa variável cada vez maior tende a gerar, conforme é esperado, taxas de inflação também cada vez maiores, como pode ser visto na Figura 3.

**Figura 3 – Efeito de choques da inflação defasada sobre a inflação**



Com relação à inflação importada defasada medida em R\$, um choque positivo dessa variável cada vez maior também tem o efeito de levar a aumentos sistemáticos da inflação (Figura 4). O resultado está dentro do esperado, pois uma inflação importada em R\$ mais alta significa um aumento nos preços dos bens transacionáveis, que é repassada para os custos e preços domésticos.

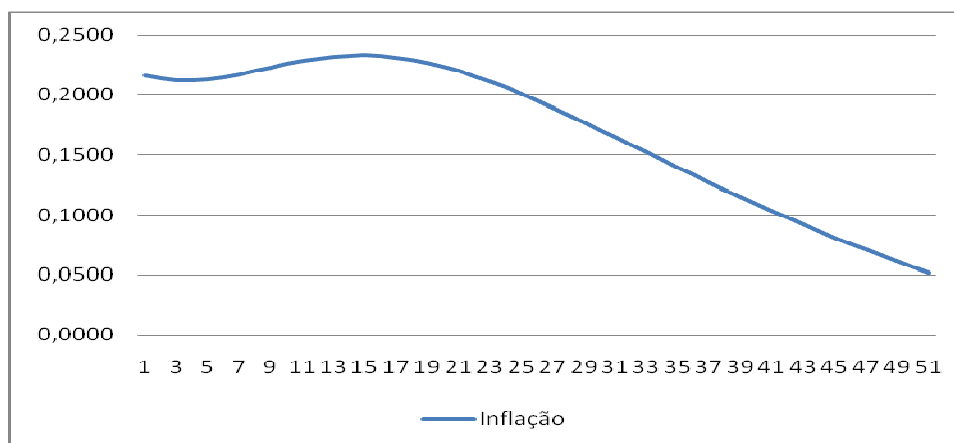
**Figura 4 – Efeito de choques positivos da inflação importada em R\$ sobre a inflação**



Podemos notar também uma assimetria entre a inflação importada medida em R\$ quando esta recebe um choque negativo com relação ao efeito sobre a taxa de inflação. Conforme pode ser visto na Figura 5, a diminuição da inflação importada na mesma escala que o aumento no caso anterior gera um efeito bem menor em termos de redução da inflação. Isso pode indicar que em períodos em que a inflação importada diminui,

uma parte desse ganho não é repassado para os preços, o que faz com que as margens de lucro aumentem.

**Figura 5 – Efeito de choques negativos da inflação importada em R\$ sobre a inflação**



Com relação ao hiato do produto, podemos observar na Figura 6 que um choque positivo e cada vez maior do hiato do produto apresenta resultados que não condizem com a teoria econômica explicitada na seção 2. Afinal, um choque positivo tem efeitos ora positivos, ora negativos sobre a inflação, o que mostra que há uma relação não linear entre o hiato do produto e a inflação. Dessa maneira, parece não haver uma relação sistemática de que hiatos positivos levem necessariamente a aumentos na inflação.

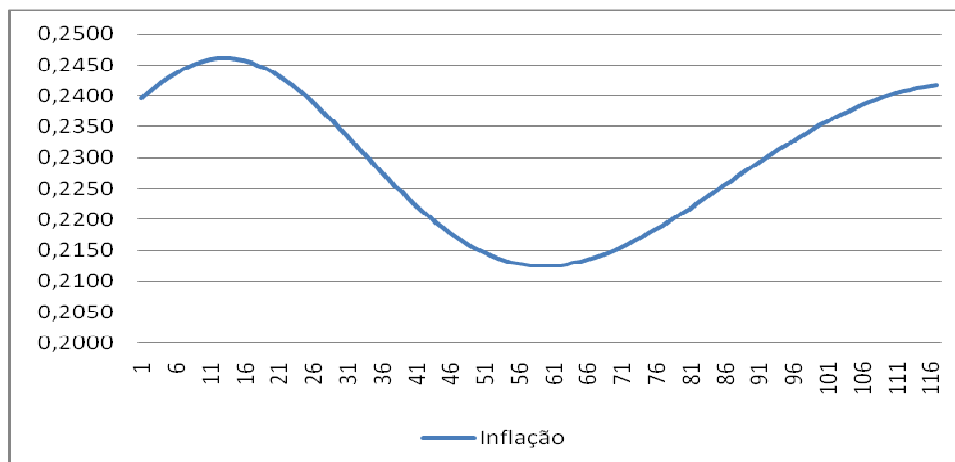
Uma hipótese para este resultado é que a própria maneira que o hiato é calculada, pelo Filtro HP, implica que este tem necessariamente média zero e hiatos simétricos<sup>15</sup>, oscilando em torno dessa média, o que pode fazer com que hiatos maiores de produto estejam associados à inflação mais alta em alguns períodos e hiatos ainda maiores estejam associados à inflação mais baixa em outros períodos. Ou seja, o método de cálculo do filtro HP e seus resultados simétricos em termos de hiato do produto parecem ser incompatíveis com a dinâmica recente da inflação brasileira.

Isso também explica o fato de que alguns trabalhos encontram, enquanto outros não encontram relação significativa do hiato do produto sobre a inflação, conforme discutido na seção 3 deste trabalho. Afinal, dependendo da amostra escolhida, os hiatos maiores podem estar mais relacionados com inflação maiores ou menores<sup>16</sup>.

<sup>15</sup> Ver Barbosa-Filho (2005) para uma análise dos problemas relacionados ao cálculo do produto potencial pelo filtro HP.

<sup>16</sup> Barbosa-Filho (2009) mostra também que, quando calculado pelo Filtro HP, a própria série do hiato do produto se modifica quando novas observações são introduzidas, e a diferença de amostra tem o efeito de mudar toda a série de hiato do produto.

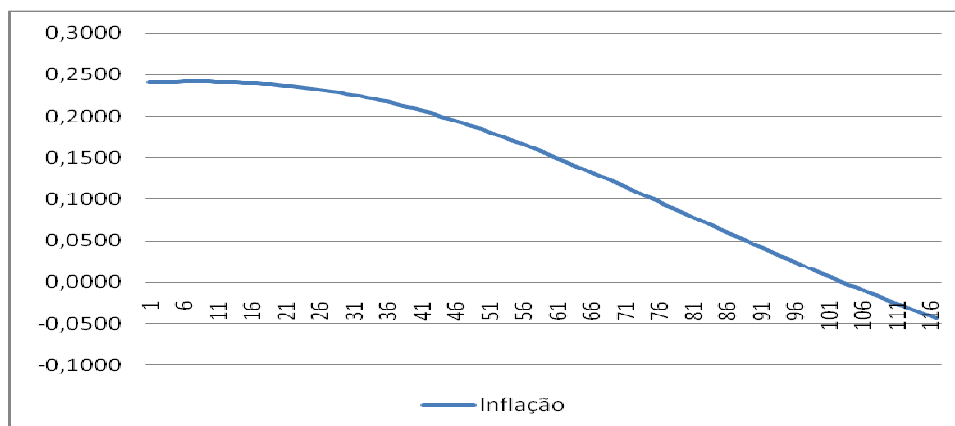
**Figura 6 – Efeito de choques positivos do hiato do produto sobre a inflação**



Uma possível hipótese levantada para o fato do resultado do hiato do produto sobre a inflação ter se mostrado não-linear é que consideramos no MODELO 2 o hiato do produto com apenas uma defasagem. Em uma estimação mais recente, Holland (2010), utilizando amostra mensal de 1999 a 2008, o hiato do produto com três defasagens aparece como estatisticamente significativo e com sinal esperado. Dessa maneira, estimamos o MODELO 3, que é igual ao MODELO 2 porém considera o hiato do produto com três defasagens, ao invés de uma defasagem. O resultado em termos de R2 do modelo estimado por redes neurais é igual, também 0,90.

As respostas da inflação a choques na inflação defasada e inflação importada em R\$ são iguais às do MODELO 2, porém a resposta da inflação frente ao hiato do produto são contrárias ao que prevê a teoria. Conforme pode ser visto na figura 7 abaixo, um aumento no hiato do produto cada vez maior leva a uma inflação cada vez menor, quando, segundo a teoria econômica, deveria aumentar.

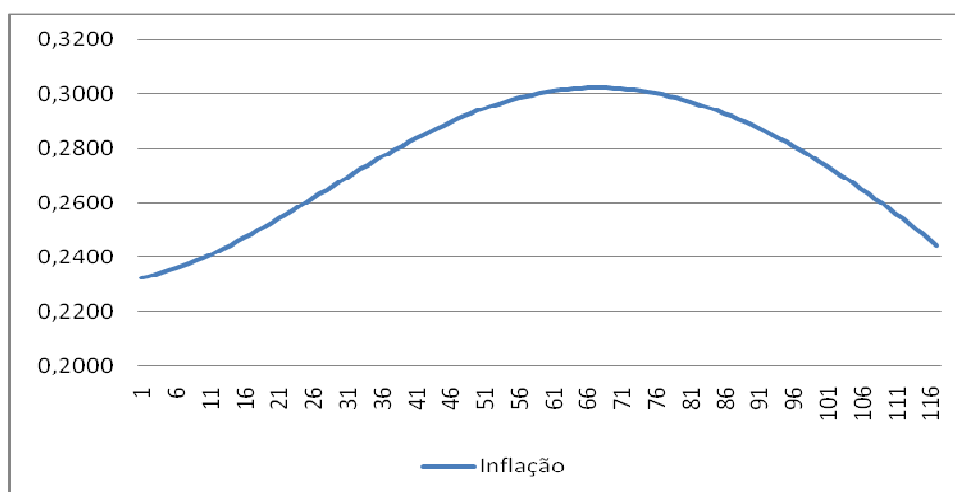
**Figura 7 – Efeito de choques positivos do hiato do produto sobre a inflação**



Estimamos ainda o MODELO 4, que reproduz o modelo 2 porém acrescenta a variável “Variação da taxa selic” (taxa básica de juros) defasada, para captar o efeito do canal de custo dos juros sobre o preço, discutidos na seção 2. Os resultados do modelo melhoram um pouco ao introduzir variação da taxa selic defasada, apresentando um R2 de 0,91.

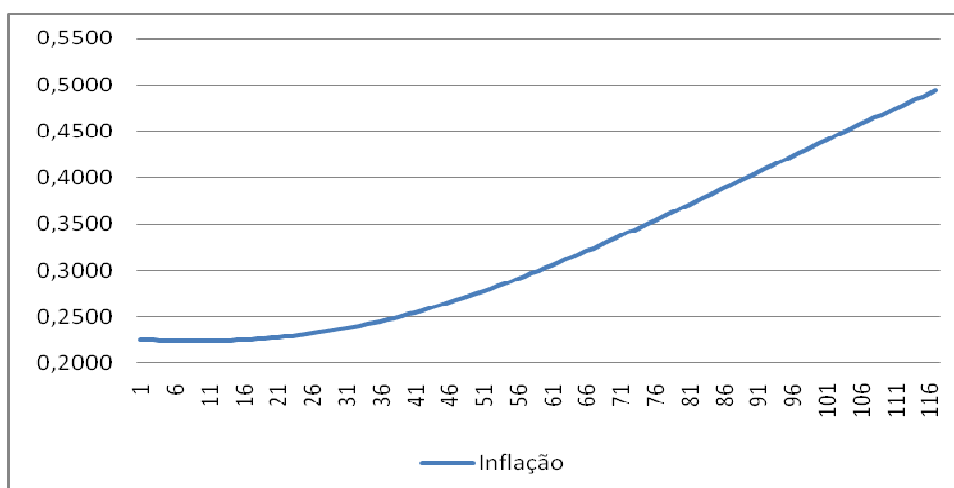
Analisando as simulações em termos de resultados da inflação para choques cada vez maiores nas variáveis, notamos que a introdução da taxa de juros selic não altera o comportamento da relação do hiato do produto com a inflação, que continua sendo não-linear, conforme pode ser visto na figura 8 abaixo.

**Figura 8 – Efeito de choques positivos do hiato do produto sobre a inflação**



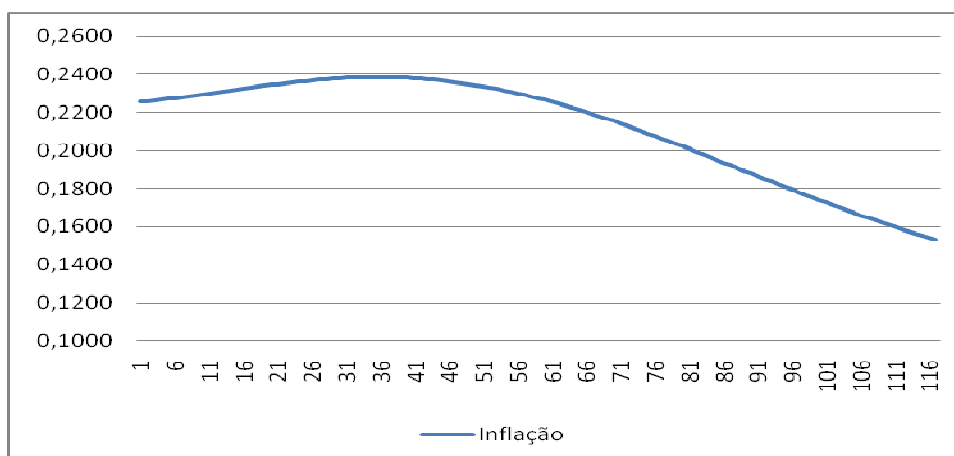
Podemos notar que um choque positivo na taxa básica de juros selic tem o efeito de aumentar a inflação, conforme pode ser visto no gráfico 9. Esse resultado, que muitas vezes é referido como “*price puzzle*”, pois a teoria convencional espera que aumentos na taxa básica de juros deveriam diminuir a inflação, é explicável pela idéia de que os custos financeiros e/ou as margens de lucro têm relação positiva com a taxa de juros, conforme discutido na seção 2 deste artigo. É importante notar ainda, pelo gráfico abaixo, que choques pequenos de juros não geram efeito sobre a inflação, e esta última começa a responder positivamente a aumentos nos juros apenas quando as variações na taxa selic passam de certa magnitude (no caso, o limite parece ser variações da selic acima de 2,5 p.p.).

**Figura 9 – Efeito de choques positivos da variação da selic sobre a inflação**



Da mesma maneira, os resultados em termos de inflação para choques negativos na taxa de juros selic mostram que apenas a partir de choques negativos maiores a inflação começa a declinar, conforme observado na Figura 9.

**Figura9 – Efeito de choques negativos da variação da selic sobre a inflação**



A tabela 2 abaixo resume os modelos testados e as variáveis de saída e dados de entrada utilizados nos quatro modelos aqui descritos.



**Tabela 2: Resumo dos modelos estimados**

	Variável de Saída	Dados de Entrada			
<b>MODELO 1</b>	ACELERAÇÃO DA INFLAÇÃO	-	HIATO DO PRODUTO (-1)	INFLAÇÃO IMPORTADA EM R\$ (-1)	-
<b>MODELO 2</b>	INFLAÇÃO	INFLAÇÃO (-1)	HIATO DO PRODUTO (-1)	INFLAÇÃO IMPORTADA EM R\$ (-1)	-
<b>MODELO 3</b>	INFLAÇÃO	INFLAÇÃO (-1)	HIATO DO PRODUTO (-3)	INFLAÇÃO IMPORTADA EM R\$ (-1)	-
<b>MODELO 4</b>	INFLAÇÃO	INFLAÇÃO (-1)	HIATO DO PRODUTO (-1)	INFLAÇÃO IMPORTADA EM R\$ (-1)	VARIAÇÃO DA TAXA SELIC (-1)

## 6. Considerações finais

Nesse artigo buscamos contribuir para o debate sobre a dinâmica da inflação brasileira recente e suas causas. Em primeiro lugar, notamos que o modelo aceleracionista da inflação apresenta resultados muito inferiores ao modelo que considera apenas a inflação como variável dependente, e isso tem implicações para alguns estudos que insistem em impor condições aceleracionistas para os parâmetros estimados da curva de Phillips. Para a curva de Phillips tradicional, vimos ainda que o hiato do produto (e do desemprego) não apresenta relação sistemática com a inflação, como sugere a teoria, mas que a inflação importada em R\$ e a variação da selic apresentam relação mais clara com a inflação, evidenciando um forte componente de pressão de custos para a dinâmica inflacionária brasileira.

As implicações em termos de política econômica são importantes e sugerem que o controle da demanda não parece ser a maneira pela qual a inflação é controlada no Brasil, mas sim a valorização da taxa de câmbio que por sua vez tem o efeito de diminuir a inflação importada. Nesse sentido, a política de ajuste fiscal anunciada pelo governo atual, que deveria servir para diminuir a demanda agregada, e assim controlar as pressões inflacionárias não encontram respaldo nas evidências empíricas aqui expostas.

As evidências sugerem que para a inflação ser controlada é necessário afetar de alguma maneira a inflação importada ou reduzir o efeito da inércia inflacionária. Para o primeiro caso, seria necessário ou valorizar ainda mais a taxa nominal de câmbio ou adotar uma política tributária para reduzir de alguma maneira a inflação importada em R\$ de alguns produtos importados e exportáveis. Para o segundo caso, diminuir a inércia presente sobretudo nos preços de serviços de utilidade pública que o governo tem algum controle. Mas esse já é um assunto que precisa ser tratado com mais detalhes em outro artigo.

## Bibliografia

- Araujo, E. ; Modenesi, A. A Importância do Setor Externo na Evolução do IPCA (1999-2010): uma análise com base em um modelo SVAR, XXXVIII Encontro Nacional de Economia, Salvador, 2010
- Bishop, C.M. Neural Networks for Pattern Recognition. Clarendon Press,Oxford, 1995
- Barbosa-Filho, N. H. Estimating potential output: an analysis of the alternative methods and their applications to Brazil. Rio de Janeiro: ipea, 2005 (Texto para discussão).
- Barbosa-Filho, N.H. Estimando e revisando o produto potencial do Brasil: uma análise do filtro Hodrick-Prescott com função de produção. Em: Gentil, D.; Messenberg, R. (org). Crescimento Econômico: produto potencial e investimento. IPEA, 2009.
- Bastos, C.; Braga, J. Conflito Distributivo e Inflação no Brasil: uma aplicação ao período recente. Anais do XV Encontro Nacional de Economia, São Luis do Maranhão, 2010.
- Blinder, A. Is there a core of practical macroeconomics that we should all believe? American Economic Review, 1997
- Baga, J. Raiz unitária, inércia e histerese: o debate sobre as mudanças da NAIRU na economia americana nos anos 1990. Tese de doutorado, IE-UFRJ, 2006
- Braga, J. O atual regime de política econômica favorece o desenvolvimento? Brasília, DF: CEPAL. Escritório no Brasil/IPEA, 2010. (Textos para Discussão CEPAL-IPEA, 16).
- Eller, J . W. ; Gordon, R. J. Nesting the New Keynesian Phillips curve within the mainstream model of U.S. inflation dynamics, Konferenzbeitrag, CEPR Conference "The Phillips Curve revisited" in Berlin, 5.-7. June 2003.
- Fair, R. "Testing the NAIRU model for the United States" Review of Economics and Statistics, Feb. 2000.
- Ferreira, A. B. ; Jayme Jr, F. G. Metas de Inflação e Vulnerabilidade externa no Brasil, Anais do XXXIII Encontro Nacional de economia da ANPEC, 2005
- Foresee, F.D. & Hagan, M.T. Gauss-Newton approximation to Bayesian regularization. Proceedings of the 1997 International Joint Conference on Neural Networks, 1997
- Friedman, Milton, The Role of Monetary Policy, American Economic Review 58, 1968.
- Fuhrer, J. "The (Un)Importance of Forward-Looking Behavior in Price Specifications" Journal of Money Credit, and Banking, Vol, 29, No. 3. 1997
- Gordon, R. "The time-varying NAIRU and its implications for economic policy" Journal of Economic Perspectives, Winter 1997.
- Haykin, S. Neural Networks: a comprehensive foundadtion. Prentice-Hall, 1998.
- Holland, M. ; Mori, R. Dinâmica da Inflação no Brasil e os Efeitos Globais Revista EconomiA set/dez 2010
- Lara, F. Um estudo sobre moeda, juros e distribuição. Tese de doutorado, IE-UFRJ, 2008.

- Lavoie, M. "A Post Keynesian view of parity theorems", *Jornal of Post Keynesian Economics*, fall, 2000
- Lavoie, M. A post-Keynesian amendment to the New consensus on monetary policy, *Metroeconomica*, vol. 57, no. 2, pp. 165-192, May 2006.
- Levenberg, K. A method for the solution of certain problems in least squares. *Quarterly of Applied Mathematics*, 2, 164-168, 1944.
- Lima, G ; Setterfield, M. Pricing behavior and the cost-push channel of monetary policy, *Review of Political Economy*, 2010.
- MacKay, D.J.C. Bayesian interpolation. *Neural Computation*, 4(3), 415-447, 1992.
- Marquardt, D. An Algorithm for Least Squares Estimation of Nonlinear parameters. *SIAM J. Appl. Math.*, 11, 431-441, 1963
- McCallum, B. *International Monetary Economics*, Oxford University press: Oxford, 1996.
- Medeiros, M.C. & Pedreira, C.E. What are the effects of forecasting linear time series with neural networks? *Engineering Intelligent Systems*, 9, 237-242, 2001.
- Moreira; Souza; Almeida. The fiscal theory of the price level and the interaction of monetary and fiscal policies: the brazilian case, *Brazilian Review of Econometrics*, 27 (1): 85-106, 2007.
- Nguyen, D. & Widrow, B.. The truck backer-upper: An example of self-learning In neural networks. *Proceedings of the International Joint Conference on Neural Networks*, 2, 357-363, 1989
- Palumbo, A., Demand and supply forces vs institutions in the interpretations of the Phillips curve, mimeo, Dipartimento di Economia, Roma Tre, 2008
- Pivetti, M. *An essay on money and distribution* London: MacMillan, 1991.
- Phillips, A. W. 'The relation between unemployment and the rate of change of money wage rates in the United Kingdom, 1861-1957', *Economica*, 25, pp. 283-99, 1958.
- Pollin, R. "Wage Bargaining and the US Phillips Curve: was Greenspan right about traumatized workers in the 90s?" mimeo, Political Economy Research Institute, University of Massachusetts Amherst, 2002.
- Principe, J.C.; Euliano, N.R. & Lefebvre, W.C. *Neural and Adaptive Systems: Fundamentals Through Simulations*. John Wiley, 2000.
- Romer, D. Keynesian macroeconomics without the LM curve, *Journal of Economic Perspectives*, 14 (2), 149-169, 2000.
- Romer, D. *Advanced Macroeconomics*. The McGraw-Hill, 3 edição, 2005.
- Romer, D. Short-Run Fluctuations, in:[<http://elsa.berkeley.edu/~dromer>], Jan. 2006
- Ros, J. On inertia, social conflict, and the structuralist analysis of inflation. *WIDER, Working Paper 128*, 1989.
- Setterfield, M. & Lovejoy, T. Aspirations, bargaining power, and macroeconomic performance. *JPKE*, v. 29, n. 1, p. 117-148, 2006.
- Serrano, F. Inflação inercial e desindexação neutra. *Anais da ANPEC*, 1986.

- Serrano, F. Histéresis, dinâmica inflacionaria y el supermultiplicador sraffiano”. Seminarios Sraffianos, UNLU-Grupo Luján. Colección Teoría Económica, Ediciones Cooperativas, 2007.
- Serrano, F. Juros, câmbio e o sistema de metas de inflação no Brasil Revista de Economia Política, Vol. 30, n.1, Jan. 2010a
- Serrano, F. O conflito distributivo e a teoria da inflação inercial, Revista de Economia Contemporanea, 2010b
- Silva Filho, T. Searching for the Nairu in a large relative price shocks’ economy: the brazilian case, BACEN, Working Paper Series, 163, 2008
- Summa, R. Um modelo alternativo ao Novo Consenso para Economia Aberta. Tese de doutorado, mimeo, IE-UFRJ 2010a
- Summa, R. Uma avaliação crítica das estimativas da curva de Phillips no Brasil. In: , XV Encontro Nacional de Economia Política, São Luis do Maranhão, 2010b.
- Taylor, J. B. The Role of the Exchange Rate in Monetary Policy Rules, In: <http://www.stanford.edu/~johntayl/Papers/AEA2001ExchRate.pdf>, 2005