

# RELAÇÕES NÃO LINEARES NA CURVA DE PHILLIPS: UMA ABORDAGEM SEMI-PARAMÉTRICA

TIAGO SANTANA TRISTÃO<sup>1</sup>

HUDSON DA S. TORRENT<sup>2</sup>

July, 2013

**Abstract.** One of the most important macroeconomic's concerns is the comprehension about short-run inflation dynamic. To understand how inflation relates to economic activity is crucial to decision-making in disinflation strategies, as well as in monetary policy paths. A question that arises is what does real form of relation inflation-output trade-off? Could one characterize it as a non-linear relation? If does, what is the shape of this non-linear relation? To answer those questions, we estimate the inflation-output relation semi-parametrically using a local linear kernel estimator. The functional form achieved was approximated by a New-Keynesian Hybrid Phillips Curve, which one was estimated by GMM. This approach was applied to Brazil since 2000. We have found evidence that Brazilian inflation dynamic is better described adding a cubic term related to output gap, in other words, the Brazilian inflation is state-dependent.

**Keywords.** Non-linear Phillips curve. Local Linear Kernel Estimator. Semi-parametric Estimator. Loss function.

**Resumo.** Uma das principais preocupações da macroeconomia é a compreensão da dinâmica da inflação no curto prazo. Entender como a inflação se relaciona com a atividade econômica é decisivo para traçar estratégias de desinflação, assim como, de determinação da trajetória de política monetária. Uma questão que surge é qual a forma exata da relação inflação-produto. Ou seja, podemos caracterizar essa relação como não linear? Se sim, qual a forma dessa não linearidade? Para responder a essas perguntas, estimou-se a relação inflação-produto de forma semi-paramétrica através de um local linear kernel estimator. O resultado da estimação gerou uma forma funcional a qual foi aproximada pela estimação, via GMM, de uma curva de Phillips Novo-Keynesiana Híbrida. Essa abordagem foi aplicada para o Brasil a partir de 2000. As estimações sugeriram que a dinâmica da inflação brasileira é melhor descrita quando adiciona-se um termo cúbico relativo ao hiato do produto, ou seja, a inflação brasileira mostrou-se state-dependent.

**Palavras-chave.** Não linearidades na curva de Phillips. Local Linear Kernel Estimator. Semi-parametric Estimator. Função perda.

**JEL Classifications.** E31, E52, C14

**Área 4 -** Macroeconomia, Economia Monetária e Finanças

---

<sup>1</sup>Doutorando do Programa de pós-graduação do Departamento de Economia da PUC-Rio.

<sup>2</sup>Departamento de Estatística & PPGE, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre - Brasil, email: hudson.torrent@ufrgs.br.

# 1 Introdução

Os modelos Novo-Keynesianos tiveram um grande impacto na macroeconomia e na maneira com que macroeconomistas analisam política monetária. Esta modelagem substituiu o modelo IS-LM-OA na análise de política econômica e tem sido o foco de inúmeros trabalhos que buscam avaliar as principais questões da macroeconomia tais como o papel das expectativas, a persistência inflacionária, o nível de rigidez de variáveis nominais ou reais, etc. O sucesso desta modelagem deve-se às suas principais características, que podem ser resumidas como segue. Primeiro, podemos citar o pressuposto de otimização: Utiliza-se um arcabouço microeconômico de indivíduos maximizadores e firmas maximizadoras operando dentro de uma certa estrutura de mercado (concorrência imperfeita). As equações que formam o modelo são derivadas de microfundamentos, tornando-o assim, de certa forma, imune à crítica de Lucas. Em segundo lugar, esses modelos baseiam-se na existência de concorrência imperfeita: Pressupõe-se alguma forma de concorrência imperfeita. Na maioria dos casos, temos um mercado operando dentro de um sistema de concorrência monopolística. Por último, os modelos apresentam rigidez nominal/real: A existência de competição imperfeita no mercado de bens ou no mercado de trabalho, ou em ambos, gera poder de monopólio para os produtores. Desta forma, os preços e o desemprego são mais altos e o produto é mais baixo do que seriam num mundo de competição perfeita. Uma vez que as firmas têm algum controle sobre seus preços, elas podem escolher as taxas de ajustamento dos preços. Isto permite que o grau ótimo de flexibilidade dos preços para as firmas seja uma questão estratégica, ou seja, endógena. Dessa forma, os modelos Novo-Keynesianos se voltam para a rigidez dos preços dos produtos e do salário monetário, assim como, fatores que provocam a rigidez do salário real ou dos preços relativos das firmas.

Ao longo dos anos, diversos novos elementos têm sido acrescentados ao arcabouço Novo-Keynesiano. Essas modificações foram feitas buscando tornar o modelo mais adequado a diversos fatos estilizados, ou seja, torná-lo mais realista frente a observações empíricas. Um exemplo disso, é a introdução da hipótese de que parte dos agentes não remarca preços de maneira ótima, mas ao invés, utilizam uma regra de bolso que toma a forma de um comportamento backward-looking. Esta modificação na estratégia de remarcação de preços por parte das firmas, leva à consagrada versão híbrida de curva de Phillips Novo-Keynesiana, a qual é composta não só pelos habituais termos de inflação esperada e atividade econômica, mas também, por um termo da inflação defasada, representando a inércia inflacionária.

Inúmeros trabalhos buscam verificar o ajuste dessa modelagem aos dados<sup>1</sup> através de estimações das equações do modelo Novo-Keynesiano. Tradicionalmente, estimativas assumem que a forma da relação produto-inflação é linear. Isto implica que a inclinação da curva de Phillips é constante e, portanto, independente do ciclo econômico. Porém, há um grande número de trabalhos que questionam a validade dessa suposta forma linear<sup>2</sup>. Muitos modelos teóricos de price-setting behaviour argumentam que a inclinação da curva de Phillips é uma função das condições macroeconômicas. De fato, o uso dessa relação linear se baseia na forma funcional das equações do modelo, que são derivadas através de expansões de Taylor e log-linearizações. Essas expansões e log-linearizações são utilizadas para facilitar as estimações e transformar as soluções analíticas tratáveis do ponto de vista matemático. Porém, a linearidade implica que o custo da desinflação, em termos de produto, não varia com o estado da economia ou com a agressividade das políticas de desinflação executadas pelas autoridades monetárias. Em contraste, uma curva de Phillips não linear permite que o custo em termos de produto dependa dessas variáveis. Além disso, há divergências na literatura sobre a preponderância dos componentes backward e forward-looking da curva de Phillips. Alguns estudos, por exemplo, Lindé

---

<sup>1</sup>Ver Galí e Gertler (1999), Linde (2005), Rudd e Whelan (2006) e Zhang et al. (2009).

<sup>2</sup>Ver Lucas (1973), Laxton et al (1994), Debelle e Laxton (1997), Macklem (1997) e Stiglitz (1984, 1997).

(2005), apontam para um papel mais relevante do componente inercial, enquanto outros, como Galí e Gertler (1999), encontram evidências de um papel preponderante do termo forward-looking. Há também divergências quanto ao papel do termo relativo ao excesso de demanda na curva de Phillips. Alguns estudos encontram um papel determinante do hiato do produto na determinação da inflação corrente dependendo da proxy utilizada. Outros estudos rejeitam a relevância do hiato do produto na dinâmica da inflação no curto prazo.

Uma das possíveis causas de divergências entre os resultados empíricos dos modelos Novo-Keynesianos pode ser a hipótese de linearidade imposta na forma funcional das equações. Se existem não linearidades na relação inflação-produto, os métodos lineares geram coeficientes incorretamente estimados, dado que a forma funcional está sendo especificada incorretamente. Nesta dissertação, buscaremos analisar a relação entre a inflação e a atividade econômica, a fim de verificar se essa relação se expressa de forma não linear. Trabalharemos dentro do arcabouço Novo-Keynesiano, mais especificamente, utilizando uma curva de Phillips Novo-Keynesiana Híbrida para descrever a dinâmica inflacionária brasileira. O modelo Novo-Keynesiano não fornece uma estrutura teórica definitiva sobre o formato de uma possível não linearidade na curva de Phillips. Deste modo, utilizaremos aqui um instrumental econométrico não-paramétrico a fim de capturar a forma exata da relação inflação-produto. O uso da econometria não-paramétrica é vantajoso pois possibilita a estimação desta relação, sem que uma forma funcional específica seja imposta. A ideia é utilizar um estimador não-paramétrico para que possamos visualizar a forma funcional e, com essa informação, propor um modelo paramétrico que descreva de forma satisfatória a relação entre inflação e atividade econômica.

A principal vantagem da abordagem apresentada aqui em relação a outros estudos que avaliam a não linearidade da curva de Phillips, é o instrumental econométrico utilizado. Testes paramétricos são sensíveis à forma funcional estabelecida. Os testes de hipótese realizados sobre modelos estimados de forma paramétrica podem levar a rejeição ou não rejeição de uma forma funcional específica definida no teste de hipótese. Porém, com um estimador semi-paramétrico, é possível estimar a relação entre inflação e atividade econômica com restrições mais suaves sobre a forma funcional. Além desta introdução, o trabalho está organizado da seguinte forma. A seção 2 descreve o desenvolvimento teórico da curva de Phillips e os resultados apresentados por estudos recentes sobre não linearidade na curva de Phillips. A seção 3 apresenta os resultados das estimações feitas e faz uma análise dos resultados encontrados quanto ao formato da curva de Phillips. Por fim, são apresentadas as conclusões do trabalho.

## 2 A curva de Phillips

A curva de Phillips postula, em seu formato mais moderno, uma relação positiva entre a inflação corrente e uma medida de excesso de demanda. Contudo, os desenvolvimentos teóricos da curva de Phillips apareceram pioneiramente em Fischer (1926). Usando dados mensais para a economia americana no período de 1915 a 1925, o autor verificou uma forte correlação positiva entre emprego e o nível de preços, e sugeriu que essa relação era causal. A partir de 1926 outras tentativas de expressar uma relação entre o nível de preços e variáveis reais que descrevem o nível de atividade econômica foram formuladas. Dentro desta literatura, Phillips (1958) estimou, utilizando dados do Reino Unido, uma regressão na qual a inflação salarial era descrita pela taxa de desemprego. Essa relação era negativa de forma que quanto menor a taxa de desemprego, maior era a inflação dos salários. Do artigo seminal de Phillips (1958) surgiu a expressão “curva de Phillips” para denominar a relação empírica encontrada entre inflação e desemprego.

Com o passar dos anos essa relação foi sendo refinada e três principais inovações formaram as

bases para a taxa natural de desemprego e para a hipótese aceleracionista da curva de Phillips, as quais foram: imposição de uma variável descrevendo o excesso de demanda; inclusão de um termo relativo às expectativas; e um mecanismo de aprendizado com os erros. A taxa natural e a hipótese aceleracionista são dois conceitos que alteraram a visão dos economistas e dos policymakers sobre a relação entre inflação e desemprego. De acordo com a hipótese aceleracionista, uma baixa taxa constante de desemprego seria alcançada a um custo cada vez maior da taxa de inflação e, por isso, há a impossibilidade de trade-off permanente. A hipótese da Non-Accelerating Inflation Rate of Unemployment (NAIRU), isto é, a taxa de desemprego consistente com uma taxa de inflação estável implica que: quando o desemprego está abaixo da NAIRU, há pressões para que a taxa de inflação suba; inversamente, quando o desemprego está acima da NAIRU, há pressões para a queda da inflação. O conceito da NAIRU, ou seja, taxa natural de desemprego, consolida a relação entre inflação e desemprego e é a base teórica por trás da hipótese aceleracionista.

Mais tarde a curva de Phillips incorporou expectativas racionais. De acordo com a hipótese de expectativas racionais, indivíduos tenderão a levar em conta todas as variáveis disponíveis que são pertinentes para o processo de formação da taxa de inflação e farão previsões embasadas nesse conjunto informacional. Isto implica que erros de previsão só podem ocorrer devido a choques inesperados na taxa de inflação. A abordagem de expectativas racionais tem radicais implicações políticas. Quando incorporada à curva de Phillips, implica que variáveis nominais, como o nível de preços, não podem influenciar variáveis reais como o produto e desemprego, mesmo no curto prazo. Portanto, a taxa de inflação influencia variáveis reais apenas quando ela não é antecipada.

Mais tarde Calvo (1983), utilizando um arcabouço microeconômico de indivíduos maximizadores e firmas maximizadoras operando dentro de um sistema de concorrência monopolística, impõe rigidez nominal na determinação dos preços. Assim, o autor propõe um modelo estrutural que leva a uma curva de Phillips com expectativas racionais que possibilita um trade-off de curto prazo devido à rigidez nominal a qual está submetida o processo de determinação de preços. As firmas possuem uma probabilidade de reajustar os preços, em um determinado período, de acordo com um processo de Poisson. Sendo assim, nem todas são capazes de reajustar seus preços a cada período e isso gera uma rigidez nominal que leva a um ajustamento gradual do nível de preços, que por sua vez, possibilita um trade-off de curto prazo entre inflação e desemprego dentro de um ambiente de agentes que se comportam racionalmente.

## 2.1 A curva de Phillips Novo-Keynesiana

A curva de Phillips derivada do trabalho de Calvo (1983) é conhecida como Curva de Phillips Novo-Keynesiana (CPNK) e foi amplamente estimada e testada devido aos fundamentos microeconômicos que ela possui. No entanto há muitas críticas à CPNK, sobre tudo no que diz respeito às suas características microeconômicas. Ball (1994,1995) demonstra a possibilidade de crescimento econômico como consequência de políticas desinflacionárias críveis dentro do arcabouço teórico da CPNK, fato que é altamente questionável empiricamente. Outra fonte de críticas surge do que Blanchard e Galí (2007) chamaram de “coincidência divina” da CPNK. Segundo os autores, do ponto de vista do bem-estar, o modelo Novo-Keynesiano, o qual tem o lado da oferta caracterizado por uma CPNK, implica que é desejável estabilizar inflação e excesso de demanda. Porém, a CPNK implica que essas duas metas não são conflitantes: estabilizar inflação também causa estabilização do produto. O excesso de demanda e o nível de produto eficiente (first-best) é constante e invariante a choques no modelo Novo-Keynesiano. Esta característica implica que estabilizar a inflação é equivalente a estabilizar o “welfare relevant output gap”, ou seja, o excesso de demanda que maximiza o bem-estar. Estabilizar a inflação poderia ser equivalente a estabilizar o excesso de demanda, mas não deveria ser

equivalente a estabilizar o “welfare relevant output gap”. Logo, esta política não seria desejável para uma autoridade que maximiza uma função objetivo e portanto, teríamos um trade-off entre inflação e desemprego do ponto de vista de maximização do bem-estar.

Além disso, devido à ausência de termos defasados da inflação, a CPNK não apresenta inércia inflacionária. Galí e Gertler (1999) adicionam um termo de defasagem na especificação da CPNK, assim, a curva mantém suas especificações microeconômicas seguindo um modelo de precificação do tipo Calvo. A cada período apenas uma parte das firmas pode otimizar seus preços utilizando toda a informação disponível; as demais utilizam uma simples regra de bolso baseada na trajetória passada do nível de preços. Dessa forma, a curva de Phillips passou a ter uma especificação com um termo expectacional adaptativo e outro racional, definindo o que os autores denominam de Curva de Phillips Novo-Keynesiana Híbrida (CPNKH).

A CPNKH é muito utilizada para análises de política econômica. Isso se deve a duas características que ela apresenta; componente inercial e componente forward-looking. Fica claro que a CPNKH surge de um modelo estrutural onde famílias e firmas maximizam funções de escolhas intertemporais. Como as equações resultam da maximização de escolhas individuais na presença de expectativas forward-looking, as análises de política econômica não sofrem com a crítica de Lucas, ao contrário dos modelos estatísticos VECM e VAR. Por este motivo o New Keynesian Policy Model (NKPM) tornou-se uma ferramenta muito atrativa na análise de política monetária. Abaixo seguem as equações que compõem um NKPM estrutural de pequena escala, como demonstrado em Henry e Pagan (2004). O modelo envolve três equações, onde a equação (1) é uma curva de demanda agregada (representação da curva IS), a equação (2) é uma curva de oferta agregada (que corresponde a uma curva de Phillips) e a equação (3) é uma regra de política.

$$y_t = y_{t+1}^e - \sigma(r_t - \pi_{t+1}^e) + v_t \quad (1)$$

$$\pi_t = \alpha_\pi \pi_{t-1} + (1 - \alpha_\pi) \pi_{t+1}^e + \alpha_y (y_{t-1} - y_{t-1}^*) + \xi_t \quad (2)$$

$$r_t = \bar{r} + \beta(\pi_{t+1}^e - \pi^*) + \gamma(y_t - y^*) \quad (3)$$

Neste sistema,  $y_t$  é o logaritmo do produto real e  $y^*$  é o produto potencial,  $r_t$  é a taxa nominal de juros,  $\pi_t$  é a taxa de inflação em  $t$  e  $\pi_{t+1}^e$  é o termo *forwrad – looking*. O termo  $v_t$  representa um choque de demanda, enquanto  $\xi_t$  representa um choque de oferta.

## 2.2 Estimação da curva de Phillips Novo-Keynesiana

A curva de Phillips apresentada em (2) tem uma forma particular, em que a inflação corrente depende de variáveis endógenas, pois, conforme discutido acima, tanto  $y_t$  quanto  $\pi_{t+1}^e$  podem ser consideradas endógenas. Para o propósito da estimação, é necessário buscar um vator  $z_t$  de variáveis instrumentais, devido à correlação entre as variáveis endógenas explicativas e o termo de erro. Portanto, uma maneira de estimar a CPNKH seria pelo Método do Momentos Generalizados (GMM), onde a condição

$$E_t \left[ \left( \pi_t - \alpha_{pi} \pi_{t-1} - (1 - \alpha_{pi}) \pi_{t+1}^e - \alpha_y (y_{t-1} - y_{t-1}^*) z_t \right) \right] = 0 \quad (4)$$

é satisfeita. O uso de GMM na estimação da CPNKH é bastante tradicional e pode ser encontrado em Galí e Gertler (1999) e Jondeau e Le Bihan (2005). Contudo, os instrumentos precisam satisfazer a três critérios. Primeiro, eles precisam ser em número suficiente. Segundo, eles precisam ser instrumentos válidos, ou seja, não correlacionados com o termo de erro. Terceiro, eles devem ser instrumentos

relevantes, isto é, correlacionados com as variáveis as quais eles servem de instrumento. Esta última condição pode se mostrar um grande problema para a estimação da CPNKH, conforme destacado em Stock, Wright e Yogo (2002). Se a variável instrumental possui baixa correlação com a variável a qual ela serve de instrumento então a teoria assintótica que descreve a performance do estimador de variáveis instrumentais evidencia uma grave falha. A razão disso é que sua distribuição assintótica é governada por uma função do tamanho da amostra e do coeficiente de correlação entre a variável instrumental e a variável a qual ela serve de instrumento. Conseqüentemente, uma grande amostra pode compensar um baixo coeficiente de correlação, e isto pode produzir uma grande discrepância entre resultados de pequenas amostras e o que é previsto pela teoria assintótica. Por este motivo, Lindé (2005) critica a utilização de GMM, argumentando que este estimador produz estimativas viesadas em pequenas amostras.

Lindé (2005) chega aos coeficientes estimados da CPNKH através da estimação das três equações do NKPM por Full Information Maximum Likelihood (FIML). A estimação por FIML também é utilizada nos trabalhos de Ireland (2001) e Kurmann (2004). Lindé (2005) apresenta alguns exercícios de Monte Carlo para demonstrar a superioridade do uso de FIML sobre GMM (quando a amostra é pequena e/ou os instrumentos são pobres) e conclui que é muito difícil obter estimativas confiáveis dos parâmetros de CPNKH usando single equation methods. Contudo, Galí et al (2005), discutem os resultados apresentados por Lindé (2005) e argumentam que a superioridade do FIML ocorre pois o autor assume que o econométrista possui o conhecimento do verdadeiro modelo da economia a priori, coisa que é bastante improvável de ser verdadeira na prática. Single equation methods são usados para evitar tomar uma forma específica da estrutura da economia como um todo. Assim, quando há algum erro de especificação nas propriedades estocásticas das variáveis que dão a dinâmica dos sistemas de equações de (1)-(3), então as estimativas de FIML mostram viés de magnitude pelo menos tão grande quanto as simulações das estimativas por GMM.

Outro ponto de discórdia na estimação da CPNKH é sobre a variável que representa o excesso de demanda. Os dois principais concorrentes são o hiato do produto e os custos marginais. O argumento em favor do uso de uma medida de custo marginal é derivado da determinação de preços tipo Calvo. Vale notar que resultados diferentes têm sido encontrados em equações baseadas em custos marginais. Alguns exemplos são Bastini et al (2000) e Galí et al (2005). Além desses problemas descritos acima, há problemas relacionados à escolha de proxies que são incluídas na estimação da CPNKH. Qual variável observável pode ser uma boa representação para o hiato ou para os custos marginais? O hiato, por exemplo, é composto pelo produto potencial, o qual é um componente não observável na curva de Phillips e isso traz problemas para a estimação, pois ela pode ser comprometida pela proxy que é utilizada para sua representação. O mesmo problema ocorre com a expectativa da inflação.

Até agora discutimos os desenvolvimentos teóricos e as dificuldades de estimação de uma curva de Phillips linear. A seguir será apresentada uma série de aspectos teóricos e empíricos que buscam tratar de não linearidades na curva.

## **2.3 Não linearidade na curva de Phillips - teoria e evidências empíricas na literatura**

De acordo com o exposto acima, tradicionalmente, estimativas assumem que a forma da relação produto-inflação é linear. Isto implica que a inclinação da curva de Phillips é constante e, portanto, independente do ciclo econômico. Porém, há um grande número de trabalhos que questionam a validade dessa suposta forma linear. Muitos modelos teóricos de price-setting behaviour argumentam que a inclinação da curva de Phillips é uma função das condições macroeconômicas. A linearidade implica que o custo da desinflação, em termos de produto, não varia com o estado da economia

ou com a agressividade das políticas de desinflação executadas pelas autoridades monetárias. Em contraste, uma curva de Phillips não linear permite que o custo, em termos de produto, dependa dessas variáveis. É claro que essa não linearidade pode surgir tanto do componente expectacional quanto do componente de excesso de demanda da curva de Phillips. A literatura sobre esse assunto aborda essas duas possibilidades.

Conforme destaca Laxton et al (1994), a ampla aceitação da curva de Phillips aumentada pelas expectativas, associada à hipótese da taxa natural de desemprego, conduziram à conclusão de que não existe trade-off de longo prazo entre atividade econômica e inflação. Mas o que dizer quanto ao formato da ligação produto-inflação? O campo teórico propõe alguns fundamentos microeconômicos que servem de amparo a alternativas não lineares para a construção da curva de Phillips.

Em Lucas (1973), a não linearidade da curva de Phillips surge devido à volatilidade do nível de preços. Essa abordagem é chamada de erro de percepção (“misperception”) ou modelo de extração de sinal (“signal extraction model”). Os agentes possuem informação imperfeita quanto às mudanças no nível agregado de preços, sendo incapazes de distinguir os choques nos preços relativos dos choques nos preços agregados. É assumida uma relação inversa entre a volatilidade da inflação e a atribuição por parte dos agentes a mudanças nos preços relativos: quanto mais volátil for a inflação menor será a mudança no produto. Dessa forma, quanto mais a inflação for volátil maior é o custo da desinflação em termos de produto.

Macklem (1997) apoia-se na premissa da restrição da capacidade instalada para sugerir uma forma não linear para a curva de Phillips, é o chamado “modelo de restrição de capacidade” (“capacity constraint model”). No curto prazo as firmas têm dificuldades em expandir sua capacidade produtiva, de forma que um choque positivo na demanda agregada reflete muito mais no nível de preços do que no produto. Quanto mais próxima a economia estiver de seu potencial, maior é o aumento da inflação dado um choque de demanda. Assim a curva de Phillips possui uma forma convexa em relação ao excesso de demanda. De uma maneira geral, grande parte da literatura sobre a relação não linear na curva de Phillips apoia a ideia de que ela deve ser convexa. Mesmo no trabalho empírico original de Phillips (1958), a curva parece não ser linear e sim convexa. Muitos autores postularam uma forma convexa para a curva de Phillips, entre as principais contribuições empíricas em favor da convexidade estão Laxton et al (1994), Clark et al (1996) e Debelle e Laxton (1997). Vale ressaltar que a principal diferença entre uma curva de Phillips linear e convexa é que, sob convexidade, o trade-off de curto prazo encarado pelos policymakers é state-dependent, ou seja, é uma função do estado da economia: um ponto percentual de redução na taxa de desemprego conduz a um menor aumento na inflação a altas taxas de desemprego do que a baixas taxas de desemprego.

Outro modelo que pode motivar um relacionamento assimétrico entre produto e inflação é o modelo de rigidez nominal dos salários (“downward nominal wage rigidity model”). Stiglitz (1986) e Fisher (1989) apresentam modelos teóricos os quais podem gerar esse tipo de rigidez. Nesses modelos, os trabalhadores são mais relutantes em aceitar uma diminuição no seu salário nominal do que uma diminuição de seu salário real devido à ilusão monetária e fatores institucionais e/ou comportamentais. O modelo de custos de ajustamento (“costly adjustment model”) ou custos de menu, como são mais conhecidos, implica uma relação entre produto e inflação que varia com o nível de inflação. Segundo Ball, Mankiw e Romer (1988), na presença de custos de menu, nem todas as firmas mudarão seus preços em resposta a choques de demanda. Contudo, quanto maior o número de firmas que decidem mudar seus preços, mais sensível será o nível agregado de preços a choques de demanda. Os custos de ajustamento podem se dar também devido à duração dos contratos. O processo de negociação salarial entre firmas e trabalhadores é custoso. Portanto, pode ser uma estratégia ótima, dado um ambiente de baixa inflação, negociar contratos mais longos buscando baixar os custos que as firmas encaram. Sendo assim, quando ocorre um choque, a existência de contratos torna o ajustamento

difícil. Portanto, os preços vão se ajustando lentamente e a curva de Phillips é mais íngreme para altas taxas de inflação. Como resultado, no modelo de custos de ajustamento, o impacto do hiato do produto é uma função da média do nível de inflação.

Stiglitz (1984, 1997) considera a possibilidade de uma curva de Phillips côncava. Esta concavidade é consistente com a literatura de ajustamentos assimétricos de preços em mercados que funcionam sob concorrência monopolística. Produtores podem baixar os preços para evitar serem expulsos do mercado por seus rivais, porém, são mais relutantes em aumentar seus preços mesmo num ambiente de aumento da inflação. Este tipo de comportamento é compatível com firmas que operam em concorrência monopolística e estão preocupadas com a manutenção e/ou expansão de suas respectivas parcelas de mercado.

A literatura sobre o assunto propõe diversos formatos para uma possível relação não linear na curva de Phillips. Diferentes formatos desta não linearidade possuem diferentes implicações para custos de desinflação, dado que a inclinação de curvas côncavas ou convexas varia de acordo com o nível de hiato de produto. Uma curva de Phillips côncava implica que o custo de desinflação aumenta com forte atividade econômica, pois quando aumenta a atividade econômica a inclinação da curva de Phillips torna-se mais plana. Em contraste, uma curva de Phillips convexa implica que o custo de desinflação cai à medida que aumenta a atividade econômica, pois, a inclinação da curva de Phillips torna-se mais íngreme. É importante considerar que o modelo Novo-Keynesiano, conforme apresentado em (1)-(3), não fornece embasamento teórico para não linearidades na curva de Phillips. Conforme destaca Carvalho (2010), a derivação dos modelos Novo-Keynesianos é efetuada utilizando ferramentas algébricas como a log-linearização e aproximações de Taylor, resultando em relações lineares entre as variáveis. Essa ausência de relações não lineares nas equações finais desse tipo de modelo não impõe restrições a uma estratégia empírica que busque avaliar um possível tipo de assimetria.

Evidências empíricas de não linearidade são encontradas em diversos trabalhos. A maioria dos trabalhos citados foca na estimação paramétrica da curva de Phillips. DeBelle e Laxton (1997) encontram evidências de não linearidade da curva de Phillips para o Canadá, Reino Unido e Estados Unidos. São utilizados dados trimestrais de 1959:Q3 a 1997:Q1 e uma forma convexa é atribuída à equação. É feita uma especificação híbrida da curva de Phillips aumentada para expectativas e a estimação é feita via filtro de Kalman, de modo a permitir que a NAIRU varie no tempo. Os autores concluem que a curva de Phillips é não linear, com formato convexo, argumentando que esta especificação é capaz de ajustar melhor os dados para a inflação no período analisado.

Dupasquier e Ricketts (1998) focam na economia canadense e estimam diferentes modelos teóricos de curvas de Phillips não lineares (côncava, convexa e côncava-convexa). As especificações baseiam-se em uma curva de Phillips híbrida, onde os modelos estimados são apresentados em formato de estado-espço e estimados por Máxima Verossimilhança e as variáveis de estado não-observáveis são estimadas por filtro de Kalman. Os dados utilizados são de frequência trimestral e abrangem o período de 1964:01 a 1994:01. Os autores concluem que há relações não linearidades no ajustamento de preços dado os choques de demanda. Porém, não chegam a um resultado conclusivo quanto ao melhor modelo representativo.

Eliasson (2001) faz algumas críticas aos trabalhos empíricos anteriores. A autora argumenta que as relações entre as variáveis eram introduzidas nas equações sem nenhum teste que comprove uma relação de não linearidade. É testada então a linearidade da curva de Phillips aumentada pelas expectativas contra uma hipótese alternativa de um modelo híbrido da curva de Phillips com Transição Suave (STAR). A autora encontra evidências de não linearidade para Austrália e Suécia. É importante notar que a fonte de não linearidade não é a mesma para esses dois países: o nível de inflação esperada foi a variável responsável pela transição entre regimes no caso da Suécia e a



variação na taxa de desemprego foi a responsável pela transição entre regimes no caso da Austrália. Portanto, apenas a economia australiana apresentaria um custo de desinflação que varia com o estado da economia. Apesar de ambos os países terem apresentados relações não lineares, os resultados disso em termos de política monetária serão bem distintos nos dois casos, dado as diferentes fontes de não linearidade. Além disso, a economia americana apresenta um parâmetro de inclinação estável durante o período analisado, o que evidencia uma forma linear para a curva de Phillips.

Fillardo (1998) utiliza um sistema de seis equações, derivado de Christiano et al (1994), para descrever a economia americana. A curva de Phillips utilizada é do tipo híbrido, onde a trajetória da expectativa presente quanto à inflação futura é descrita por uma das equações do sistema, de forma que não são utilizados dados de pesquisa como proxies. Além disso, a não linearidade imposta é caracterizada por três tipos de regime: produto abaixo do potencial, produto estável ao nível potencial e produto acima do potencial. Têm-se um sistema não linear de equações o qual é estimado por Nonlinear Least Squares (NLS). Apesar da não linearidade do sistema, o modelo em cada regime é linear nas variáveis explanatórias, portanto, são geradas funções impulso-resposta para cada regime de maneira similar a um VAR recursivo padrão. O autor conclui que a curva de Phillips para a economia americana não é inteiramente côncava nem convexa, mas sim uma combinação de ambas; sendo assim, o custo de desinflação dependerá do ponto onde a economia se encontra. Para o autor, existem regiões onde a curva de Phillips é côncava e outras nas quais ela é convexa: a convexidade surge quando o hiato do produto é estável e/ou positivo, enquanto que, a concavidade surge quando o hiato do produto é negativo.

Utilizando instrumental econométrico paramétrico e não-paramétrico, Buchman (2009), encontrou evidências de uma curva de Phillips com formato côncavo para um hiato do produto negativo e convexo para um hiato do produto positivo, o trabalho foca-se na área da zona do Euro compreendendo o período de janeiro de 2001 a junho de 2009. A curva paramétrica é estimada via GMM e Generalized Empirical Likelihood (GEL). É imposto um formato linear e os resultados são contrários aqueles encontrados em Galí e Gertler (1999) para a economia americana, ou seja, o coeficiente da inflação defasada é dominante em relação à inflação futura e o coeficiente do hiato do produto é de pequena magnitude. Sendo assim, o autor encontrou uma forte persistência na inflação. Depois o autor estima a curva de Phillips de forma não-paramétrica através de um Local Polynomial Regression, utilizando uma função kernel do tipo Epanechnikov. As derivadas em relação a expectativa futura e a inflação defasada ficaram muito próximas aos parâmetros estimados na forma linear paramétrica, o que evidencia uma relação linear entre expectativa de inflação e inflação corrente. Já a derivada em relação ao hiato do produto apresentou um formato côncavo para um hiato do produto negativo e convexo para um hiato do produto positivo. Este resultado evidenciou um formato não linear quanto à influência do excesso de demanda na inflação e um formato linear quanto a influência das expectativas de inflação na inflação presente. É preciso salientar que o resultado apresentado por Buchman (2009) é sensível aos problemas de curse of dimensionality, de forma que um modelo semi-paramétrico é estimado. Esse modelo possui uma forma linear nas expectativas enquanto que nenhuma forma específica é atribuída ao hiato do produto. Os resultados seguem em linha com os apresentados pelo modelo não-paramétrico. A diferença mais significativa é que o modelo não-paramétrico apresenta intervalos de confiança muito mais amplos do que o modelo semi-paramétrico. Dessa forma o autor concentra suas atenções nos resultados apresentados pela estimação semi-paramétrica dado que as estimativas são mais confiáveis.

Nas últimas décadas, vários estudos tentaram estimar a curva de Phillips para o Brasil. Estes estudos não se focaram apenas nos testes de não linearidade da curva, ao contrário, abrangem um grande número de objetivos distintos. Estimou-se a curva de Phillips para fazer inferências sobre a política monetária, para fazer previsões, inferir sobre a composição dos termos forward-looking e

backward-looking, entre outros objetivos. Abaixo se encontra um resumo dos principais trabalhos, destacando apenas os seus resultados quanto à relação inflação-produto ou outras possíveis fontes de não linearidade. Lima (2003) estima a NAIRU para o Brasil e testa a estabilidade dos coeficientes da curva de Phillips. Dois modelos diferentes são estimados: o primeiro com uma NAIRU que muda ao longo do tempo, e o segundo é um modelo com diferentes regimes markovianos para a NAIRU. O autor conclui que a inclinação da curva de Phillips para o Brasil é estável. Os modelos foram estimados com dados trimestrais para o período de 1982:01 a 2001:04. A proxy utilizada para a inflação foi o Índice Nacional de Preços ao Consumidor (INPC/IBGE), e para o desemprego foi utilizado a Pesquisa Mensal de Emprego (PME/IBGE). O autor alerta para as possíveis quebras estruturais presentes neste período da economia brasileira. Assim sendo, ele estima um modelo time-varying parameter (TVP) com variância condicional descrita por um processo autoregressive conditional heteroscedasticity (ARCH), e outro modelo com Markov-switching regime (MSR). Como resultado, os testes não rejeitam a hipótese nula de estabilidade da curva de Phillips.

Fasolo e Portugal (2004) testam a relação entre inflação e emprego no Brasil utilizando um modelo que explicitamente baseia-se em quatro hipóteses: i) os agentes não possuem racionalidade perfeita; ii) a imperfeição na formação de expectativas pode ser determinante no componente inercial da inflação brasileira; iii) a inflação possui componente inercial autônomo; e iv) as relações não lineares entre inflação e desemprego fornecem melhores resultados para a economia nos últimos 12 anos. Os resultados dos testes econométricos apontam para a validade das quatro hipóteses descritas. A curva de Phillips é estimada através do filtro de Kalman, e a relação entre inflação e expectativas é verificada por intermédio de um modelo de mudança de regime. Os dados são de frequência mensal e abrangem o período de 1990:01 a 2002:08. As proxies utilizadas são: Índice de Preços ao Consumidor Amplo (IPCA/IBGE) para a inflação, para a variável desemprego é utilizado o Desemprego Aberto sazonalmente ajustado (IBGE), enquanto que para a expectativa presente quanto à inflação futura é utilizada a estrutura a termo da taxa de juros. O estudo conclui que existe não linearidade na curva de Phillips a qual se caracteriza por uma mudança de regime após o Plano Real.

Correa e Minella (2005) estudam os mecanismos de não linearidade na curva de Phillips focando-se nos repasses cambiais. Os autores utilizam um modelo Threshold Autoregressive (TAR) para modelar uma curva de Phillips híbrida onde uma das variáveis utilizadas como limiar é o hiato do produto. São utilizados dados trimestrais de 1995:01-2004:04, onde o IPCA (preços livres) é a medida de inflação e o hiato do produto é calculado a partir da metodologia de uma função de produção. O modelo é estimado por Mínimos Quadrados em Dois Estágios (MQ2E) utilizando diversas variáveis instrumentais para o componente de expectativa. Os resultados mostram que a fonte de não linearidade é centrada na variável câmbio.

Tombini e Alves (2006) analisam possíveis quebras estruturais nos parâmetros de uma curva de Phillips híbrida. O foco do trabalho é apresentar uma metodologia alternativa para estimar uma medida de custo de desinflação e aplicá-la ao Brasil. O custo de desinflação é apresentado como o ganho de inflação que teria sido observado se os coeficientes da curva de Phillips não tivessem mudado. Como essa medida de desinflação depende da variação dos parâmetros da curva de Phillips, os autores, utilizando a abordagem do filtro de Kalman, estimam os time-varying parameters para uma curva de Phillips híbrida. A especificação dessa curva é feita para uma economia aberta, ou seja, a taxa de câmbio entra na equação de Phillips para representar o pass-through cambial. O termo relativo à expectativa presente da inflação futura é instrumentalmente determinado no primeiro passo de uma estimação por MQ2E. Os dados têm frequência mensal compreendendo o período de 1996:01 a 2006:01, e a variável dependente é o IPCA – preços livres (taxa não anualizada). Como resultado, os autores encontram uma relação positiva e crescente entre nível de atividade e taxa de inflação até maio de 2002. A curva de Phillips torna-se mais plana a partir de junho de 2002. Já em 2004 a curva

de Phillips passa a ser praticamente linear. Embora os autores destaquem esse resultado, é preciso salientar que as estimativas apresentaram grandes desvios-padrão e o coeficiente do hiato do produto não mostrou-se estatisticamente significativo a 5% de significância.

Carvalho (2010) investiga a possibilidade empírica da curva de Phillips, em sua especificação novo-keynesiana híbrida, ser não linear. O autor faz uso de uma variação do modelo de Regressão com Transição Suave (STR), que permite a identificação de não linearidades de maneira mais flexível, levando em conta a endogeneidade da série de expectativas de inflação. O modelo STR fornece uma maneira de testar a existência de não linearidades do que se chama “transição suave”, que pertence aos modelos não lineares de séries temporais conhecidos como state-dependent. O modelo utilizado é uma variação do modelo STR desenvolvida por Areosa et al (2010), que permite a estimação de parâmetros da equação não linear mesmo quando há regressores endógenos. Esta abordagem econométrica é utilizada, pois, leva em consideração o problema da endogeneidade das variáveis da CPNKH na equação a ser estimada, sem a necessidade da estimação de todo o sistema de equações do modelo novo-keynesiano. É testada a hipótese de não linearidade da curva de Phillips para 13 países. A periodicidade é mensal e os dados amostrais iniciam-se após a adoção do sistema de metas para a inflação de cada país. O autor encontra evidências de não linearidade na CPNKH para um total de 9 dos 13 países analisados. A variável de transição que capta com mais precisão a não linearidade é o distanciamento entre expectativas de inflação e sua meta. Além disso, para o caso do Brasil, o grau de aquecimento da demanda agregada não é a condição macroeconômica relevante a não linearidade.

Por fim, Areosa et al. (2010) testaram a hipótese de linearidade da curva de Phillips para o Brasil contra um modelo alternativo STR, encontrando evidências a favor da não linearidade. A relação não linear encontrada pelos autores estaria relacionada à volatilidade da variância cross-section das expectativas de inflação dos agentes de mercado e não propriamente no nível de atividade econômica. A metodologia utilizada pelos autores permite testar a hipótese de linearidade do modelo antes da estimação da suposta equação não linear, caso ela se mostre relevante, dessa forma, pode-se evitar uma especificação sobreparametrizada da curva de Phillips.

### 3 Estimação e discussão dos resultados

Nesta seção são apresentados os resultados das estimações paramétricas, não-paramétricas e semi-paramétricas. As estimativas apresentadas foram baseadas em dados mensais, utilizando-se uma amostra compreendida no período 2002:04 - 2012:09. Quanto à medida de atividade econômica real, foi utilizado o hiato do produto calculado pela metodologia da decomposição Beveridge-Nelson. Essa abordagem foi utilizada na série do PIB acumulado nos últimos 12 meses, deflacionado pelo IGP-DI do mês.

#### 3.1 Estimação paramétrica

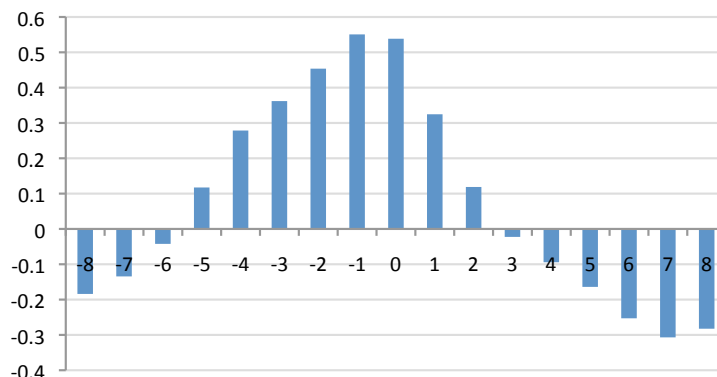
Nesta seção são apresentados os resultados da estimação convencional paramétrica. A especificação a ser estimada da curva de Phillips é a seguinte:

$$\pi_t = \phi_1\pi_{t-1} + \phi_2E(\pi_{t+1}|I_t) + \phi_3x_t + \epsilon_t. \quad (5)$$

Estamos interessados em estimar os parâmetros  $\phi_1$ ,  $\phi_2$  e  $\phi_3$ . A estimação é feita por GMM com matriz ponderada HAC, da mesma forma que em Galí e Gertler (1999). A condição de ortogonalidade utilizada foi:

$$E[(\hat{\pi}_t - \phi_1\hat{\pi}_{t-1} - \phi_2\hat{\pi}_{t+1} - \phi_3\hat{x}_t)z_t] = 0. \quad (6)$$

Figura 1: Hiato do produto ( $t$ ), inflação ( $t + k$ )



Os instrumentos utilizados foram cinco defasagens da inflação medida pelo IPCA e mais duas defasagens de medida do hiato do produto. Conforme enfatizado por Fuhrer e Moore (1995), a inflação deveria antecipar o hiato do produto no decorrer dos ciclos econômicos, no sentido de que um aumento na inflação corrente deveria sinalizar um subsequente aumento no hiato do produto. A Figura 1 apresenta a correlação cruzada entre o hiato do produto  $x_t$  e a inflação.

O correlograma do hiato do produto, extraído pela decomposição Beveridge-Nelson, com a inflação apresenta um comportamento de acordo com o modelo teórico. Outras medidas de hiato foram consideradas; a rigor, foram derivados hiatos do produto seguindo todas as abordagens que foram apresentadas no capítulo 3 de Metodologia. Porém, todas as outras medidas de hiato se caracterizaram por apresentar correlação positiva com a inflação passada e negativa com a inflação futura. Ou seja, um comportamento que é contrário à intuição teórica. Os resultados da estimação encontram-se na Tabela 1.

Tabela 1: CPNK - com termo linear para o hiato do produto

	Estimativa	Desvio-padrão	p-valor
$\phi_1$	0.4168	0.0021	0.0000
$\phi_2$	0.5229	0.0040	0.0000
$\phi_3$	0.0144	0.0007	0.0000
$\bar{R}^2$	0.6636		

As estimativas apresentadas são consistentes com a teoria. Os resultados informam que: (i) o componente expectacional forward-looking é dominante em relação ao componente backward-looking, apresentando valor correspondente a 0.52; (ii) ambos componentes expectacionais são estatisticamente significativos; (iii) o impacto da atividade real, representado pelo hiato do produto, é estatisticamente significativo e apresenta sinal positivo em concordância com a teoria. Areosa (2010), utilizando a mesma estratégia de estimação apresentada aqui, não encontrou significância estatística para o coeficiente relativo ao hiato do produto. Além disso, o coeficiente estimado pelo autor apresentou sinal negativo, ou seja, contrário à teoria econômica. O autor encontrou uma estimativa de sinal positivo, mas ainda não significativa, apenas quando o hiato do produto é substituído por uma medida de custo marginal. De fato, a literatura sobre a estimação da curva de Phillips tem, em geral, demonstrado

resultados semelhantes aos encontrados em Areosa (2010). É bastante clara uma tendência ao uso de uma medida de custo marginal, ao invés de hiato do produto, na estimação da curva de Phillips buscando evitar problemas associados à significância estatística e adequação da estimativa ao modelo teórico. Contudo, os resultados apresentados na Tabela 1 diferem do padrão encontrado na literatura. O coeficiente relativo ao hiato do produto apresenta sinal positivo e é estatisticamente significativo. Em primeiro lugar, o que deve ser ressaltado é que a medida de hiato do produto utilizada neste trabalho não é mesma utilizada por Areosa (2010). O autor obteve o hiato do produto do resíduo de uma regressão do PIB sobre 11 variáveis dicotômicas sazonais e uma tendência linear. Essa mesma medida de hiato foi utilizada neste trabalho e, de fato, apresentou os mesmos problemas encontrados em Areosa (2010). A literatura, em geral, obtém o hiato do produto através da utilização de um filtro Hodrick-Prescott. Nós estimamos o modelo da eq. (5) acima utilizando essa mesma medida de hiato e rendeu um coeficiente de sinal positivo, porém sem significância estatística. O que os resultados apresentados na Tabela 1 mostram é que o problema de utilizar as medidas de hiato do produto pelo filtro Hodrick-Prescott, ou pelo método de regressão linear com variáveis dicotômicas, é que essas medidas apresentam correlação negativa com a inflação defasada e positiva com a inflação futura, padrão que é exatamente o contrário do comportamento previsto pela teoria. O hiato do produto, que foi utilizado neste trabalho, foi obtido de uma decomposição Beveridge e Nelson de acordo com a especificação apresentada em Araújo et al (2004). Essa medida de hiato apresenta um padrão de correlação com a inflação que vai de acordo com a teoria econômica. Dessa forma, fica claro que os problemas encontrados na estimação da curva de Phillips, quando uma medida de hiato é utilizada para refletir a atividade econômica, estão associados ao formato da correlação cruzada entre a medida de atividade econômica e a inflação, e não ao uso de uma medida de hiato em si, conforme destaca parte da literatura. Medidas de hiato do produto que apresentam uma correlação com a inflação semelhante à figura 1 tenderão a apresentar coeficientes estatisticamente significantes na equação de Phillips. Há diversas metodologias para a derivação do hiato do produto, as quais geram, em alguns casos, séries muito diferentes entre si. Concluimos que a utilização da variável hiato não é inferior, no sentido estatístico, ao uso de uma variável que representa o custo marginal. Desde que sua correlação com a inflação respeite a relação teórica entre essas duas variáveis.

### 3.2 Estimação semi-paramétrica

O modelo agora será tratado dentro de uma abordagem semi-paramétrica. Essa abordagem explora a situação na qual o comportamento da variável dependente pode ser escrito como uma função linear de algumas variáveis e uma função que possui uma forma funcional desconhecida. Nós iremos assumir que a curva de Phillips é linear nas expectativas, tanto no termo forward-looking quanto no backward-looking, mas nenhum tipo de relação específica será imposto ao componente da atividade econômica. Dessa forma, o modelo é especificado como:

$$\pi_t = \phi_1 \pi_{t-1} + \phi_2 E(\pi_{t+1}|I_t) + f(x_t) + \epsilon_{2t} \quad (7)$$

Com isso, menos restrições são impostas na relação entre as variáveis. É assumido que existe uma função  $f$ , a qual descreve o impacto da atividade econômica na inflação corrente, porém nenhuma forma funcional é imposta. O objetivo é revelar a estrutura de  $f$  através da estimação da expectativa condicional da inflação  $E(\pi_t|\pi_{t-1}, \pi_{t+1}^e, x_t)$  com auxílio da metodologia kernel. Note que no modelo paramétrico as derivadas parciais da média condicional de  $\pi_t$  são todas constantes por hipótese. Em um modelo não-paramétrico, as derivadas relativas às variáveis explanatórias são permitidas variar mais livremente em seu domínio. Para estimar o modelo paramétrico utilizamos a condição de

momento da eq. (6), de forma que tratamos a endogeneidade presente na formação da expectativa presente quanto à inflação futura, através do uso de variáveis instrumentais. Isso não será utilizado para estimar a eq. (7). Ao invés de nos valermos de uma condição de ortogonalidade para tratar a endogeneidade, será utilizada uma medida de expectativa de inflação. Sem utilizar as condições de momento, a opção é utilizar a informação dos bem conhecidos *surveys*. A ideia é incorporar uma medida de expectativa baseada em uma *survey* ao invés de presumir racionalidade em um componente expectacional que é não observável. A proxy utilizada será a expectativa da inflação da pesquisa FOCUS do Banco Central do Brasil. O modelo estimado passa a ser:

$$\pi_t = \phi_1 \pi_{t-1} + \phi_2 \hat{\pi}_{t+1}^{focus} + f(x_t) + \epsilon_{3t} \quad (8)$$

onde,  $\hat{\pi}_{t+1}^{focus}$  é a mediana das expectativas dos agentes quanto à inflação do próximo mês, formada pelo conjunto de informação disponível até a data de divulgação do IPCA-15. As outras variáveis são as mesmas utilizadas na estimação paramétrica.

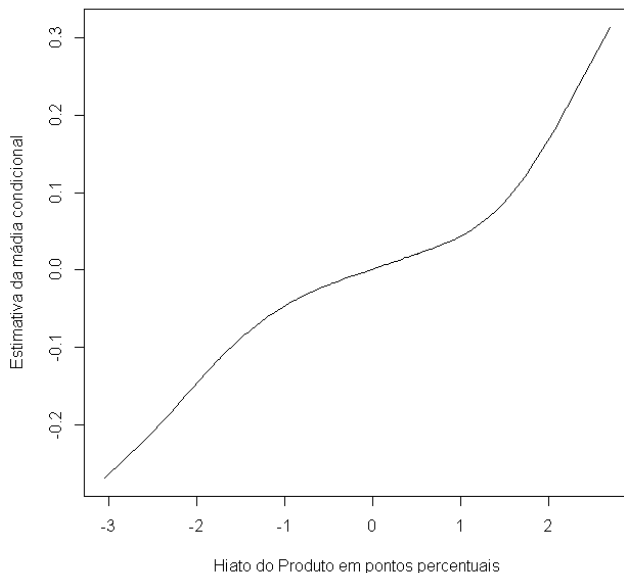
A bandwidth escolhida foi  $h^* = 3h^{otima}$ , onde  $h^{otima}$  é a bandwidth determinada via método plug-in. Quanto maior é a bandwidth, menor é a variância, porém, maior é o viés do estimador. Preferiu-se diminuir a variância para que possamos visualizar um formato mais bem definido das funções estimadas. Os passos para a obtenção de  $\hat{f}$  podem ser sumarizados como se segue. Em um primeiro momento foi estimada uma regressão, em que a inflação presente foi estabelecida como variável dependente e a inflação defasada e expectativa da inflação como variáveis explicativas, obtendo-se seus resíduos, denotados por  $\hat{u}_{1t}$ . Em um segundo momento, foi estimada uma segunda regressão onde o hiato do produto foi estabelecido como variável dependente e a inflação defasada e expectativa da inflação como variáveis explicativas, obtendo-se seus resíduos, denotados por  $\hat{u}_{2t}$ . Por último foi realizada uma regressão não-paramétrica, em que  $\hat{u}_{1t}$  é variável dependente e  $\hat{u}_{2t}$  é variável regressora, da seguinte forma:

$$\min_{\hat{m}_0, \hat{m}_1} \sum_{t=1}^T \left( \hat{u}_{1t} - \hat{m}_0 - \hat{m}_1 (\hat{u}_{2t} - x) \right)^2 K \left( \frac{\hat{u}_{2t} - x}{h^*} \right) \quad (9)$$

onde  $\hat{m}_0 = \hat{f}(x_t)$  e  $x$  é um ponto escolhido no intervalo em que  $x_t$  toma valores.  $K$  é a função kernel Gaussiana (densidade da v.a. Normal Padrão). A ideia por trás desse procedimento é simples: a primeira regressão busca “limpar” a inflação presente dos efeitos referentes ao componente inercial e expectacional, já a segunda regressão busca “limpar” o hiato do produto dos efeitos relativos aos dois componentes. Os resíduos dessas regressões correspondem à inflação e ao hiato, livres das influências dos componentes inercial e expectacional. As estimativas da média condicional devem mostrar a relação entre a inflação e o hiato do produto excluindo os efeitos relativos às outras variáveis expostas na curva de Phillips. O resultado da estimação pode ser visto na Figura 2.

Pela análise visual da Figura 2, podemos notar que os efeitos do hiato do produto na inflação não se comportam linearmente. A curva estimada é côncava quando o hiato do produto é menor que zero e convexa para valores positivos do hiato do produto. Isso sugere que a derivada de  $f$  com relação a  $x_t$  possui formato de  $U$ . Embora pareça haver uma forma quadrática no comportamento da derivada, é difícil avaliar se a inflação responde de forma simétrica a desvios positivos e negativos do hiato do produto. Essa dificuldade surge do fato de que há poucos dados amostrais concentrados nas regiões extremas. É possível notar que valores extremos positivos do hiato estão associados a uma derivada de maior magnitude, porém a escassez de dados nos intervalos extremos dificulta uma melhor investigação desta característica. Como um resultado geral das estimações não-paramétricas, podemos afirmar que o impacto do produto efetivo sobre a inflação depende do nível de atividade econômica. O trade-off entre produto-inflação é não linear para valores extremos do hiato do produto. A estimação

Figura 2: Hiato do produto ( $t$ ), inflação ( $t + k$ )



do modelo semi-paramétrico nos fornece informações suficientes para que possamos modelar de forma paramétrica a não linearidade apresentada pelo hiato do produto. Com o formato dado pela Figura 2 é possível realizar uma aproximação paramétrica para que possamos ajustar um melhor modelo para a dinâmica inflacionária. Nesse caso, propomos especificar um formato cúbico para o hiato do produto, como na equação (10).

$$\pi_t = \phi_1 \pi_{t-1} + \phi_2 E(\pi_{t+1} | I_t) + \phi_3 x_t + \phi_4 x_t^3 + \epsilon_{4t} \quad (10)$$

A estimação da eq. (10) foi realizada por GMM com matriz ponderadora HAC, utilizando a condição de momento estabelecida na eq. (11).

$$E[(\pi_t - \phi_1 \pi_{t-1} - \phi_2 \pi_{t+1} - \phi_3 x_t - \phi_4 x_t^3) z_t] = 0 \quad (11)$$

Tabela 2: CPNK com termo cúbico para o hiato do produto

	Estimativa	Desvio-padrão	p-valor
$\phi_1$	0.3556	0.0060	0.0000
$\phi_2$	0.4487	0.0064	0.0000
$\phi_3$	0.0270	0.0012	0.0000
$\phi_4$	0.0029	0.0003	0.0000
$\bar{R}^2$	0.6852		

Como podemos observar na Tabela 2, o parâmetro relativo ao termo cúbico do hiato do produto apresenta sinal compatível com a teoria econômica e é estatisticamente significativo. Portanto, parece que a relação não linear entre a inflação e a atividade econômica pode ser modelada pela inclusão de

um termo cúbico do hiato do produto na curva de Phillips. O parâmetro relativo à expectativa de inflação apresentou uma estimativa menor do que a anteriormente estimada para a curva de Phillips (paramétrico linear), assim como o parâmetro relativo à inflação defasada. Porém, a estimação mostra que o termo expectacional é dominante em relação ao termo da inflação defasada, padrão apresentado em ambas as estimações. Comparando com o modelo linear, o acréscimo de um termo cúbico para o hiato do produto melhora o ajuste do modelo. O coeficiente de determinação ajustado passa de 0.663 no primeiro caso, para 0.685 no segundo caso. A inclusão do termo cúbico permite ao modelo capturar melhor a não linearidade existente entre a inflação e a alta atividade econômica, a qual é representada aqui por grandes desvios do produto efetivo do seu potencial. Dessa forma, o processo da dinâmica inflacionária brasileira pode ser considerado um processo state-dependent, em relação à atividade econômica. Isso significa dizer que a taxa de sacrifício é state-dependent e não constante, como os modelos lineares levam a crer. O impacto do produto na inflação claramente aumenta em tempos de alta atividade econômica, fato que não podia ser visualizado quando impomos a suposição de linearidade no modelo. Diferentes formatos de curva de Phillips evidenciam diferentes custos de desinflação. Dessa forma, uma curva de Phillips conforme estimada para o caso linear apresenta uma resposta constante da inflação a mudanças no produto. Já o formato cúbico da curva de Phillips, possibilita que a inflação reaja de forma distinta a mudanças no produto de acordo com o nível de atividade econômica. É interessante considerarmos o resultado dos modelos a um incremento marginal no hiato do produto a diferentes níveis de atividade econômica. Um aumento no hiato do produto implica um aumento na inflação na ordem de 0.0143% para qualquer nível de atividade econômica. Para o modelo cúbico, a resposta da inflação à mudanças no hiato varia com o nível de atividade, um aumento no hiato do produto implica um aumento na inflação de 0.0621%, quando o produto efetivo encontra-se 2% abaixo ou acima do potencial e quando a economia encontra-se no seu nível potencial, um aumento no hiato do produto implica um aumento na inflação de 0.0269%.

## 4 Conclusão

Neste trabalho, investigamos a presença de relações não lineares entre a inflação e a atividade econômica dentro do arcabouço teórico da curva de Phillips Novo-Keynesiana Híbrida. As análises basearam-se em estimadores semi-paramétricos, os quais auxiliaram a identificação de uma forma funcional mais adequada para a curva de Phillips. Depois de identificado o formato da relação inflação-produto, foi estimada uma curva de Phillips, através do uso de GMM, buscando descrever satisfatoriamente a forma funcional encontrada de forma semi-paramétrica. Os resultados deste trabalho sugerem que a inflação e a atividade econômica relacionam-se de forma não linear. Essa não-linearidade torna-se mais importante para valores extremos do hiato do produto. Ou seja, quando o produto efetivo encontra-se em torno de 2% abaixo ou acima do produto potencial. Mais especificamente, o impacto do hiato do produto sobre a inflação depende do nível de atividade econômica. Quando o produto efetivo está próximo do produto potencial, o hiato do produto tem impacto positivo e aproximadamente linear na taxa de inflação. Por outro lado, quando o produto efetivo não está próximo do produto potencial, o hiato do produto impacta a inflação de forma positiva e cúbica. Sendo assim, a curva de Phillips, para o caso brasileiro, pode ser bem aproximada por um termo linear mais um termo cúbico referente ao hiato do produto. Rejeitamos o formato linear da curva de Phillips, pois, o modelo com um termo linear mais um cúbico para o hiato do produto mostrou-se mais significativo. Em outras palavras, a curva de Phillips não-linear gera respostas da inflação a mudanças na atividade econômica mais próximas das evidências empíricas. Concluimos então que a dinâmica inflacionária brasileira é caracterizada por um processo state-dependent, sendo assim, os



custos de desinflação, em termos de produto, dependem do nível de atividade econômica: há um custo maior quando o produto efetivo encontra-se no nível do produto potencial. Outra maneira de interpretar esses resultados é notar que, quando a economia está muito aquecida, com o produto efetivo muito acima do potencial, pequenos desvios positivos do hiato do produto causam grandes aumentos na inflação.

Outra contribuição deste trabalho se refere ao uso do hiato do produto como proxy para atividade econômica. A literatura sobre a curva de Phillips tem, em geral, encontrado um coeficiente não significativo, ou mesmo de sinal negativo, quando o hiato do produto é utilizado como medida de atividade econômica. Este resultado é encontrado em Areosa (2010). É bastante clara uma tendência ao uso de uma medida de custo marginal, ao invés de hiato do produto, na estimação da curva de Phillips buscando evitar problemas associados à significância estatística e adequação da estimativa ao modelo teórico. Porém, neste trabalho foram testados hiatos do produto estimados a partir de várias metodologias diferentes – filtro Hodrick-Prescott, decomposição de componentes não-observáveis, decomposição por Beveridge-Nelson, regressão linear e filtro Hodrick-Prescott restrito a uma função de produção. Concluímos que os problemas de significância encontrados na estimação da curva de Phillips, quando uma medida de hiato é utilizada para refletir a atividade econômica, estão associados ao formato da correlação cruzada entre a medida de atividade econômica e inflação, e não ao uso de uma medida de hiato em si, conforme destaca parte da literatura. Conforme enfatizado por Fuhrer e Moore (1995), a inflação deveria antecipar o hiato do produto no decorrer dos ciclos econômicos, no sentido que um aumento na inflação corrente deveria sinalizar um subsequente aumento no hiato do produto. Medidas de hiato do produto que apresentam este comportamento geram coeficientes de sinal positivo e são, de um modo geral, estatisticamente significantes.

## Referências

- ARAÚJO, C. H. V.; AREOSA, M. B. M.; GUILLÉN, O. T. C. Estimating potential output gap for Brazil. Anais do XXXII Encontro Nacional de Economia – ANPEC – n. 041, 2004.
- AREOSA, M. Combining Hodrick-Prescott filtering with a production function approach to estimate output gap. Banco Central do Brasil – Working Paper Series 172, 2008.
- AREOSA, W. Dinâmica da inflação no Brasil: O caso de uma pequena economia aberta. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Economia, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2010.
- AREOSA, W.; MCALEER, M.; MEDEIROS, M. Moment-based estimation of smooth transition regression models with endogenous variable. Textos para Discussão, PUC-Rio, n. 571, 2010.
- BALL, L. Credible disinflation with staggered price setting. *American Economic Review*, vol. 84, p. 282-289, 1994.
- BALL, L. Disinflation with imperfect credibility. *Journal of Monetary Economics*, n 35, p. 5-23, 1995.
- BALL, C. Efficient rules for monetary policy. NBER Working Paper, n. 5952, 1997.
- BALL, L.; MANKIW, G. Asymmetric price adjustment and economic fluctuations. *Economic Journal*, n. 104, p. 247-261, 1994.
- BALL, L.; MANKIW, G.; ROMER, D. The New-Keynesian economics and the output-inflation trade-off. *Brookings Papers on Economic Activity* (1), p. 1-65, 1988.
- BASTINI, N.; JACKSON, B.; NICKELL, S. Inflation dynamics and the labor share in the UK, External MPC Unit Discussion Paper – Bank of England , n. 2, 2000.
- BEAN, C. The new UK monetary arrangements. *Economic Journal*, v. 108, p. 1795-1809, 1998.
- BEVERIDGE, S.; NELSON, C. R. A New approach to decomposition of economic time series into

permanent and transitory components with particular attention to measurement of 'business cycle'. *Journal of Monetary Economics*, v. 7, p. 151-174, 1981.

BINDER, M.; PESARAN, M. H. Multivariate rational expectations models: A review and some new results. *Handbook of applied econometrics, Volume Macroeconomics*, p. 139-187, Oxford: Blackwell, 1995.

BOONE, L. Comparing semi-structural methods to estimate unobserved variables: the HPMV and Kalman filters approaches. *OECD Economics Department Working Papers*, n. 240, 2000.

BLANCHARD, O., GALÍ, J. Real wage rigidities and the New-Keynesian model. *Journal of Money, Credit, and Banking*, supplement to vol. 39, p. 45-65, 2007.

BUCHMANN, M. Nonparametric hybrid Phillips curves Based on Subjective Expectations: Estimates for the Euro Area. *European Central Bank, Working Paper Series 1119*, 2009.

CALVO, G. Staggered prices in a utility-maximizing framework. *Journal of Monetary Economics*, n. 12, p. 883-398, 1983.

CARROL, R. J.; FAN, J.; GIJBELS, I.; WAND, M. P. Generalized partially linear single-index models. *Journal of the American Statistical Association*, n. 438, p. 477-489, 1997.

CARVALHO, P. V. C. A curva de Phillips Novo-Keynesiana é Não-Linear? Evidências de países com metas de inflação. *Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Economia, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro*, 2010.

CHRISTIANO, L. J.; EICHENBAUM, M. S.; EVANS, C. L. The effects of monetary Policy shocks: Some evidence from the flow of funds. *National Bureau of Economic Research Working Paper*, n. 4699, 1994.

CLARIDA R.; GALÍ, J.; GERTLER, M. Monetary policy rules in practice: Some international evidence. *European Economic Review*, n. 42, p. 1033-1067, 1998.

CLARIDA R.; GALÍ, J.; GERTLER, M. Monetary policy rules and macroeconomic stability: Evidence and some theory. *Quarterly Journal of Economics*, n. 115, p. 147-180, 2000.

CLARK, P.; LAXTON, D.; ROSE, D. Asymmetry in the US output inflation nexus. *IMF Staff Papers*, n. 43, p. 216-251, 1996.

CORREA, A. S.; MINELLA, A. Mecanismos não-lineares de repasse cambial: Um modelo de curva de Phillips com threshold para o Brasil. *Anais do XXXIII Encontro Nacional de Economia*, n.33, 2005.

DEBELLE, G.; LAXTON, D. Is the Phillips curve really a curve? Some evidence for Canada, the United Kingdom, and the United States. *Staff Papers – International monetary Fund*, v. 44, n. 2, p. 249-282, 1997.

DOBRINSKAYA, V. Asymmetric price rigidity and the optimal interest rate defense of the exchange rate: Some evidence for the US. *Journal of Policy Modeling*, v. 30, n. 5, 2008.

DOBRINSKAYA, V. The implications of asymmetric price rigidity for the monetary policy in an open economy. *Higher School of Economics Working Papers*, v.9, 2009.

DOLADO, J. J.; MARÍA-DOLORES, R.; NAVEIRA, M. Are monetary-policy reaction functions asymmetric? The role of nonlinearity in the Phillips curve. *European Economic Review*, v. 49, n. 2, p. 485-503, 2005.

DUPASQUIER, C.; RICKETTS, N. Non-linearity in the output-inflation relationship: Some empirical results for Canada. *Bank of Canada - Working paper*, v. 98-14, 1998.

ELIASSON, A. Is the short-run Phillips curve nonlinear? Empirical evidence for Australia, Sweden and the United States. *Sveriges Riskbank - Working Paper Series*, v. 124, 2001.

FAN, J.; HÄRDLE, W.; MAMMEN, E. Direct estimation of low-dimensional components in additive models. *The Annals of Statistics*, v. 26, n.3, p. 943-971, 1998.

FASOLO, A. M.; PORTUGAL, M. S.. Imperfect rationality and inflationary inertia: a new estimation of the Phillips curve for Brazil. *Estudos Econômicos*, v. 34(4), out-dez, p. 725-776, 2004.

FILARDO, A. J. New evidence on the output cost of fighting inflation. *Economic Review*, third quarter, p.33-61, 1998.

FISHER, I. A statistical relation between unemployment and price changes. *International Labour Review* 13, 1926.

FISHER, T. C. G. Efficiency wages: A literature survey. Bank of Canada Working Paper, n.85-5, 1989.

FRIEDMAN, M. The role of monetary policy. *American Economic Review*, v. 58, p. 1-17, 1968.

FUHRER, J. C.; MOORE, G. R. Inflation persistence. *Quarterly Journal of Economics*, 440, 1995.

GALÍ, J.; GERTLER, M.. Inflation dynamics: A structural econometric analysis. *Journal of Monetary Economics*, 44, p. 195-222, 1999.

GALÍ, J.; GERTLER, M.; LÓPEZ-SALIDO, D. J. Robustness of the estimates of the hybrid New-Keynesian Phillips curve. Banco de España Working Papers, n. 0520, 2005.

HARDLE, W., MULLER, M., SPERLICH, S., e Werwatz, A. Nonparametric and semiparametric models. Springer, 1st Edition, 2004.

HARVEY, A. C. Trends and cycles in macroeconomic time series. *Journal of Business and Economic Statistics*, vol. 3, p. 216-227, 1985.

Harvey, A. Forecasting, structural time series models and Kalman filter. Cambridge, U.K.: Cambridge Univ. Press, 1989.

HENRY, S.; PAGAN, A.. The econometrics of the New Keynesian policy model: Introduction. *Oxford Bulletin of Economics and Statistics*, n. 66, p. 581-607, 2004.

HOROWITZ, J. L.; MAMMEN, E. Nonparametric estimation of an additive model with a link function. *The Annals of Statistics*, v. 32, n. 6, p. 2412-2443, 2004.

IRELAND, P. N. Sticky Price models of the business cycle: Specification and stability. *Journal of Monetary Economics*, v. 47, n. 1, p. 3-18, 2001.

JONDEAU, E.; LE BIHAN, H. Testing for the New Keynesian Phillips curve. Additional international evidence. *economic modeling*, v. 22, n. 3, p. 521-550, 2005.

KURMANN, A. Maximum likelihood estimation of dynamic stochastic theories with an application to the New Keynesian pricing. CIRPEE, n. 0421, 2004.

LAXTON, D.; MEREDITH, G.; ROSE, D. Asymmetric effects of economic activity of inflation: Evidence and policy implications. IMF Working Paper, n. 94/139, 1994.

LAXTON, D.; ROSE, D.; TAMBAKIS, D. The U.S. Phillips curve: The case for asymmetry. *Journal of Economic Dynamics and Control*, n. 23, p. 1459-1485, 1999.

LI, Q. e RACINE, J. S. Nonparametric econometrics: Theory and practice. Princeton University Press, 2007.

LIMA, E. C. R.. Unemployment and the rate of inflation in Brazil. *Revista Brasileira de Economia*, v.57(4), out - dez., p. 899-930, 2003.

LINDÉ, J. Estimating New-Keynesian Phillips curves: A full information maximum likelihood approach. *Journal of Monetary Economics*, v. 52, n. 6, p. 1135-1149, 2005.

LUCAS, R. J. Some international evidence on output-inflation trade-offs. *American Economic Review*, v. 63, n. 3, p. 326-34, 1973.

MACHADO, V. G. ; PORTUGAL, M. S. . Measuring inflation persistence in Brazil using a structural times series model. In: 2012 Annual Meeting of the Latin American and Caribbean Economic Association, 2012, Lima, Peru. Papers and Proceedings of LACEA 2012. Lima, Peru: LACEA, 2012.

MACKLEM, T. Capacity constraints, price adjustment, and monetary policy. *Bank of Canada Review*, v. Spring, p.39-56, 1997.

MISHKIN, F.; POSEN, A. Inflation targeting: Lessons from four countries. Federal Reserve Bank of New York Economic Policy Review, n. 3, p.89-110, 1997.

NADARAYA, A. E. On non-parametric estimates of density functions and regression curves. Theory of Probability and Its Applications, vol. 10, n. 01, 1965.

NEWWEY, W. K.; WEST, K. D. A simple, positive semi-definite, heteroskedasticity and autocorrelation consistent covariance matrix. *Econometrica*, n. 55(3), p. 703-708, 1987.

ORPHANIDES, A; WIELAND, V. W. Inflation zone targeting. *European Economic Review*, n. 91, p. 226-231, 2000.

PAGAN, A.; ULLAH, A. Nonparametric econometrics. Cambridge University Press, 1999.

PHELPS, E. Money-Wage dynamics and labor market equilibrium. *Journal of Political Economy*, v.76, p. 678-711, 1968.

PHILLIPS, A. W. The Relationship between unemployment and the rate of change of money wages in the United Kingdom 1861-1957. *Economica*, v. 25 (100), p.283-299, 1958.

RAVN, M.; UHLIG, H . On adjusting the HP-filter for the frequency of observations. Tilburg University, Center for Economic Research – C.E.P.R Discussion Paper 2858, 1997.

ROMER, D. Advanced macroeconomics. McGraw-Hill, 4th edition, 2011.

SCHALING, E. The nonlinear Phillips curve and inflation forecast targeting: Symmetric versus asymmetric monetary policy rules. *Journal of Monetary, Credit and Banking*, vol. 36, n. 3, p. 361-386, 2004.

SCOTT, D. W. Multivariate density estimation: Theory, practice, and visualization. Wiley, New York, 1992.

SILVERMAN. B. W. Density estimation for statistics and data analysis. Chapman and Hall, London, 1986.

STIGLITZ, J. E. Price rigidities and market structure. *American Economic Review*, n. 74, p. 350-355, 1984.

STIGLITZ, J. E. Theories of wage rigidity. *Keynes' Economic Legacy: Contemporary Economic Theories*, edited by Butkiewicz, L. J.; Koford, J. K.; Miller, B. J. – New York: Praeger, p. 153-222, 1986.

STIGLITZ, J. E. Reflection on the natural rate hypothesis. *Journal of Economic Perspectives*, v. 11, n. 1, p.3-10, 1997.

STOCK, J.; WHIGHT, J.; YOGO, M. GMM, weak instruments and weak identification. *Journal of Business and Economic Statistics*, n. 20, p. 518-530, 2002.

SVENSSON, L. O. Inflation forecast targeting: Implementing and monitoring inflation targets. *European Economic Review*, n. 41, 111-1146, 1997.

SVENSSON, L. O. Open-economy inflation targeting. *Journal of International Economics*, v.50, p. 155-183, 2000.

TAMBAKIS, D. N. Monetary policy with a convex Phillips curve and asymmetric loss. *International Monetary Fund - Working Paper*, n. 21, 1998.

TAYLOR, J. B. Discretion versus policy rules in practice. *Carnegie-Rochester Conference n Public Policy*, n. 39, p. 195-214, 1993.

TOMBINI, A. A.; ALVES, S. A. L.; The recent Brazilian disinflation process and costs. Banco Central do Brasil, Working Paper Series, n. 109, p. 1-26, 2006

WAND, M. P; JONES, M. C. Comparison of smoothing parameterizations in bivariate kernel density estimation. *Journal of American Statistical Association*, n. 88, p. 520-528, 1993.

WATSON, G. S. Smooth regression analysis. *Sankhya – The Indian Journal of Statistics, Series A*, n. 26, p. 359-372, 1964.