

Mudanças climáticas e o Ciclo Econômico Brasileiro

Climate change and the Brazilian Economic Cycle

Alfrânio Rodrigo Trescher¹

Sérgio Ricardo de Brito Gadelha²

Resumo

Este estudo investiga o impacto das mudanças climáticas no ciclo econômico brasileiro. Utilizando um Modelo DSGE de pequeno porte, o estudo incorpora variáveis climáticas para analisar os efeitos de variações climáticas, como ondas de calor e secas, em variáveis macroeconômicas e fiscais. Os resultados destacam a sensibilidade do setor agrícola às flutuações climáticas e sugerem que políticas monetárias e fiscais devem considerar esses impactos para mitigar riscos e promover a estabilidade econômica. As simulações revelam como as mudanças climáticas podem afetar a estabilidade de preços, sublinhando a necessidade de uma gestão política proativa e adaptativa diante das mudanças.

Palavras-chave: Mudanças climáticas, ciclo econômico, política monetária, política fiscal.

Abstract

This study investigates the impact of climate change on the Brazilian economic cycle. Using a small-scale DSGE model, the study incorporates climatic variables to analyze the effects of climatic variations, such as heat waves and droughts, on macroeconomic and fiscal variables. The results highlight the sensitivity of the agricultural sector to climatic fluctuations and suggest that monetary and fiscal policies should consider these impacts to mitigate risks and promote economic stability. The model's simulations reveal how climate change can affect price stability, emphasizing the need for proactive and adaptive policy management in the face of these changes.

¹ Mestre em Economia pelo Instituto Brasileiro de Ensino, Desenvolvimento e Pesquisa (IDP). E-mail: alfranio.rodriigo@gmail.com

² Auditor-Federal de Finanças e Controle da Secretaria do Tesouro Nacional. Professor do Mestrado Profissional em Economia, Políticas Públicas e Desenvolvimento do Instituto Brasileiro de Ensino, Desenvolvimento e Pesquisa (IDP). E-mail: sergio.gadelha@idp.edu.br. Lattes: <http://lattes.cnpq.br/2146234312605522>. Orcid: 0000-0002-4685-8438.

Key words: Climate change, economic cycle, monetary policy, fiscal policy.

Classificação JEL: C13, E32, F41, Q54

1. Introdução

As mudanças climáticas se referem a variações a longo prazo na temperatura e no padrão climático global, que ocorre por causas naturais ou antrópicas. A evidência científica revela que, desde a revolução industrial, a atividade humana tem sido a principal fonte destas mudanças, como consequência do aumento significativo na concentração de gases na atmosfera, como o dióxido de carbono (CO₂), o metano (CH₄), o óxido nitroso (N₂O) e outros. Por sua vez, as mudanças climáticas, através do aumento da intensidade e frequência dos eventos climáticos extremos, vêm causando impactos adversos generalizados, assim como perdas materiais e humanas. Os fenômenos meteorológicos extremos estão ocorrendo simultaneamente, causando impactos em sequência que são cada vez mais difíceis de administrar. Os impactos econômicos e sociais das mudanças climáticas são desigualmente distribuídos, afetando mais intensamente os mais pobres e os setores econômicos que dependem mais intensamente da estabilidade climática (IPCC, 2022).

No Brasil, estudos sobre os impactos de eventos climáticos extremos no ciclo econômico ainda são poucos, no que concerne às respostas necessárias das políticas fiscal e monetária diante desses eventos. Os desastres naturais no país, tipicamente regionais devido a sua vasta extensão territorial e diversidade de biomas, sublinham a necessidade de uma análise mais aprofundada sobre como as mudanças climáticas, como o aumento das temperaturas, podem afetar a economia. Essa relevância é amplificada pelo papel crucial das *commodities*, principalmente as agrícolas, no crescimento econômico brasileiro, sujeitas às flutuações desencadeadas pelos ciclos de *commodities*. A forte influência dessas *commodities* no Produto Interno Bruto (PIB) destaca a urgência de incorporar os impactos climáticos nas estratégias de política econômica. Os choques climáticos, tais como ondas de calor e secas, têm se tornado mais frequentes e intensos nos últimos anos, sugerindo uma tendência de maior relevância desses choques como motores de flutuações econômicas, particularmente em países com economias baseadas na agricultura, onde tais

alterações podem gerar oscilações significativas no setor agrícola e afetar a economia como um todo.

Grande parte da agricultura no país ainda depende das condições climáticas, especialmente do regime de chuvas. Esta dependência evidencia a vulnerabilidade de uma parcela substancial do setor agrícola brasileiro aos ciclos climáticos, assim como o impacto do aumento da temperatura pode ser persistente a ponto de aumentar o custo de produção, em áreas de irrigação controlada, afetando a inflação de alimentos. Essa situação ressalta a importância de respostas adequadas das autoridades governamentais aos eventos climáticos extremos, que tendem a ser mais frequentes, gerando efeitos adversos (por exemplo, insegurança alimentar, recessões, desvalorização cambial etc.), exigindo a inclusão de *proxies* de mudanças climáticas em modelos econômicos tradicionais.

O recente aumento de anomalias climáticas redefiniu esses modelos, revelando conexões intrínsecas entre mudanças climáticas, bem como variáveis macroeconômicas e fiscais. Conforme Cevik e Gwon (2024), as ramificações dessas perturbações climáticas se estendem muito além da esfera ecológica, instigando um efeito cascata através das cadeias de suprimentos globais e, finalmente, afetando a dinâmica da inflação, por exemplo. Entretanto, os desastres naturais relacionados aos eventos climáticos extremos, os quais têm aumentado em frequência e intensidade, demandam respostas coordenadas das políticas monetária e fiscal devido aos impactos significativos desses desastres. A hipótese desse estudo reside no fato de que o choque de oferta ocasionado por mudanças climáticas exige uma resposta eficaz das políticas monetária e fiscal, uma vez que a ação fiscal pode mitigar alguns dos efeitos adversos de curto prazo, mas se não for cuidadosamente calibrada, pode levar a pressões inflacionárias adicionais no médio e longo prazo.

Assim, o objetivo geral deste artigo analisar o impacto de eventos climáticos extremos na economia, assim como as intervenções de política econômica necessárias em resposta a essas mudanças climáticas. Em termos de objetivos específicos, propõe-se a implementação de um Modelo de Equilíbrio Geral Estocástico e Dinâmico (DSGE) para

explorar não apenas como choques de oferta alterados por mudanças climáticas impactam a inflação de produtos agrícolas, como também a resposta das autoridades monetária e fiscal a esses choques. A abordagem inclui uma adaptação da Curva de Phillips novo keynesiana, que agora considera tanto as alterações nos preços internacionais das *commodities* quanto as oscilações climáticas causados pelos fenômenos El Niño e La Niña.

Em termos de justificativa do tema, este estudo se destaca na literatura existente sobre o assunto no Brasil ao integrar variáveis climáticas relevantes, permitindo a avaliação dos efeitos sobre a oferta agregada por meio da análise das tendências de alta nos preços ao consumidor. O resultado é um conjunto de simulações de determinadas variáveis econômicas para um horizonte de médio prazo, proporcionando uma base para investigar os efeitos econômicos decorrentes das mudanças climáticas e formular respostas políticas eficazes.

Em um contexto de intensificação do processo inflacionário devido ao choque de oferta provocado por eventos climáticos extremos, o presente estudo contribui à literatura sobre o tema de forma tríplice. Em primeiro lugar, revela-se que estímulos fiscais exacerbam a volatilidade no nível de atividade econômica, de acordo com o comportamento do hiato do produto. Em segundo lugar, o presente estudo destaca que a resposta monetária deve ser adequadamente calibrada para mitigar os efeitos adversos dos choques climáticos, com uma atenção particular aos setores mais vulneráveis, como a agricultura. A inflação no primeiro ano após o choque climático aumenta em 2,22%, de modo que a taxa de juros no cenário de choque de oferta provocado por eventos climáticos extremos precisaria ser 1,83% mais alta no período. No entanto, devido ao aumento de gastos governamentais visando mitigar os efeitos dos desastres provocados pelas mudanças climáticas, a taxa de juros precisaria ser ainda mais alta, em 6,2%, para pagar a dívida pública criada para financiar esses gastos adicionais. O modelo DSGE utilizado demonstrou a complexidade da interação entre políticas fiscal e monetária, choques climáticos e dinâmicas macroeconômicas, fornecendo um panorama detalhado dos potenciais impactos econômicos e orientações para políticas públicas eficazes. Por fim, amplia-se o entendimento dos mecanismos pelos quais os choques climáticos afetam as economias

emergentes, com implicações de política econômica significativas, combinando-se a modelagem macroeconômica com variáveis climáticas, sendo uma abordagem relativamente nova e cada vez mais relevante dada a emergência climática global.

O restante deste artigo está organizado da seguinte forma. A próxima seção fornece evidências sobre o impacto das mudanças climáticas nas variáveis macroeconômicas, com base na literatura existente sobre o tema. A seção 3 detalha a estrutura do modelo DSGE e os dados utilizados, respectivamente. A seção 4 apresenta os resultados obtidos e analisa os efeitos de curto prazo das mudanças climáticas. Por fim, a última seção apresenta as considerações finais e as implicações de política econômica dos resultados obtidos neste estudo.

2. Referencial Teórico

2.1 Impactos das Mudanças Climáticas no Brasil

Entre 2001 e 2017, a maior parte do mundo experimentou um aumento na frequência e intensidade dos desastres naturais relacionados aos eventos climáticos extremos, paralelamente a um aquecimento global significativo, com 17 dos 18 anos registrando temperaturas médias elevadas. Este período também observou um salto na frequência anual de desastres naturais de 222 em 1980 para mais de 700 em 2016 (Delgado *et al.*, 2021).

A América Latina e o Caribe são uma das regiões mais vulneráveis do mundo aos impactos das alterações climáticas, o que resulta em grandes desafios para os governos. A Organização Meteorológica Mundial (OMM) relata que os impactos de eventos relacionados com o clima, incluindo ondas de calor ou inundações, ceifaram mais de 312.000 vidas na região e afetaram mais de 277 milhões de pessoas entre 1998 e 2020. O Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (*The Intergovernmental Panel on Climate Change* - IPCC) estima que o planeta aqueceu 1,1°C desde a era pré-industrial por causa da atividade humana. Ao mesmo tempo, o aumento da temperatura global eleva os riscos fiscais decorrentes de catástrofes naturais. O IPCC afirma que a janela para

limitar o aumento da temperatura global a 1,5° C visando o cumprimento do Acordo de Paris irá se fechar em breve, mas há tempo para fazer a transição voltada a economias verdes e resilientes ao clima. É, portanto, essencial que os ministérios das finanças e de planejamento, ou órgãos equivalentes, desempenhem um papel ativo na criação de maior resiliência econômica para as comunidades mais afetadas por esses desastres naturais. A identificação e gestão dos riscos fiscais gerados por eventos climáticos extremos é fundamental, dado que os países da América Latina e do Caribe têm enfrentado um número crescente desses eventos (BID, 2021).

A ocorrência média anual destes eventos na região da América Latina e Caribe aumentou mais de 50% nas últimas décadas, passando de 0,20 eventos entre 1980 e 2000 para 0,30 entre 2001 e 2019. Para os países que enfrentaram pelo menos um evento extremo em cada um destes períodos, a ocorrência média passou de um evento a cada oito anos (1980-2000) para um evento a cada cinco anos (2001-2019). O Brasil e o México, por exemplo, têm enfrentado eventos climáticos extremos quase todos os anos (em média), enquanto o Panamá e o Suriname não enfrentaram nenhum (BID, 2021). O Brasil destacou-se por registrar, em média, um fenômeno climático extremo em praticamente todos os anos. Além disso, o aquecimento da atmosfera decorrente da maior concentração de gases de efeito estufa leva a uma aceleração do ciclo da água, o que pode tornar eventos extremos mais frequentes, tais como secas e inundações (Stern, 2007).

Obviamente que no Brasil os eventos climáticos extremos não ocorreram em todo o território nacional, haja vista sua extensão continental. Esta disparidade climática é perceptível ao analisar o Monitor de Secas de fevereiro de 2024 (ANA, 2024). Observa-se que a Região Sul quase não apresenta nenhum sinal de seca, fato muito diferente das demais regiões. Quando se utiliza um único indicador climático para todo o país, esta diferença entre as regiões pode resultar em um índice médio que não captura os dois extremos da medição.

Além de ter consequência na perda de vidas, os danos econômicos provenientes dos desastres naturais podem ser significativos e colocar a vida da população em uma espiral negativa pois, ao afetar a redução da arrecadação devido a este choque, exige-se uma

resposta do governo tanto para auxílios, como para reconstrução de infraestrutura. No final do período, a economia perdeu receita e aumentou gasto público não planejado e não alinhado com o planejamento fiscal de médio prazo do governo. Alejos (2018) estima que a ocorrência de, pelo menos, um evento climático extremo por ano está associada a um aumento do déficit fiscal de 0,8% do PIB nos países de renda média-baixa e 0,9% do PIB no grupo de renda baixa.

Este artigo utiliza dados do aquecimento anormal das águas superficiais no Pacífico Equatorial, conhecidos como El Niño, que é uma fase do fenômeno El Niño-Oscilação Sul (ENOS). Seus impactos históricos são conhecidos desde a época da colonização do Peru em 1525, mas sendo recorrente por milhares de anos. As civilizações antigas como os Incas já adaptavam suas práticas, construindo cidades em colinas e armazenando alimentos para enfrentar suas consequências. No entanto, o interesse global sobre esse aquecimento em específico cresceu significativamente após as devastações de 1982-1983, impulsionando estudos que permitiram previsões climáticas precisas durante o evento de 1997-1998. Em condições normais, os ventos alísios propiciam o acúmulo de água quente no Pacífico ocidental, mas durante o El Niño, alterações na circulação atmosférica e oceânica levam a um aumento significativo das temperaturas do mar, alterações nas correntes de ar e impactos climáticos e ecológicos globais, como chuvas intensas no Peru e secas na Indonésia e Austrália. A intensidade e ocorrência do El Niño são monitoradas pelo Índice de Oscilação Sul e pela Anomalia de Temperatura da Superfície do Mar, refletindo mudanças significativas na pressão atmosférica e na temperatura oceânica, influenciando padrões climáticos e ecológicos mundiais (Kiyuna, 2002).

A anomalia de temperatura é a diferença de temperatura em relação à média histórica. A mensuração ocorre em regiões denominadas de Niño (ou Nino) no Pacífico Equatorial, quais sejam, Niño 1+2 (0-10S, 90-80W), Niño 3 (5N-5S, 150-90W), Niño 4 (5N-5S, 160E-150W) e Niño 3.4 (5N-5S, 170-120W), esta última abrangendo partes de Niño 3 e 4. Os padrões climáticos do efeito El Niño observados globalmente durante as estações de inverno e verão no Hemisfério Sul. Entre junho e agosto, observa-se precipitação intensa no sul do Brasil e temperaturas elevadas do Sudeste ao Nordeste; já de dezembro a fevereiro, as chuvas concentram-se na região Sul, enquanto o Sudeste experimenta calor

e o Nordeste enfrenta condições secas. Durante esses períodos, tanto a Indonésia quanto o norte da Austrália geralmente apresentam clima mais árido, e há um aumento significativo das chuvas sobre vastas áreas equatoriais do Oceano Pacífico. Conseqüentemente, durante os eventos de El Niño, é comum a ocorrência de irregularidades nas precipitações em várias áreas, com elevação das temperaturas na maior parte do mundo, ou redução térmica no sul dos Estados Unidos.

Com base nos efeitos conhecidos, e pelo El Niño causar alterações em todo o mundo globo é que se justificou o uso destes dados na modelagem econômica deste estudo. Além de haver impactos na agricultura, também pode-se ter efeitos migratórios. Com as temperaturas variando de -20°C no Ártico a 30°C no Equador, e com previsões de aumento global entre $1,4$ e $4,5^{\circ}\text{C}$ até 2100, é evidente que os impactos das mudanças climáticas variarão significativamente pelo mundo. Considerando a vasta extensão de terras nas latitudes mais ao norte, se houvesse a possibilidade de livre circulação de populações e atividades econômicas pelo planeta, o impacto econômico do aquecimento global poderia ser consideravelmente atenuado. Estima-se que uma queda de 10% nos rendimentos das culturas aumente a migração em 2% (Feng *et al.*, 2011). No entanto, existem obstáculos reais à mobilidade: imigrantes se deparam com barreiras: o comércio e o transporte acarretam custos elevados; as infraestruturas físicas apresentam vulnerabilidades; e a disseminação do conhecimento ligado aos setores econômicos ocorre de maneira limitada. Portanto, o ônus econômico resultante das mudanças climáticas também está relacionado a esses obstáculos espaciais (Desmet, 2024).

2.2 Modelos Macroeconômicos e Mudanças Climáticas

As mudanças climáticas impactam não apenas a agricultura, mas também os setores industriais e de serviços. Em um estudo feito nas Filipinas, constatou-se que o setor industrial sofre uma redução de 1,8%, e o setor de serviços, 0,7%, devido à perda de produtividade laboral ou ao aumento dos custos para manter ambientes de trabalho adequados, como a necessidade de instalação de ar-condicionado devido ao aumento das temperaturas. Além disso, a pesquisa identificou que os choques de temperatura ameaçam a atividade econômica e inflacionam os preços, afetando setores diversos, desde a

agricultura até a manufatura e serviços, enfatizando a importância de uma abordagem conjunta das autoridades governamentais para mitigar esses desafios. A análise enfatiza a necessidade de políticas fiscal e monetária coordenadas visando lidar com o impacto inflacionário desses choques climáticos. Intervenções não monetárias imediatas são cruciais para gerenciar os efeitos a curto prazo, dada a latência nas respostas da política monetária. Em face de persistência inflacionária e consequências subsequentes, torna-se essencial que o banco central ajuste as taxas de juros de forma proativa para estabilizar a economia (Armas *et al.*, 2024).

Estudos sugerem que regiões mais pobres e quentes sofrem impactos econômicos mais severos devido a temperaturas elevadas. Contudo, Berg *et al.* (2023) revelam que o crescimento econômico em diversos países menos desenvolvidos, tem reagido positivamente às variações históricas de temperatura global. Embora esses resultados reconheçam que essas relações entre crescimento econômico e temperatura podem se alterar no futuro com o aumento do aquecimento global, devido a potenciais pontos de inflexão ou adaptações, é provável que estes ganhos de curto prazo estejam sendo absorvidos pela inflação repassada aos consumidores. Há desafios ao se utilizar a relação entre mudanças climáticas de curto prazo e os lucros agrícolas para deduzir os impactos do aquecimento global. Flutuações imediatas no clima podem causar ajustes temporários nos preços, ofuscando o verdadeiro efeito de longo prazo dessas mudanças (Deschênes, 2007).

Em modelos econômicos voltados para questões ambientais, utiliza-se dados de temperatura para análises climáticas. No setor agrícola, essas análises são enriquecidas com dados de precipitação para avaliar os padrões de produtividade agrícola. A umidade do solo é determinada pela interação entre a quantidade de chuva e as temperaturas, onde a precipitação promove o aumento da produtividade agrícola ao estimular o crescimento das plantações, enquanto o aumento das temperaturas pode levar a uma maior evapotranspiração, diminuindo a disponibilidade de água e, por conseguinte, a produtividade do solo (Gallic, 2020).

A literatura sobre impactos climáticos e seus efeitos econômicos não é recente. Muitos modelos têm surgido e demonstrado a urgência em se incorporar as variáveis climáticas, mas também é necessário medir a eficácia destes modelos. Newell *et al.* (2021) estudaram 800 modelos econométricos, e os resultados obtidos sugerem uma perda de 1% do PIB global, devido a um choque climático, mas que poderia ser de 5 a 12 vezes maior até 2100.

Kotz *et al.* (2024) analisaram como as mudanças climáticas, em particular, o aumento das temperaturas, tem impactado a inflação global e alimentar, bem como a produtividade econômica, e os resultados obtidos indicam que essas mudanças podem ameaçar a estabilidade de preços. Foram utilizadas regressões de modelos de efeitos fixos em mais de 27.000 observações de índices mensais de preços ao consumidor em todo o mundo para quantificar os impactos das condições climáticas sobre a inflação. As temperaturas mais elevadas aumentam o processo inflacionário de forma persistente ao longo de 12 meses, tanto nos países de rendimento mais elevado como nos países de renda baixa. Os efeitos variam entre estações e regiões, dependendo do clima, com impactos adicionais decorrentes da variabilidade diária da temperatura e da precipitação extrema. Avaliar estes resultados levando-se em consideração os aumentos de temperatura previstos para 2035 implica pressões ascendentes sobre a inflação de alimentos e a inflação global de 0,92-3,23 e 0,32-1,18 pontos percentuais por ano, respectivamente, em média a nível mundial (intervalo de incerteza entre cenários de emissões, modelos climáticos e especificações empíricas). As pressões são maiores em latitudes baixas e apresentam forte sazonalidade em latitudes altas, com pico no verão. Por último, o calor extremo do verão de 2022 aumentou a inflação alimentar na Europa em 0,43-0,93 pontos percentuais, cujo aquecimento projetado para 2035 amplificaria entre 30% a 50%.

Keen (2011) desenvolvem um modelo DSGE visando mensurar as respostas da política monetária sobre a inflação, utilizando o canal de ativos. Os dados de desastre ambiental foram utilizados na perda de valor dos ativos das famílias (em que o desastre destrói uma parcela economicamente relevante do estoque de capital produtivo da economia) e afetando a empresa, pois um desastre interrompe temporariamente a produção, o que foi modelado como um choque tecnológico negativo transitório. Os canais de transmissão da

política monetária são influenciados pela destruição de capital e choques tecnológicos negativos temporários resultantes de desastres naturais. Além disso, o modelo DSGE utilizado incorpora rigidez nominais de preços e salários, bem como utiliza uma regra de Taylor generalizada para a política monetária. Inspirados após o evento do furacão Katrina, no qual se esperava que o *Federal Reserve* (FED) dos Estados Unidos mudasse a direção da sua política monetária e não o fez, os resultados obtidos sugerem que, diante de um desastre, a autoridade monetária deve aumentar sua meta para a taxa de juros nominal. Diante da maior inflação e de um aumento na taxa de juros real devido à destruição do estoque de capital, a adoção de política monetária restritiva (contracionista, apertada) é mais apropriado do que política monetária expansiva (ou estimulativa), em conformidade com o princípio de Taylor (1993), no qual a taxa de juros nominal tende a ajustar-se em resposta a variações na inflação do que às alterações no nível de produção. Este princípio se mantém mesmo incorporando diretamente uma variável que representa mudanças climáticas na regra de Taylor.

Gallic e Vermandel (2020) investigam a importância dos choques climáticos no ciclo econômico, utilizando um modelo DSGE. Com um setor agrícola dependente do clima, o estudo documenta a propagação dos choques climáticos em uma economia pequena e aberta, e estima o modelo para avaliar os impactos no ciclo econômico. Dentre os resultados obtidos, destaca-se que choques climáticos explicam cerca de 35% das flutuações do PIB e da produção agrícola na Nova Zelândia, resultando em um custo de bem-estar significativo.

Em relação às contribuições para o caso brasileiro, o presente artigo irá focar nos canais de transmissão de taxa de juros e câmbio, haja vista que no Brasil a política monetária possui muitos canais obstruídos, como é o caso do canal crédito, que é composto por aproximadamente 40% de crédito direcionado e que possui tabelamento de taxa. Há também outros problemas, como é o caso da dívida pública estar concentrada em ativos pós fixado atrelados a própria taxa do Banco Central, na qual a entidade altera a taxa para controlar a economia e o próprio governo central torna-se o maior afetado (Barboza, 2015).

3. Metodologia

Neste estudo, utiliza-se um Modelo DSGE agregado semiestrutural de pequeno porte utilizado pelo Banco Central do Brasil (Lima *et al.*, 1999; Bogdanski *et al.*, 2000; BCB 2017, 2020), considerando-se mudanças climáticas e suas interações com as políticas fiscal e monetária, com as seguintes extensões feitas por Teles e Teixeira (2022): (1) um bloco fiscal onde um choque de gastos afeta a trajetória da demanda agregada; (2) a incorporação do resultado fiscal estrutural na explicação da trajetória da taxa de juros neutra; (3) estimação do produto potencial e do hiato do produto baseada em Blagrove *et al.* (2015). Além disso, a inclusão do bloco fiscal, conforme pontos (1) e (2) citados anteriormente, permitem a avaliação de forma mais precisa sobre como a política fiscal pode afetar variáveis econômicas no médio prazo, em resposta aos impactos das mudanças climáticas. Seus microfundamentos encontram-se descritos no Apêndice A, entretanto, destacam-se as seguintes modificações em relação às versões anteriores:

(a) Substituições nas fontes de dados: (1) o Índice de *Commodities* do Banco Central (IC-BC) foi substituído pelo CRB (*Commodities Research Bureau*); (2) alteração da região de medição dos dados climáticos. Substituído de NINO 3.4 para a região NINO 1+2, que é a região mais próxima a América Latina e traz a volatilidade do clima observada empiricamente no país; e (3) Uso da série histórica do Resultado Estrutural elaborada pelo Instituto Fiscal Independente (IFI) visando explicar a taxa de juros de equilíbrio.

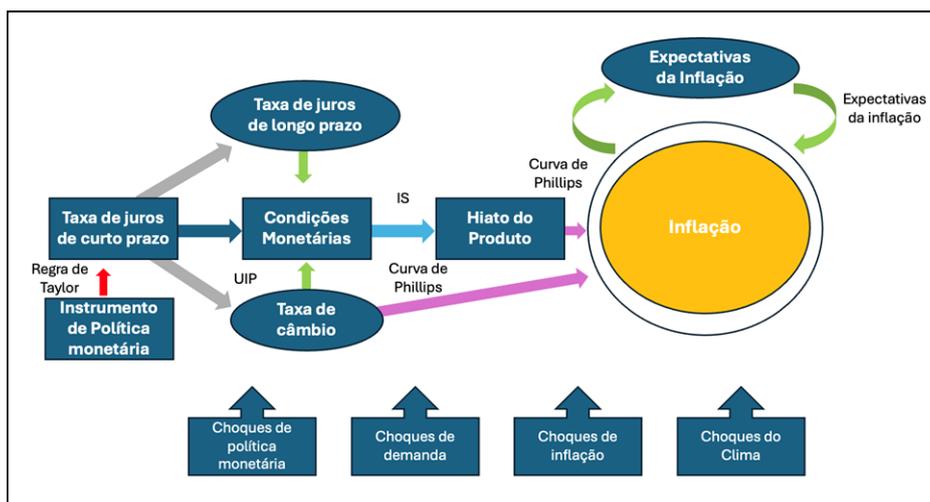
(b) Alterações de equações: (1) A equação que estima a curva de Phillips teve a alteração da variável climática e a equação que a definia; (2) A equação de informação do hiato do produto foi utilizada, seguindo Teles e Teixeira (2022), em que o desvio da tendência do resultado fiscal foi desagregado em desvios dos gastos ricardianos e não ricardianos; (3) Os parâmetros do modelo foram recalibrados.

Foram utilizados dados de variáveis macroeconômicas, fiscais e de clima entre o último trimestre de 2003 e o último trimestre de 2023. Esse período é caracterizado por melhorias no setor agrícola como correção de solo, irrigação artificial, incremento de sementes transgênicas e tecnologia aplicada no campo.

3.1 Descrição do Modelo DSGE Macrofiscal com Mudanças Climáticas

O modelo DSGE é composto por cinco blocos: (i) uma curva IS novo-keynesiana, que define a trajetória do hiato do produto; (ii) uma curva de Phillips novo-keynesiana, que descreve a evolução da inflação dos preços livres; (iii) uma regra de Taylor, que mostra a resposta da política monetária às divergências da meta de inflação; (iv) uma equação que modela a evolução das expectativas de inflação; e (v) uma equação de paridade descoberta de juros, que relaciona a taxa de câmbio ao diferencial de juros domésticos e externos. A Figura 1 a seguir descreve os principais canais de transmissão no modelo em análise.

Figura 1 – Diagrama do modelo



3.1.1 - Curva IS Novo Keynesiana

Diferentemente dos modelos DSGE tradicionais em que a Curva IS novo-keynesiana híbrida baseada na equação de Euler para o consumo agregado, no presente estudo a Curva IS novo-keynesiana encontra-se assim descrita (Lima *et al.*, 1999; Bogdanski *et al.*, 2000; BCB 2017, 2020; Teles e Teixeira, 2022):

$$h_t = \beta_1 h_{t-1} - \beta_2 \hat{r}_{t-1} + \beta_3^r \widehat{r\bar{p}}_{t-1} + \beta_4 \hat{\varrho}_t + \beta_5 h_t^* + \varepsilon_t^y \quad (1)$$

$$\hat{r}_t = r_{t,t+4}^{ex} - \pi_{t,t+4}^e - r_t^{eq} \quad (2)$$

$$r_t^{ex} = \frac{0,5i_t + E_t i_{t+1} + E_t i_{t+2} + E_t i_{t+3} + 0,5E_t i_{t+4}}{4} + \varepsilon_t^{ie} \quad (3)$$

$$r_t^{eq} = r_{t-1}^{eq} + \zeta(s_t) + \varepsilon_{req} \quad (4)$$

onde h_t é o hiato do produto doméstico; \hat{r} é uma medida de hiato de juros real, obtida pela diferença entre juros real esperado e juros natural (r^{eq}), sendo π^e é a expectativa de inflação e r^{ex} é a expectativa da taxa Selic; s_t é o indicador fiscal conhecido por resultado fiscal estrutural, divulgado pelo Instituto Fiscal Independente (IFI); $\widehat{r\hat{p}}_{t-1}$ é o componente cíclico do resultado fiscal estrutural defasado em um período; $\hat{\varepsilon}$ é o grau de incerteza na economia; e h^* é uma *proxy* do hiato do produto mundial.

Assim, a curva IS novo keynesiana aborda as variações na demanda agregada, onde o hiato do produto é influenciado tanto pelas políticas monetária e fiscal, que podem aumentar ou diminuir a demanda, quanto por choques externos e incertezas econômicas que podem reduzir os investimentos. Outro ajuste no modelo ao compor o bloco fiscal é a inclusão da variação de gastos totais como componente da taxa de juros neutro.

Tabela 1 – Variáveis observáveis utilizadas na Curva IS – Hiato do Produto

Variável	Descrição	Fonte de Dados
i	Taxa de juros – Meta Selic	Banco Central do Brasil
π^e	Expectativas de Inflação	Banco Central do Brasil
$\hat{\varepsilon}$	Índice de Incerteza econômica	Fundação Getúlio Vargas
$\widehat{r\hat{p}}$	Componente Cíclico do Resultado Fiscal Estrutural	Instituto Fiscal Independente
s_t	Resultado Fiscal Estrutural	Instituto Fiscal Independente
r^{ex}	Taxa de Juros Futuro	Bolsa de Valores Brasileira

As variáveis utilizadas neste bloco passaram por transformações para garantir a compatibilidade e a precisão dos dados no modelo. A taxa de juros anual, que é coletada mensalmente e sendo convertida para uma média trimestral, foi dividida por quatro. O desvio da média do Índice de Incerteza Econômica foi calculado subtraindo a média histórica do valor atual. As expectativas de inflação foram consideradas para quatro

trimestres à frente, enquanto a taxa de juros futura foi obtida de contratos futuros e dividida por quatro.

Em particular, o resultado fiscal estrutural deve ser compreendido como o resultado fiscal convencional livre de influências transitórias, isto é, aquele resultado que seria observado com o PIB no nível potencial, preço do petróleo igual ao valor de equilíbrio de longo prazo, e sem receitas e despesas não recorrentes (atípicas, extraordinárias). O indicador procura medir o esforço discricionário e recorrente do setor público consolidado para se alcançar a solvência de longo prazo do país. A apuração do resultado primário estrutural pode ser considerada como uma depuração das estatísticas fiscais convencionais, uma vez que se extrai um indicador que busca expressar o efeito discricionário da política fiscal sobre a solvência, ou seja, um resultado fiscal livre dos efeitos cíclicos do nível de atividade econômica e dos eventos fiscais não recorrentes que tendem a afetá-lo. Em resumo, o resultado primário estrutural garante uma melhor percepção sobre o quão expansionista ou contracionista é a ação discricionária da política fiscal em cada período.

A inclusão dessa curva IS modificada no modelo se justifica devido que os choques climáticos afetam a oferta e não a demanda por produtos, alterando a quantidade disponível de alimentos para a população e seus respectivos preços.

Seguindo Teles e Teixeira (2022) (ver apêndice B), utilizou-se duas equações da curva IS híbrida novo keynesiana. A primeira (1) para capturar o hiato do produto e a segunda (5) para medir o nível de atividade na economia, em que o componente cíclico do resultado fiscal estrutural foi substituído por gastos ricardianos e não ricardianos, calculados com base nos dados divulgados no Resultado do Tesouro Nacional. Foram coletados os dados mensais do resultado primário do governo central, dividido pela estimativa de PIB mensal divulgada pelo Banco Central do Brasil, e o valor acumulado por trimestres. Após ter todo resultado como um percentual do PIB foi separado as despesas entre transferências para famílias ricardianas e não-ricardianas, onde assume-se que as despesas com Benefícios Previdenciários, Benefícios de Prestação Continuada da LOAS/RMV, Créditos Extraordinários (exceto PAC), Programa Bolsa Família e Auxílio Brasil, Saúde, Educação e Assistência Social são transferências não-ricardianas, ao passo que as demais

despesas são transferências ricardianas. Para que em resposta a um evento climático, o governo possa reagir fazendo transferências via gastos ricardianos e não ricardianos, como é observado empiricamente. Na qual a equação da Curva IS ficou da seguinte forma:

$$fpib_t = \beta_1 fpib_{t-1} - \beta_2 \hat{r}_{t-1} + \beta_3^r (g_t^{ric} - g_{t-1}^{ric}) + \beta_3^{nr} (g_t^{nr} - g_{t-1}^{nr}) + \beta_4 \hat{e}_t + \beta_5 h_t^* + \varepsilon_t^y \quad (5)$$

Tabela 2 – Variáveis observáveis utilizadas na Curva IS – Nível de atividade

Variável	Descrição	Fonte de Dados
$fpib$	Pib Quarter on quarter (QOQ)	IBGE
g^{ric}	Resultado do Tesouro Nacional	Tesouro Nacional
g^{nr}	Resultado do Tesouro Nacional	Tesouro Nacional

Conforme Galí *et al.* (2007), é importante considerar os agentes não-ricardianos, que gastam toda a sua renda, ao analisar os efeitos de expansões de gastos sobre o consumo na curva IS. Esses agentes não poupam, o que faz com que suas reações às políticas de gastos tenham um impacto maior no consumo e na produção de curto prazo. Por isso, é essencial separar os gastos entre ricardianos e não-ricardianos ao estimar o modelo e construir cenários de políticas.

Nesse modelo, alguns agentes enfrentam restrições de empréstimo e, portanto, a dívida pública adicional é comprada principalmente por agentes sem restrições, enquanto todos pagam os impostos necessários. Essa diferença entre quem compra a dívida e quem paga os impostos resulta em um aumento da taxa de juros real neutra de longo prazo.

Para incorporar o bloco fiscal ao modelo, o primeiro passo é coletar os dados do resultado do tesouro e decompor as variáveis fiscais entre tendência, sazonalidade, componente cíclico e choques. Isso se faz necessário porque os efeitos macroeconômicos de mudanças na tendência são diferentes dos efeitos de choques temporários, por exemplo. Nesse sentido os choques temporários afetam a demanda através de deslocamentos na curva IS. Para realizar a decomposição da variável fiscal, é utilizado um modelo auxiliar proposto por Teles e Teixeira (2022) com o seguinte sistema de equações:

$$y_t = \mu_t + \tau_t + \beta^T x_t + \varepsilon_t \quad (6)$$

$$\mu_{t+1} = \mu_t + \delta_t + v_{0t} \quad (7)$$

$$\delta_{t+1} = \delta_t + v_{1t} \quad (8)$$

$$\tau_{t+1} = - \sum_{s=1}^{s-1} \tau_t + v_{2t} \quad (9)$$

onde y_t é a série a ser decomposta, μ_t é a tendência, τ_t é a sazonalidade, x_t são as variáveis que descrevem o componente cíclico da atividade, e ε_t é o choque. Dessa forma, a tendência é modelada como uma combinação de um caminho aleatório e um crescimento potencial sujeito a choques, e o sinal do β indica a ciclicidade da variável fiscal em análise. Espera-se que a política monetária esteja em campo contracionista, devido ao impacto climático, ao passo que a política fiscal terá de ser expansionista para apoiar a população afetada.

O modelo considera o hiato do produto como uma variável não-observável, cuja trajetória é influenciada por quatro variáveis de atividade econômica: Produto Interno Bruto (PIB) do IBGE; Nível de Utilização da Capacidade Instalada (Nuci) da FGV; taxa de desocupação do IBGE; e estoque de empregos formais do Novo Caged³. A especificação das equações de observação dessas variáveis busca capturar o componente cíclico comum, normalizado pela variância do PIB. O componente cíclico das variáveis PIB e estoque de empregos formais obtido através da aplicação do Filtro Hodrick-Prescott (HP) com valor do parâmetro lambda em 1.600, enquanto para Nuci e taxa de desocupação, subtrai-se a média do período pré-Covid. O modelo adiciona estrutura econômica à estimativa do hiato, relacionando-o com a inflação de preços livres, expectativas de inflação e a curva IS. Dessa forma, a trajetória estimada do hiato é influenciada tanto pelos indicadores de atividade quanto pelo comportamento das demais variáveis do modelo.

³ O "Novo Caged" é um sistema utilizado pelo governo brasileiro, que substitui a captação de dados do Cadastro Geral de Empregados e Desempregados (Caged) pelo eSocial, unificando e simplificando a prestação de informações trabalhistas, previdenciárias e tributárias pelas firmas empregadoras.

$$fpib_t - fpib_{t-1} = h_t + \sigma^h \varepsilon_t^{pib} \quad (10)$$

$$\left(\frac{fnuci_t}{Ynuci}\right) = h_t + \sigma^h \varepsilon_t^{nuci} \quad (11)$$

$$\left(\frac{femp_t}{Yemp}\right) = h_{t-1} + \sigma^h \varepsilon_t^{emp} \quad (12)$$

$$\left(\frac{fcaged_t}{Ycaged}\right) = h_{t-1} + \sigma^h \varepsilon_t^{caged} \quad (13)$$

3.1.2 – Curva de Phillips Novo Keynesiana

A Curva de Phillips Novo Keynesiana é modificada para se considerar os efeitos das mudanças climáticas nos preços. De maneira específica, a inflação de preços livres pode ser afetada por componentes inerciais ou de expectativas, choques externos, deslocamentos do hiato e fatores climáticos. Assim, esse bloco é dado por (Lima *et al.*, 1999; Bogdanski *et al.*, 2000; BCB 2017, 2020; Teles e Teixeira, 2022):

$$\pi_t^L = \alpha_{1L} \pi_{t-1}^L + \alpha_{1I} \frac{\sum_{i=1}^4 \pi_{t-i}^{IPCA,sa}}{4} + (1 - \alpha_{1L} - \alpha_{1I}) \pi_{t,t+4}^e + \alpha_2 \hat{\pi}^* + \alpha_3 \widehat{\Delta e}_{t-2} + \alpha_4 fpib_t + \alpha_5 Clima_{t-1} + \varepsilon_t^{\pi^L} \quad (5)$$

$$\hat{\pi}_t^* = \omega_a \hat{\pi}_t^{*agri} + \omega_m \hat{\pi}_t^{*metal} + \omega_e \hat{\pi}_t^{*energia} \quad (6)$$

onde π^L é a inflação de preços livres; $\pi^{IPCA,sa}$ é a inflação medida pelo Índice de Preços ao Consumidor Amplo - IPCA dessazonalizada; $\hat{\pi}^*$ é a inflação importada de *commodities*, que depende das inflações de *commodities* agrícolas, metálicas e de energia; $\widehat{\Delta e}$ é o desvio da variação da taxa de câmbio; $Clima_t$ é uma variável de anomalias climáticas, medido pelo El Niño da região, sendo mais próxima da América Latina e Caribe. Ao incorporar o clima dentro do bloco da inflação de preços livres, encontra-se respaldo teórico e empírico ao modelo proposto por Kotz (2024), no qual a alteração climática afeta diretamente a inflação.

A inclusão da variável de clima em modelos econômicos é justificada pela influência significativa que condições climáticas podem ter sobre a economia, especialmente em setores como a agricultura e a produção de alimentos. O Banco Central do Brasil (BCB) reconhece a importância desses fatores e incorpora variáveis climáticas em seus modelos para aprimorar a precisão das projeções de inflação e de outras variáveis econômicas.

O índice climático Niño 1+2 foi utilizado para ajustar o modelo à região estudada. A cada três a sete anos, ou mais, as águas superficiais do Oceano Pacífico tropical se tornam extremamente quentes desde a International Dateline até a costa oeste da América do Sul. Esse processo causa mudanças na ecologia local e regional e está claramente ligado a padrões climáticos globais anormais (Trenberth, 2024). Utilizou-se o Niño 1+2 (0-10S, 90W-80W): A região Niño 1+2 é a menor e mais oriental das regiões Niño SST, e corresponde à região costeira da América do Sul, onde El Niño foi reconhecido pela primeira vez pelas populações locais. Este índice tende a ter a maior variância dos índices Niño SST. Esta região ajustasse melhor a região estudada para o modelo.

Esta equação constitui a principal contribuição deste trabalho. A equação sugerida pelo Banco Central do Brasil (BCB) utilizava uma estrutura com variáveis *dummy*, onde três variáveis *dummy* eram somadas, divididas por três, e o mesmo valor era subtraído na equação seguinte. Neste estudo, propõe-se a utilização dos dados climáticos com uma defasagem, especificamente os dados do NINO 1+2, que refletem uma maior sensibilidade ao clima vigente no Brasil, ao contrário do NINO 3.4, que é calculado com desvio de média e não com a medição direta da temperatura da água, como ocorre com o NINO 1+2. O peso do parâmetro associado ao clima foi recalibrado de aproximadamente 0,001 no modelo do BCB para 0,21, após reestimativas. Isso resultou em uma equação que apresenta maior volatilidade e sensibilidade aos dados climáticos, conforme é observado empiricamente.

Para encontrar a inflação ao consumidor foi modelado a inflação de preços administrados (π^{adm}) e a sua soma com a inflação de preços livres resultou na taxa de inflação:

$$\pi_t^{adm} = \alpha_6 * \pi_{t-1,t+4}^e + (1 - \alpha_6) * \pi_t^{meta} + \alpha_7 * (\pi_t^{petro} + \widehat{\Delta e}_t - \pi_t^{meta*}) + \varepsilon_t^{\pi^{adm}} \quad (7)$$

$$\pi^{IPCA} = \alpha_8 \pi_t^L + \alpha_9 \pi_t^{adm} + \varepsilon_t^{\pi^{IPCA}} \quad (8)$$

Alguns dos dados utilizados nesta equação já foram apresentados na construção anterior, e tiveram acréscimo de:

Tabela 3 - Variáveis observáveis utilizadas na Curva de Philips

Variável	Descrição	Fonte de Dados
π^L	Inflação trimestral de preços livres	Banco Central do Brasil
$\pi^{IPCA,sa}$	Inflação trimestral medida pelo IPCA	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
$\widehat{\pi}^*$	CRB – <i>Commodity Research Bureau</i>	Bloomberg
Δe	Variação da taxa de câmbio no trimestre	Banco Central do Brasil
$Clima_t$	Niño 1+2 (0-10S, 90W-80W)	NOAA - Physical Sciences Laboratory
π^{meta}	Meta de Inflação anunciada pelo Conselho Monetário Nacional	Banco Central do Brasil
$\widehat{\pi}^{petro}$	Petróleo Brent em US\$	Yahoo Finance
π^{adm}	Inflação trimestral de preços administrados	Banco Central do Brasil

A inflação trimestral de preços livres foi obtida a partir da série mensal acumulada para composição trimestral. A inflação trimestral medida pelo IPCA dessazonalizada foi acumulada a partir da série mensal dessazonalizada para obter a taxa trimestral. O índice de *commodities* CRB foi calculado utilizando a diferença trimestral do índice. A inflação agrícola foi decomposta subtraindo-se o CRB Não Agrícola e Pecuária do índice CRB, e a inflação energética foi obtida subtraindo-se o CRB Não Energético do índice CRB. A inflação metálica foi determinada subtraindo-se tanto o CRB Não Energético quanto o CRB Não Agrícola do índice CRB. A variação da taxa de câmbio foi calculada a partir da média entre as taxas de compra e venda, com a variação trimestral calculada em seguida. A meta de inflação foi dividida por 4 para obter a taxa trimestral, partindo do valor anual. A variação trimestral do preço do petróleo Brent foi calculada com base nas cotações de fechamento mensal. Finalmente, a inflação trimestral de preços administrados

foi dessazonalizada e acumulada a partir da série mensal para obter a composição trimestral.

O índice CRB – *Commodity Research Bureau* é uma cesta de 19 *commodities*, incluindo contratos de energia, agricultura, metais preciosos e metais industriais, o Índice atua como um indicador representativo dos mercados de *commodities*. Preferiu-se utilizar o CRB e não o IC-BR do Banco Central em virtude de o Índice ser referência mundial em relação a *commodities* e por ter um peso mais representativo em *commodities* agrícolas. O índice agrega os preços de: Alumínio, Cacau, Café, Cobre, Milho, Algodão, Óleo Bruto, Ouro, Óleo de Aquecimento, Porcos Magros, Gado Vivo, Gás Natural, Níquel, Suco de Laranja, Gasolina RBOB, Prata, Soja, Açúcar e Trigo. Essas *commodities* são classificadas em 4 grupos, com diferentes ponderações: Energia: 39%, Agricultura: 41%, Metais Preciosos: 7%, Metais Básicos/Industriais: 13%. Para este trabalho foram somadas as *commodities* metálicas.

3.1.3 – Regra de Taylor

A função de reação do Banco Central, representada pela regra de Taylor, responde aos desvios da expectativa de inflação com relação a meta, além de componentes de suavização e de juros natural, sendo dada por (Lima *et al.*, 1999; Bogdanski *et al.*, 2000; BCB 2017, 2020; Teles e Teixeira, 2022):

$$i_t = \theta_1 i_{t-1} + \theta_2 i_{t-2} + (1 - \theta_1 - \theta_2) [r_t^{eq} + \pi_t^{meta} + \theta_3 (\pi_{t,t+4}^e - \pi_t^{meta})] + \varepsilon_t^i \quad (9)$$

3.1.4 – Expectativas da Inflação

A equação das expectativas busca manter a coerência entre o modelo e as expectativas medidas pelo relatório Focus, sendo dada por (Lima *et al.*, 1999; Bogdanski *et al.*, 2000; BCB 2017, 2020; Teles e Teixeira, 2022):

$$\hat{\pi}_{t,t+4}^e = \varphi_1 \hat{\pi}_{t-1}^e + \varphi_2 [E_t \left(\frac{\sum_{i=1}^4 \pi^{IPCA}}{4} \right) - \pi^{meta}] + \varphi_3 \left(\frac{\sum_{i=1}^4 \pi^{IPCA} - \pi^{meta}}{4} \right) + \varepsilon_t^e \quad (10)$$

onde $\hat{\pi}^e$ é a mediana da expectativa de inflação do relatório Focus, $E_t \left(\frac{\sum_{i=1}^4 \pi^{IPCA}}{4} \right) - \pi^{meta}$ é a expectativa de inflação consistente com o modelo, e $\left(\frac{\sum_{i=1}^4 \pi^{IPCA} - \pi^{meta}}{4} \right)$ é o desvio da inflação com relação à meta.

3.1.5 – Paridade Descoberta de Juros

O quinto bloco é dado pela paridade descoberta de juros, que relaciona a variação do câmbio ao diferencial de juros domésticos e externos ajustados pelo *Credit Default Swap* (CDS), sendo dado por (Lima *et al.*, 1999; Bogdanski *et al.*, 2000; BCB 2017, 2020; Teles e Teixeira, 2022):

$$\Delta e_t = \Delta e^{ppc} - \delta(i_t^{dif} - i_{t-1}^{dif}) + \varepsilon_t^e \quad (11)$$

$$i_t^{dif} = 4 * (i_t - (i_t^* + CDS_t)) \quad (12)$$

$$\Delta e^{ppc} = \frac{\pi^{metass} - \pi^{*ss}}{4} \quad (13)$$

Foi necessário incorporar os seguintes dados para esta equação:

Tabela 4 - Variáveis observáveis utilizadas na Paridade Descoberta de Juros

Variável	Descrição	Fonte de Dados
π^{metass}	Meta de Inflação anunciada pelo CMN e suavizada	Banco Central do Brasil
CDS_t	<i>Credit Default Swaps</i> para os títulos de dívida brasileira de 5 anos	Bloomberg
i_t^*	Taxa efetiva de fundos federais do tesouro americano	Fed St. Louis

A meta de inflação anunciada pelo Conselho Monetário Nacional (CMN) foi suavizada e dividida por 4, após o que foi calculada uma média de 4 períodos para obter uma taxa trimestral. O *Credit Default Swap* (CDS) para os títulos de dívida brasileira de 5 anos foi transformado na média trimestral. A taxa efetiva de fundos federais do tesouro americano foi calculada a partir da variação trimestral da taxa anual, e então dividida por 4 para obter a taxa trimestral.

3.2 Construção de Cenários

Considerando que a ocorrência de efeitos climáticos está cada vez mais frequente, e que o Brasil é dependente da agricultura nacional para reduzir o custo da cesta básica, além de ser dependente da exportação de *commodities* agrícolas para a balança comercial, se faz necessário projetar cenários onde este impacto climático se torne consistente e que as respostas monetárias e fiscais sejam cada vez mais precisas para que não penalize a população duas vezes (com o impacto de um desastre natural e depois com falta ou excesso de intervenção na economia, resultando em inflação – a qual prejudica a camada mais carente da população). E como um país emergente, a inflação já é maior do que em economias desenvolvidas, ainda ficando vulnerável a ocorrência de desastres que acontecem em outros países.

No presente estudo, a análise é voltada para a projeção de 20 trimestres das seguintes variáveis: Crescimento do PIB, Hiato do produto, Inflação medida pelo IPCA 12 meses e Taxa de juros SELIC. Foi utilizado o Filtro de Kalman para estas estimativas. Estas projeções foram construídas para três cenários propostos: (1) Projeção padrão sem alteração manual no modelo; (2) Projeção utilizando o cenário anterior, porém com a variável do clima com a calibração multiplicada por dois (considerando que o clima poderá ter o dobro impacto no futuro, com o aumento persistente da temperatura); (3) Idem ao cenário 2, porém com um gasto fiscal de R\$ 125 bilhões em resposta ao choque climático. Considera-se que após um choque o governo seja obrigado a apoiar a economia local, seja via transferências ricardianas (reconstrução das cidades, por exemplo) ou através de gastos não ricardianos (auxílios diretos para a população). Neste cenário os gastos não ricardianos terão um peso de 26% do total injetado na economia. Foi adotado o valor de R\$ 125 bilhões por encontrarmos gasto fiscal semelhante durante a pandemia de COVID-19.

As evidências científicas mostram que as temperaturas globais estão aumentando de forma acelerada. Relatórios do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC) indicam que as emissões de gases de efeito estufa, principalmente dióxido de

carbono (CO₂), têm causado um aquecimento contínuo da atmosfera terrestre. Esse aquecimento tem efeitos diretos e indiretos sobre os padrões climáticos globais, incluindo o aumento da frequência e intensidade de eventos climáticos extremos como secas, ondas de calor, inundações e tempestades.

A maior frequência de eventos climáticos extremos observada nas últimas décadas sugere que os impactos climáticos sobre a economia tendem a ser mais severos no futuro. Por exemplo, episódios mais intensos e frequentes de El Niño e La Niña têm causado variações significativas na produção agrícola e nos preços dos alimentos, resultando em volatilidade inflacionária. O aumento persistente da temperatura global pode intensificar esses fenômenos, justificando um ajuste nos modelos para refletir essas condições futuras.

Projeções climáticas indicam que, se as tendências atuais continuarem, a temperatura média global poderá aumentar em até 3°C ou mais até o final do século. Esse aumento é substancial e poderia exacerbar os impactos negativos sobre a agricultura, tornando os choques climáticos mais frequentes e intensos. Portanto, ao dobrar o parâmetro climático, estamos incorporando de maneira mais realista os possíveis cenários futuros e seus efeitos econômicos.

Para que as respostas monetárias e fiscais sejam efetivas e não penalizem a população de forma exacerbada, é crucial que os modelos econômicos utilizem parâmetros que reflitam as condições climáticas futuras de forma precisa. A subestimação dos impactos climáticos pode levar a políticas inadequadas, resultando em inflação e desemprego, prejudicando especialmente a camada mais vulnerável da população. Dobrar o parâmetro climático no modelo ajuda a antecipar esses efeitos e planejar intervenções econômicas mais eficazes.

4. Resultados Obtidos

4.1 Hiato do Produto

Nas projeções extraídas do modelo, é possível perceber que há um hiato positivo, mas que ele está caindo ao longo do tempo, mesmo no cenário base. Ou seja, o Brasil ainda

pode ter pressões inflacionárias devido à economia estar superaquecida, mas que se aproxima do seu nível potencial. A dinâmica do crescimento se reflete no hiato do produto, que cai ao longo do tempo e apresenta muita volatilidade no cenário de gasto fiscal extra.

A tabela abaixo apresenta as projeções do hiato do produto para os três cenários modelados:

Tabela 5 – Projeção do hiato do produto

Trimestre	Cenário 1	Cenário 2			Cenário 3		
	Hiato	Hiato	Delta 1 - 2	% delta	Hiato	Delta 1 - 3	% delta
março-24	0,6663	0,6663	-0,0000	0%	0,7247	0,0584	9%
junho-24	0,4896	0,4906	0,0010	0%	0,5721	0,0825	17%
setembro-24	0,3573	0,3595	0,0022	1%	0,4701	0,1127	32%
dezembro-24	0,2881	0,2921	0,0040	1%	0,4090	0,1209	42%
março-25	0,1991	0,2049	0,0058	3%	0,3504	0,1513	76%
junho-25	0,1260	0,1334	0,0074	6%	0,2666	0,1406	112%
setembro-25	0,1212	0,1297	0,0084	7%	0,2090	0,0878	72%
dezembro-25	0,1022	0,1098	0,0076	7%	0,1671	0,0649	63%
março-26	0,0982	0,1044	0,0063	6%	0,1191	0,0209	21%
junho-26	0,0949	0,0982	0,0034	4%	0,0811	-0,0138	-15%
setembro-26	0,1054	0,1052	-0,0002	0%	0,0581	-0,0474	-45%
dezembro-26	0,1314	0,1276	-0,0038	-3%	0,0376	-0,0938	-71%
março-27	0,1140	0,1070	-0,0070	-6%	0,0388	-0,0752	-66%
junho-27	0,1011	0,0909	-0,0102	-10%	0,0419	-0,0593	-59%
setembro-27	0,1040	0,0912	-0,0128	-12%	0,0459	-0,0581	-56%
dezembro-27	0,1004	0,0860	-0,0144	-14%	0,0277	-0,0726	-72%
março-28	0,0739	0,0583	-0,0156	-21%	0,0100	-0,0639	-86%
junho-28	0,0924	0,0764	-0,0160	-17%	0,0286	-0,0638	-69%
setembro-28	0,1090	0,0927	-0,0163	-15%	0,0230	-0,0860	-79%
dezembro-28	0,1100	0,0932	-0,0168	-15%	0,0339	-0,0761	-69%
Acumulado			-0,0671			0,1300	

Os dados mostram que o estímulo fiscal gera volatilidade no hiato do produto, com uma redução significativa ao longo do tempo. No acumulado dos cinco anos, observa-se um aumento do hiato do produto em 0,13% no cenário de choque climático com gasto fiscal

extra, enquanto no cenário sem gasto fiscal, o hiato diminui 0,671%. E como o percentual de hiato era baixo, qualquer leve alteração na taxa causa uma grande volatilidade na variação percentual.

4.2 Inflação

A dinâmica da inflação medida pelo IPCA apresenta resultados interessantes, especialmente ao considerar os choques climáticos. Esses choques afetam a economia fortemente no curtíssimo prazo, como evidenciado pelos primeiros dois anos após o choque. O cenário com gasto fiscal demonstra que a economia retorna ao equilíbrio antes em comparação com os cenários sem intervenção fiscal, porém com a grande possibilidade de haver a retomada da inflação no médio prazo.

As projeções extraídas do modelo mostram o impacto dos choques climáticos em três cenários distintos. A Tabela 6 apresenta essas projeções para o IPCA acumulado em 12 meses:

Tabela 6 – Projeção para IPCA acumulado em 12 meses

Trimestre	Cenário 1	Cenário 2			Cenário 3		
	IPCA	IPCA	Delta 1 - 2	% delta	IPCA	Delta 1 - 3	% delta
março-24	3,0491	3,2537	0,2047	7%	3,2440	0,1950	6%
junho-24	3,4245	3,9548	0,5303	15%	3,8063	0,3818	11%
setembro-24	3,4817	4,1218	0,6401	18%	3,7484	0,2667	8%
dezembro-24	3,5088	4,3573	0,8485	24%	3,5413	0,0326	1%
março-25	4,0650	4,8638	0,7988	20%	3,5293	-0,5356	-13%
junho-25	3,8450	4,4376	0,5926	15%	3,0319	-0,8132	-21%
setembro-25	3,9302	4,5126	0,5824	15%	2,6732	-1,2571	-32%
dezembro-25	3,5775	3,7727	0,1952	5%	2,9767	-0,6008	-17%
março-26	3,5727	3,6916	0,1189	3%	3,2229	-0,3498	-10%
junho-26	3,2321	3,0363	-0,1958	-6%	3,4681	0,2360	7%
setembro-26	3,0368	2,6224	-0,4144	-14%	4,0148	0,9779	32%
dezembro-26	3,2429	3,0541	-0,1888	-6%	4,4756	1,2326	38%
março-27	3,2621	3,1066	-0,1554	-5%	4,3666	1,1045	34%
junho-27	3,3103	3,1930	-0,1173	-4%	4,1594	0,8491	26%
setembro-27	3,3913	3,3720	-0,0193	-1%	4,3293	0,9379	28%

dezembro-27	3,4421	3,4494	0,0073	0%	3,8414	0,3993	12%
março-28	3,1923	2,9685	-0,2237	-7%	3,6782	0,4859	15%
junho-28	3,3814	3,3671	-0,0142	0%	3,5226	0,1412	4%
setembro-28	3,3548	3,3430	-0,0118	0%	3,4596	0,1047	3%
dezembro-28	3,0253	2,7325	-0,2928	-10%	3,8745	0,8492	28%
Acumulado			2,8851			4,6381	

No cenário 2, onde o parâmetro do clima é duplicado, a inflação fica significativamente maior no primeiro e segundo ano. Especificamente, no primeiro ano, observa-se um aumento de preços de 2,22%, seguido por 2,16% no segundo ano. Este aumento acentuado nos preços é uma evidência clara do impacto adverso dos choques climáticos sobre a economia, causando uma pressão inflacionária significativa.

Por outro lado, no cenário 3, onde há intervenção fiscal, a taxa de inflação apresenta uma dinâmica diferente. Inicialmente, a inflação é menor no primeiro ano comparado ao cenário base, refletindo a influência mitigadora dos gastos fiscais. No entanto, no segundo ano, a inflação cai abaixo do cenário base, possivelmente devido a uma atividade econômica enfraquecida, antes de voltar a subir. No final dos cinco anos, a inflação acumulada é superior em 4,6381%, indicando que, apesar dos efeitos atenuantes de curto prazo, os gastos fiscais podem levar a uma pressão inflacionária a longo prazo.

Os dados revelam que um choque climático pode causar volatilidade na inflação, especialmente no cenário com gasto fiscal. Este comportamento é consistente com a teoria de que choques de oferta, como os choques climáticos, aumentam os preços inicialmente devido à escassez de produtos agrícolas e outros bens afetados diretamente pelo clima. A intervenção fiscal pode ajudar a mitigar alguns dos efeitos adversos de curto prazo, mas pode levar a pressões inflacionárias adicionais se não for cuidadosamente calibrada.

Os resultados deste estudo estão alinhados com as descobertas de Kotz (2023), que observaram que temperaturas mais elevadas aumentam a inflação alimentar e a inflação global de forma persistente ao longo de 12 meses, em países de diferentes níveis de rendimento. Esta pesquisa reforça a ideia de que as economias que frequentemente enfrentam choques climáticos precisam de políticas monetárias e fiscais bem ajustadas

para evitar uma espiral inflacionária e manter a estabilidade econômica. Além disso, os resultados obtidos se alinham com Cevik e Gwon (2024), reforçando a premissa de que a trajetória da inflação não é imune às forças das mudanças climáticas.

4.3 Taxa de juros

A taxa de juros é uma ferramenta crucial da política monetária, influenciando a atividade econômica através do custo do crédito e do incentivo ao investimento e consumo. Em um cenário de choques climáticos, a resposta da taxa de juros pode ser um indicativo vital de como a política monetária deve ser ajustada para manter a estabilidade econômica e controlar a inflação.

As projeções extraídas do modelo mostram o impacto dos choques climáticos em três cenários distintos. A Tabela 7 apresenta essas projeções para a taxa SELIC:

Tabela 7 – Projeção para a taxa de juros SELIC

Trimestre	Cenário 1	Cenário 2			Cenário 3		
	SELIC	SELIC	Delta 1 - 2	% delta	SELIC	Delta 1 - 3	% delta
março-24	11,78	11,79	0,01	0%	11,82	0,04	0%
junho-24	11,32	11,35	0,02	0%	11,41	0,09	1%
setembro-24	10,97	11,02	0,05	0%	11,11	0,14	1%
dezembro-24	10,71	10,79	0,08	1%	10,87	0,17	2%
março-25	10,51	10,62	0,11	1%	10,68	0,16	2%
junho-25	10,37	10,52	0,15	1%	10,54	0,17	2%
setembro-25	10,26	10,43	0,17	2%	10,44	0,18	2%
dezembro-25	10,17	10,36	0,19	2%	10,35	0,18	2%
março-26	10,08	10,28	0,20	2%	10,27	0,19	2%
junho-26	10,00	10,19	0,19	2%	10,21	0,20	2%
setembro-26	9,93	10,10	0,17	2%	10,18	0,25	3%
dezembro-26	9,87	10,01	0,15	2%	10,17	0,30	3%
março-27	9,82	9,94	0,12	1%	10,17	0,35	4%
junho-27	9,77	9,86	0,09	1%	10,18	0,41	4%
setembro-27	9,71	9,78	0,07	1%	10,18	0,46	5%
dezembro-27	9,66	9,71	0,05	0%	10,19	0,53	5%

março-28	9,62	9,65	0,03	0%	10,19	0,57	6%
junho-28	9,59	9,60	0,01	0%	10,19	0,59	6%
setembro-28	9,57	9,56	-0,01	0%	10,18	0,61	6%
dezembro-28	9,55	9,53	-0,02	0%	10,16	0,61	6%
Acumulado			1,83			6,20	

Os dados revelam que um choque climático pode causar um aumento significativo na taxa SELIC, especialmente no cenário 3, onde há gasto fiscal e se altera o equilíbrio da dívida pública. Este comportamento é consistente com a teoria econômica, onde choques de oferta, como os choques climáticos, aumentam os preços inicialmente, levando a uma inflação mais alta. Para controlar essa inflação, o Banco Central precisa elevar a taxa de juros. No cenário 2, onde o parâmetro do clima é duplicado, a taxa SELIC é 1,83% maior ao final de cinco anos. No cenário 3, com intervenção fiscal, a taxa SELIC é 6,20% maior comparado ao cenário base, evidenciando o impacto do endividamento público.

Os resultados deste estudo estão alinhados com as descobertas de Keen (2011), que observaram que o Banco Central precisa manter a taxa de juros elevada por mais tempo para controlar a inflação em cenários de choques climáticos. Além disso, o estudo de Cantelmo (2023) ressalta a importância do investimento público em infraestrutura resiliente para alcançar ganhos significativos de bem-estar. Este estudo sugere que a ajuda é mais eficiente quando direcionada para financiar a resiliência antes da ocorrência de desastres, em vez de ser desembolsada após os eventos.

A análise dos resultados demonstra a necessidade de uma estratégia coordenada que não apenas aborde as consequências imediatas dos choques climáticos, mas também considere seus efeitos de longo prazo na economia. A experiência brasileira ilustra como as medidas fiscais podem ter impactos ambíguos, realçando a importância de um planejamento fiscal prudente e de uma política monetária que possa adaptar-se dinamicamente às condições econômicas alteradas por choques climáticos.

5. Considerações Finais e Implicações de Políticas

Os desastres naturais relacionados ao clima têm não apenas aumentado em frequência e intensidade, mas também têm impactos econômicos significativos e que demandam respostas de política econômica ágeis e eficazes. O presente estudo se aprofunda na crescente frequência de tais anomalias, elucidando seu papel como um fator não negligenciável das volatilidades da cadeia de suprimentos. Os dados ressaltam um padrão consistente: as anomalias levam a flutuações acentuadas na capacidade de produção, que, em conjunto com os atritos da cadeia de suprimentos, precipitam escassez pronunciadas e pressões de preços ascendentes.

Os resultados deste estudo indicam que os choques climáticos têm impactos significativos e duradouros na economia brasileira. A análise concentrou-se nos efeitos sobre a inflação, medida pelo IPCA, hiato do produto e na taxa de juros SELIC, destacando a volatilidade induzida por choques de oferta e as respostas fiscais e monetárias necessárias. No cenário dois, onde simulamos uma economia onde o parâmetro climático havia duplicado, a inflação mostra-se significativamente mais alta, especialmente nos primeiros dois anos. Especificamente, no primeiro ano, os preços aumentam em 2,22%, e no segundo ano, o aumento é de 2,16%, em comparação com o cenário base. Esses dados reforçam a teoria de que choques climáticos podem causar uma pressão inflacionária substancial no curto prazo. No cenário três, que inclui uma resposta fiscal, a inflação apresenta uma dinâmica diferente. Inicialmente, a inflação é menor no primeiro ano, caindo para 0,87%, possivelmente devido ao enfraquecimento da atividade econômica. No entanto, ao longo de cinco anos, a inflação acumulada é 4,6381% maior que no cenário base. Isso indica que, embora a intervenção fiscal possa mitigar os efeitos inflacionários a curto prazo, ela pode levar a pressões inflacionárias adicionais a longo prazo.

A taxa de juros SELIC também reage de maneira significativa aos choques climáticos. No cenário com o parâmetro climático duplicado, a taxa SELIC acumula um aumento de 1,83% ao longo de cinco anos. No cenário com gasto fiscal, a taxa de juros acumula um aumento ainda maior, de 6,2%, devido à necessidade de financiar o aumento da dívida pública. Este resultado destaca a complexidade de manter a estabilidade econômica em face de choques climáticos, exigindo ajustes prolongados nas taxas de juros para controlar a inflação. Esses achados estão alinhados com a teoria econômica que prevê que choques

de oferta, como os climáticos, inicialmente elevam os preços, levando a uma inflação mais alta e exigindo uma política monetária mais restritiva para controlá-la.

Em resumo, a reação fiscal ao choque de oferta decorrente da mudança climática provoca um recrudescimento da inflação, demandando uma intervenção de política monetária via Regra de Taylor. Adicionalmente, o modelo incorpora um componente que simula as interações desta economia com o cenário global, enfatizando a necessidade de equilíbrio nos mercados interno e externo.

Este estudo representa uma tentativa inicial de incorporar choques climáticos nas equações econômicas. Embora tenha focado nos efeitos sobre a inflação e a taxa de juros, é necessário investigar como esses choques podem impactar outras variáveis econômicas, como o valor dos ativos, o emprego, o crédito e os movimentos migratórios. Também se sugere que para novas pesquisas sejam incluídas variáveis de seca e dados de latitude na amostra, bem como dividir o PIB em setores visando avaliar apenas o resultado sobre o setor agrícola. A análise dos resultados demonstra a necessidade de uma estratégia coordenada que não apenas aborde as consequências imediatas dos choques climáticos, mas também considere seus efeitos de longo prazo na economia. A experiência brasileira ilustra como as medidas fiscais podem ter impactos ambíguos, realçando a importância de um planejamento fiscal prudente e de uma política monetária que possa adaptar-se dinamicamente às condições econômicas alteradas por choques climáticos.

Sugere-se que os choques climáticos exigem uma resposta cuidadosa das políticas monetária e fiscal. A intervenção fiscal pode mitigar alguns dos efeitos adversos de curto prazo, mas se não for cuidadosamente calibrada, pode levar a pressões inflacionárias adicionais a longo prazo. Este comportamento é consistente com as descobertas de Keen (2011), que observaram que o Banco Central precisa manter a taxa de juros elevada por mais tempo para controlar a inflação em cenários de choques climáticos. Além disso, o estudo de Cantelmo (2023) ressalta a importância do investimento público em infraestrutura resiliente para alcançar ganhos significativos de bem-estar, sugerindo que a ajuda é mais eficiente quando direcionada para financiar a resiliência antes da ocorrência de desastres, em vez de ser desembolsada após os eventos.

Este estudo amplia o entendimento dos mecanismos pelos quais os choques climáticos afetam as economias emergentes, com implicações políticas significativas, além de oferecer uma contribuição vital para a literatura ao combinar a modelagem macroeconômica com questões climáticas, uma abordagem relevante dada a emergência climática global. A pesquisa destaca a importância de preparar a economia brasileira para um futuro em que eventos climáticos extremos possam se tornar mais comuns, reforçando a necessidade de uma agenda de políticas públicas que priorize a sustentabilidade e a resiliência econômica.

Apêndice A – Links das variáveis observáveis

Descrição da Variável	Link
Taxa de juros – Meta Selic	https://www3.bcb.gov.br/sgspub/consultarvalores/consultarValoresSeries.do?met hod=consultarValores
Expectativas de Inflação	https://www3.bcb.gov.br/expectativas2/#/consultaSeriesEstatisticas
Índice de Incerteza econômica	https://extra-ibre.fgv.br/IBRE/sitefgvdados/consulta.aspx
Resultado do Tesouro Nacional	https://www.gov.br/tesouronacional/pt-br/estatisticas-fiscais-e-planejamento/resultado-do-tesouro-nacional-rtn
Resultado Primário Estrutural	https://www12.senado.leg.br/ifi/dados/arquivos/resultado-fiscal-estrutural/view
Taxa de Juros Futuro	https://www2.bmf.com.br/pages/portal/bmfbovespa/boletim1/SistemaPregao1.asp?pagetype=pop&caminho=Resumo%20Estat%EDstico%20-%20Sistema%20Preg%E3o&Data=30/03/2023&Mercadoria=DI1
Inflação trimestral de preços livres	https://www3.bcb.gov.br/sgspub/localizarseries/localizarSeries.do?method=prepararTelaLocalizarSeries
Inflação trimestral medida pelo IPCA	https://sidra.ibge.gov.br/Tabela/7061
CRB – <i>Commodity Research Bureau</i>	https://www.bloomberg.com/quote/CRY:IND?embedded-checkout=true
Varição da taxa de câmbio no trimestre	https://www3.bcb.gov.br/sgspub/localizarseries/localizarSeries.do?method=prepararTelaLocalizarSeries
Niño 1+2 (0-10S, 90W-80W)	https://psl.noaa.gov/data/correlation/nina1.data

Meta de Inflação anunciada pelo Conselho Monetário Nacional (CMN)	https://www3.bcb.gov.br/sgspub/localizarseries/localizarSeries.do?method=prepararTelaLocalizarSeries
Petróleo Brent em US	https://br.financas.yahoo.com/quote/BZ%3DF/history?period1=1200960000&period2=1705881600&interval=1d&filter=history&frequency=1d&includeAdjustedClose=true
Inflação trimestral de preços administrados	https://www3.bcb.gov.br/sgspub/localizarseries/localizarSeries.do?method=prepararTelaLocalizarSeries
Meta de Inflação anunciada pelo CMN e suavizada	https://www3.bcb.gov.br/sgspub/localizarseries/localizarSeries.do?method=prepararTelaLocalizarSeries
Credit Default Swaps para os títulos de dívida brasileira de 5 anos	https://www.bloomberg.com
Taxa de crescimento Qoq	https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/contas-nacionais/9300-contas-nacionais-trimestrais.html?=&t=series-historicas&utm_source=landing&utm_medium=explica&utm_campaign=pib#evolucao-taxa
Taxa efetiva de fundos federais do tesouro americano	https://fred.stlouisfed.org/series/FEDFUNDS

Apêndice B – Modelo DSGE proposto por Teles e Teixeira (2022)

B.1 Introdução

O Modelo DSGE proposto por Teles e Teixeira (2022) trata-se de uma extensão do modelo semi-estrutural do Banco Central (Bogdanski *et al.* (2000); Lima *et al.* (1999)), incorporando três componentes adicionais ao modelo original: 1) Um bloco fiscal onde um impulso de gastos afeta a demanda, sendo incluídos na curva IS; 2) Incorporação do impacto da tendência de política fiscal sobre a taxa de juros neutra; 3) Uma modelagem mais avançada para estimação do produto potencial e do hiato de produto baseada em Blagrove *et al.* (2015).

A inclusão do bloco fiscal nos pontos 1 e 2 citados acima permitem a avaliação de forma mais precisa de como políticas fiscais podem afetar as variáveis econômicas no curto e longo-prazos. Nesse sentido, tanto políticas transitórias, como permanentes podem afetar a dinâmica da inflação e os juros necessários para mantê-la na meta, por exemplo. Por sua vez, os ajustes nos juros teriam impacto na sustentabilidade fiscal.

Para implementar essa etapa apresentamos ainda um “Modelo Satélite adicional a ser utilizado para tratar as variáveis fiscais a serem incorporadas no modelo, a partir de uma estimação desenhada para filtrar as séries fiscais de interesse em 4 componentes: tendência, sazonalidade, componente cíclico e choques fiscais. Assim podemos incorporar ao modelo principal apenas os choques de gastos na IS, e medidas fiscais de tendência na equação de juros neutro.

Ao mesmo tempo, o ponto 3 supracitado permite a construção de cenários de como políticas fiscais podem afetar o crescimento do produto no curto e no longo-prazos. Uma reforma tributária, por exemplo, pode aumentar o produto potencial, e, com isso ajudar na sustentabilidade da dívida/PIB. Nesse sentido, a incorporação da metodologia de Blagrove et al. (2015) satisfaz cinco critérios desejáveis para a construção do produto potencial: i) Estima um hiato do produto que é economicamente plausível com as premissas de excesso de demanda ou de oferta e seus impactos sobre a inflação; ii) Incorpora o mercado de trabalho e a estimação da taxa de desemprego natural; iii) Produz estimações mais robustas em tempo real do produto potencial do que filtros *two-sided* como o HP; iv) Não exige a incorporação de uma quantidade grande de variáveis; e v) Permite a identificação de três tipos de choques no potencial (transitório, mudança temporária de crescimento potencial, e mudança de *steady-state*).

B.2 Modelo Satélite para Decomposição das Variáveis Fiscais

Para incorporar o bloco fiscal ao modelo, o primeiro passo é o de decompor as variáveis fiscais entre tendência, sazonalidade, componente cíclico e choques. Isso se faz necessário porque os efeitos macroeconômicos de mudanças na tendência são diferentes dos de choques temporários, por exemplo.

Nesse sentido, enquanto choques temporários afetam a demanda através de deslocamentos na curva IS, mudanças na tendência de primário alteram a taxa de juros natural da economia, como explicaremos na próxima sessão.

Para conduzir a decomposição de qualquer variável fiscal propomos um modelo satélite ao modelo central para a estimação, utilizando métodos bayesianos, do seguinte sistema de equações:

$$y_t = \mu_t + \tau_t + \beta^T x_t + \varepsilon_t \quad (\text{B.1})$$

$$\mu_{t+1} = \mu_t + \delta_t + v_{0t} \quad (\text{B.2})$$

$$\delta_{t+1} = \delta_t + v_{1t} \quad (\text{B.3})$$

$$\tau_{t+1} = - \sum_{s=1}^{s-1} \tau_t + v_{2t} \quad (\text{B.4})$$

onde y_t é a série a ser decomposta, μ_t é a tendência, τ_t é a sazonalidade, \mathbf{x}_t são as variáveis que descrevem o componente cíclico da atividade, e ε_t é o choque.

Nesse sentido, a tendência é modelada como uma combinação de um caminho aleatório e um crescimento potencial que também é sujeito a choques, e o sinal do β indica a ciclicidade da variável fiscal em questão.

Para exemplificar a aplicação desse método, decomparamos dois tipos de gastos entre os componentes acima descritos: as transferências a agentes ricardianos e a agentes não-ricardianos, onde assumimos que Benefícios Previdenciários, Pessoal e Encargos Sociais, Créditos Extraordinários (exceto PAC) são transferências a não-ricardianos, e as demais despesas a ricardianos.

Alterações efetuadas neste estudo: Foram reclassificados os gasto ricardianos e não ricardianos, chegando a curvas diferentes da proposta por Teles e Teixeira (2022).

Ao aplicar a decomposição a séries de gastos e de arrecadação podemos construir uma série de primário estrutural como sendo a diferença entre os componentes de tendência da arrecadação e dos gastos em percentual do PIB.

As séries de choques, extraídas a partir dessa metodologia, são incorporadas na equação IS, afetando a demanda agregada da economia, enquanto a série de primário estrutural afeta os juros neutros.

Assim, o modelo satélite aqui apresentado surge como um produto adicional para estimação do resultado primário estrutural, por exemplo, que é um indicador relevante para avaliação de políticas fiscais.

B.3 Modelo DSGE Macrofiscal

Inclui-se variáveis filtradas a partir do Modelo Satélite no modelo semi-estrutural, estima-se esse modelo por métodos bayesianos e se conduz simulações a partir de cenários para exemplificar as relações entre as variáveis fiscais e a economia.

O modelo base consiste em uma estrutura central de cinco blocos centrais, somados a uma estrutura auxiliar. Os blocos centrais consistem em: (i) Uma curva IS que determina a evolução do hiato do produto; (ii) uma curva de Phillips, que consiste na evolução da inflação de preços livres; (iii) uma regra de Taylor que apresenta a reação da política monetária a desvios da meta de inflação com relação à meta; (iv) uma equação que define como evoluem as expectativas de inflação; (v) uma equação de paridade descoberta de juros.

O bloco da IS considera os movimentos da demanda agregada, onde o hiato do produto é afetado pelas políticas monetária e fiscal, à medida que podem expandir ou contrair a demanda, bem como a choques externos e na incerteza econômica que pode reduzir os

investimentos. Nesta versão incorporamos as variações nos gastos ricardiano e não-ricardiano na IS:

$$h_t = \beta_1 h_{t-1} - \beta_2 \hat{r}_{t-1} + \beta_3^r (g_t^{ric} - g_{t-1}^{ric}) + \beta_3^{nr} (g_t^{nric} - g_{t-1}^{nric}) + \beta_4 \widehat{de}_t + \beta_5 h_t^* + \varepsilon_t^y \quad (\text{B.5})$$

$$\hat{r}_t = r_{t,t+4}^{ex} - \pi_{t,t+4}^e - r_t^{eq} \quad (\text{B.6})$$

$$r_t^{ex} = \frac{0,5i_t + E_t i_{t+1} + E_t i_{t+2} + E_t i_{t+3} + 0,5E_t i_{t+4}}{4} + \varepsilon_t^{ie} \quad (\text{B.7})$$

$$r_t^{eq} = r_{t-1}^{eq} + \zeta(s_t) + \varepsilon_{req} \quad (\text{B.8})$$

onde h_t é o hiato do produto doméstico, g^{ric} é o choque nas transferências para os agentes ricardianos, g^{nric} é o choque nas transferências para os agentes não-ricardianos, s_t é a medida de resultado primário estrutural obtida a partir do modelo satélite, ie^{\wedge} é uma medida de grau de incerteza na economia, h^* é uma medida de hiato do produto mundial. \hat{r} é uma medida de hiato de juros real, obtida pela diferença entre juros real esperado e juros natural (r^{eq}), sendo π^e é uma medida de expectativa de inflação e i^e uma medida de expectativa de Selic.

Alterações efetuadas neste estudo: Os gastos g^{ric} e g^{nric} tem composição diferentes da proposta por Teles e Teixeira (2022). A tendencia do resultado fiscal estrutural não é derivado do modelo auxiliar, mas é utilizada a serie divulgada pelo Instituto Fiscal Independente – IFI.

O bloco da curva de Phillips, determina o comportamento da inflação. Nesse sentido a inflação de livres pode ser afetada por componentes inerciais ou de expectativas, choques externos, deslocamentos do hiato e fatores climáticos. Assim, esse bloco é dado por:

$$\pi_t^L = \alpha_{1L} \pi_{t-1}^L + \alpha_{1I} \frac{\sum_{i=1}^4 \pi_{t-i}^{IPCA,sa}}{4} + (1 - \alpha_{1L} - \alpha_{1I}) \pi_{t,t+4}^e + \alpha_2 \hat{\pi}^* + \alpha_3 \widehat{de}_{t-2} + \alpha_4 h_t + \alpha_5 \widehat{Clima}_{t-1} + \varepsilon_t^{\pi^L} \quad (\text{B.9})$$

$$\widehat{Clima}_t = \frac{\sum_{i=0}^2 (\alpha_5 d_{t-i}^{el} + \alpha_6 d_{t-i}^{la}) \widehat{Clima}_{t-i}^2}{3} - \frac{\sum_{i=3}^5 (\alpha_5 d_{t-i}^{el} + \alpha_6 d_{t-i}^{la}) \widehat{Clima}_{t-i}^2}{3} \quad (\text{B.10})$$

$$\hat{\pi}_t^* = \omega_a \hat{\pi}_t^{*agri} + \omega_m \hat{\pi}_t^{*metal} + \omega_e \hat{\pi}_t^{*energia} \quad (\text{B.11})$$

onde $\pi^{L,sa}$ é a inflação de preços livres, dessazonalizada, $\pi^{IPCA,sa}$ é a inflação do IPCA dessazonalizada, $\widehat{\Delta e}$ é o desvio da variação da taxa de câmbio, $Clima^2$ é uma variável de anomalias climáticas, d^{el} é uma *dummy* que assume valor 1 quando a anomalia climática é positiva (eventos El Niño), e d^{la} é uma *dummy* que assume valor 1 quando a anomalia climática é negativa (eventos La Niña). $\widehat{\pi}^*$ é a inflação importada de commodities, que depende das inflações de commodities agrícolas, metálicas e de energia.

A função de reação do Banco Central, representada pela regra de Taylor, responde aos desvios da expectativa de inflação com relação à meta, além de componentes de suavização e de juros natural, sendo dada por,

$$i_t = \theta_1 i_{t-1} + \theta_2 i_{t-2} + (1 - \theta_1 - \theta_2) [r_t^{eq} + \pi_t^{meta} + \theta_3 (\pi_{t,t+4}^e - \pi_t^{meta})] + \varepsilon_t^i \quad (\text{B.12})$$

A equação das expectativas busca manter a coerência entre o modelo e as expectativas medidas pelo relatório Focus, sendo dada por,

$$\hat{\pi}_{t,t+4}^e = \varphi_1 \hat{\pi}_{t-1,t+3}^e + \varphi_2 E_t \widehat{\pi}_{t,t+4} + \varphi_3 \left(\frac{\sum_{i=1}^4 \widehat{\pi}_{t-i}}{4} \right) + \varepsilon_t^e \quad (\text{B.13})$$

onde $\widehat{\pi}_{t,t+4}^e$ é a mediana da expectativa de inflação do relatório Focus, $E_t \widehat{\pi}_{t,t+4}$ é a expectativa de inflação consistente com o modelo, e $\hat{\pi}$ é o desvio da inflação com relação à meta.

O quinto bloco é dado pela paridade descoberta de juros, que relaciona a variação do câmbio ao diferencial de juros domésticos e externos ajustados pelo *Credit Default Swap* (CDS), sendo dado por,

$$\Delta e_t = \Delta e^{ppc} - \delta (i_t^{dif} - i_{t-1}^{dif}) + \varepsilon_t^e \quad (\text{B.14})$$

$$i_t^{\text{dif}} = 4 * (i_t - (i_t^* + \text{CDS}_t)) \quad (\text{B.15})$$

$$\Delta e^{ppc} = \frac{\pi^{\text{metass}} - \pi^{*ss}}{4} \quad (\text{B.16})$$

Em complemento o modelo inclui equações auxiliares para a estimação do hiato do produto. Nesse sentido propomos uma extensão utilizando como base o filtro multivariado proposto por Blagrove *et al.* (2015), que incorpora a modelagem do produto potencial, que depende do crescimento potencial, de um choque de nível que altera o patamar de *steady-state* de imediato, e de um choque temporário no crescimento potencial.

Inclui-se também um bloco que descreve a evolução do desemprego, provendo informações adicionais para a identificação dos choques, seguindo a lógica proposta por Blanchard and Quah (1993), mas dentro de um modelo estrutural.

Assim, a estrutura das equações auxiliares utilizadas para identificar o hiato passa a ser dada por:

$$h_t - h_{t-1} = (y - y_{t-1}) - (\bar{Y}_t - \bar{Y}_{t-1}) \quad (\text{B.17})$$

$$(\bar{Y}_t - \bar{Y}_{t-1}) = G_t + \varepsilon^{\bar{Y}}_t \quad (\text{B.18})$$

$$G_t = \rho_{pot} G_{t-1} + (1 - \rho_{pot}) \bar{G} + \varepsilon^G_t \quad (\text{B.19})$$

$$u_t = \bar{U}_t - U_t \quad (\text{B.20})$$

$$\mu_t = v_1 u_{t-1} + v_2 h_t + \varepsilon^u_t \quad (\text{B.21})$$

$$\bar{U}_t = (v_3 \bar{U}^{ss} + (1 - v_3) \bar{U}_{t-1}) + g_t^U + \varepsilon^{\bar{U}}_t \quad (\text{B.22})$$

onde a equação (B.17) é a definição do hiato do produto, (B.18) modela o crescimento potencial como um passeio aleatório, (B.19) indica como o crescimento potencial se comporta diante de choques temporários, (B.20) define o hiato do desemprego como a diferença entre desemprego e a NAIRU \bar{U}_t (B.21) representa a lei de Okun, que indica como o desemprego está relacionado com o hiato do produto, e (B.22) apresenta como a NAIRU muda ao longo do tempo. Nesse contexto, a extensão proposta traz um ganho adicional que é a modelagem da NAIRU, i.e. da taxa natural de desemprego, que é um indicador relevante para avaliação das políticas econômicas no acompanhamento da atividade e da força de trabalho.

Alterações efetuadas neste estudo: Neste bloco de equações que residem as principais alterações e contribuições do presente artigo. O foco deste trabalho foi analisar os impactos da mudança do clima nas variáveis macroeconômicas e por isso o estudo de como inserir e como alterar o modelo, foi meticulosamente testado. Para que a contribuição do clima na alteração da inflação de livres, hiato do produto e composição da dívida pública pudessem refletir o observado empiricamente.

Na equação do BCB é utilizada uma estrutura de *dummies* que sinalizam se o período tem incidência do fenômeno El Niño ou La Niña. A proposta de alterar a equação de *dummies* climáticas para uma que utiliza o clima observável com defasagem, sem elevar ao quadrado como em Teles e Teixeira (2022), pode ser justificada com base nos seguintes pontos:

1. Utilizar variáveis observáveis com defasagem torna o modelo mais intuitivo e pode facilitar a interpretação dos resultados. Modelos com termos ao quadrado podem capturar efeitos não lineares, mas também podem complicar a análise e interpretação dos resultados.
2. A utilização direta das variáveis observáveis, como índices de precipitação e temperatura com defasagem, pode fornecer uma visão mais precisa e atualizada dos impactos climáticos. A defasagem permite capturar o efeito retardado dos eventos climáticos na economia, alinhando melhor as projeções com a realidade observada.
3. Estudos empíricos mostram que variáveis climáticas, mesmo sem serem elevadas ao quadrado, têm um impacto significativo nos preços dos alimentos e na inflação. Por exemplo, chuvas atípicas e temperaturas extremas afetam diretamente a produção agrícola e, conseqüentemente, os preços dos produtos alimentícios.

Além de substituir o índice utilizado – De Nino 3.4 para Nino 1+2, para trazer a volatilidade real no Nino presente na costa da América Latina e Caribe.

Referências

ALEJOS MARROQUIN, Luis. **Three Essays in Public Finance in Developing Countries**. 2018. Tese de Doutorado. Disponível em: https://deepblue.lib.umich.edu/bitstream/handle/2027.42/147524/lalejos_1.pdf?sequence=1. Acesso em: 15 abr. 2024.

ANA. **Monitor de Secas**. 2019. Disponível em: <http://monitordesecas.ana.gov.br>. Acesso em: mar. 2024.

ARMAS, J. C. A.; ASI, R. J. L.; MANDAP, D. R. S.; MORAL, G. R. A. **Macroeconomic Effects of Temperature Shocks in the Philippines: Evidence from Impulse Responses by Local Projections**. Bangko Sentral ng Pilipinas, BSP Discussion Paper Series nº 02, 2024. Disponível em: << <https://www.bsp.gov.ph/Pages/MediaAndResearch/PublicationsAndReports/Discussion%20Papers/DP202402.pdf>>>. Acesso em 09 de Julho de 2024.

BID (2021) - BANCO INTERAMERICANO DE DESENVOLVIMENTO (BID). **What are the fiscal risks from extreme weather events and how can we deal with them?** Disponível em: <https://blogs.iadb.org/gestion-fiscal/en/what-are-the-fiscal-risks-from-extreme-weather-events-and-how-can-we-deal-with-them/>. Acesso em: 14 abr. 2024.

BANCO CENTRAL DO BRASIL (BCB). **Relatório de Inflação**, jun. 2017.

BANCO CENTRAL DO BRASIL (BCB). **Boxe: Resultados das Estimções do Novo Modelo Agregado de Pequeno Porte com Estimção Bayesiana**. Relatório de Inflação, dez. 2020. Disponível em: <https://www.bcb.gov.br/content/ri/relatorioinflacao/202012/ri202012b11p.pdf>. Acesso em: 15 abr. 2024.

BCB (2021). **Revisão do modelo agregado de pequeno porte**. *Relatório Trimestral de Inflação*, pages 73–80.

BLANCHARD, Olivier J.; QUAH, Danny. **The dynamic effects of aggregate demand and supply disturbances**. NBER Working Paper 2337, October, 1988.

BARBOZA, R. D. M. Taxa de juros e mecanismos de transmissão da política monetária no Brasil. **Brazilian Journal of Political Economy**, v. 35, n. 1, p. 133-155, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/0101-31572015v35n01a08>.

BERG, Kimberly A.; CURTIS, Chadwick C.; MARK, Nelson. GDP and temperature: Evidence on cross-country response heterogeneity. **National Bureau of Economic Research Working Paper 31327**, 2023. DOI: 10.3386/w31327.

BLAGRAVE, P. et al. **A simple multivariate filter for estimating potential output**. International Monetary Fund, Working Paper, n. 2015/079, 2015.

BLANCHARD, Olivier; PEROTTI, Roberto. An empirical characterization of the dynamic effects of changes in government spending and taxes on output. **Quarterly Journal of Economics**, v. 117, n. 4, p. 1329-1368, 2002.

BOGDANSKI, J.; TOMBINI, A. A.; WERLANG, S. R. D. C. **Implementing inflation targeting in Brazil**. Banco Central do Brasil, Working Paper Series nº 1, jul. 2000. Disponível em: <https://www.bcb.gov.br/content/publicacoes/WorkingPaperSeries/wps01.pdf>. Acesso em: 15 abr. 2024.

CALVO, Guillermo A. Staggered prices in a utility-maximizing framework. **Journal of monetary Economics**, v. 12, n. 3, p. 383-398, 1983.

CANTELMO, Alessandro; MELINA, Giovanni; PAPAGEORGIOU, Chris. Macroeconomic outcomes in disaster-prone countries. **Journal of Development Economics**, v. 161, p. 103037, 2023.

CEVIK, Serhan; GWON, Gyowon. **This Is Going to Hurt: Weather Anomalies, Supply Chain Pressures and Inflation**. IMF Working Paper n° 24/79, Washington DC, 2024.

DELGADO, Raúl; EGUINO, Huáscar; LOPES, Aloisio. **Fiscal Policy and climate change**. 2021. Disponível em: <https://publications.iadb.org/en/fiscal-policy-and-climate-change-recent-experiences-finance-ministries-latin-america-and-caribbean>, acesso em fevereiro de 2024.

DESCHÊNES, Olivier; GREENSTONE, Michael. The economic impacts of climate change: evidence from agricultural output and random fluctuations in weather. **American Economic Review**, v. 97, n. 1, p. 354-385, 2007.

DESMET, Klaus; ROSSI-HANSBERG, Esteban. **Climate Change Economics over Time and Space**. University of Chicago, Becker Friedman Institute for Economics Working Paper, n. 2024-25, 2024.

FENG, S.; KRUEGER, A. B.; OPPENHEIMER, M. **Linkages among Climate Change, Crop Yields and Mexico-US Cross-Border Migration**. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, v. 107, n. 32, p. 14257-62, 2011.

GALLIC, Ewen; VERMANDEL, Gauthier. Weather shocks. **European Economic Review**, v. 124, p. 103409, 2020.

GALÍ, J.; LÓPEZ-SALIDO, J. D.; VALLÉS, J. Understanding the effects of government spending on consumption. **Journal of the European Economic Association**, v. 5, n. 1, p. 227-270, 2007.

GALI, J. **Monetary policy, inflation, and the business cycle: an introduction to the new keynesian framework**. Princeton University Press, Princeton NJ, 2008.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). **Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability**. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, M. Tignor, E.S. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Craig, S. Langsdorf, S. Lösschke, V. Möller, A. Okem, B. Rama (eds.)]. Cambridge University Press. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, 3056 pp., doi:10.1017/9781009325844. Disponível em: << <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg2/>>> Acesso em 09 de Julho de 2024.

KIYUNA, I. **El Niño 2002-03 e a anomalia climática**. São Paulo: Instituto de Economia Agrícola, 2002.

KEEN, Benjamin D.; PAKKO, Michael R. Monetary policy and natural disasters in a DSGE model. **Southern Economic Journal**, v. 77, n. 4, p. 973-990, 2011.

KOTZ, Maximilian et al. Global warming and heat extremes to enhance inflationary pressures. **Communications Earth & Environment**, v. 5, n. 1, 2024.

LIMA, E.; ARAÚJO, F.; COSTA E SILVA, J. **Previsão de modelos macroeconômicos no Banco Central do Brasil**. In: BANCO CENTRAL DO BRASIL (Org.). Dez anos de metas para a inflação no Brasil: 1999-2009, Brasília: Banco Central do Brasil, 2011, p. 352-400. Disponível em: https://www.bcb.gov.br/content/publicacoes/outras_pub_alfa/10_anos_metas_inflacao_completo.pdf. Acesso em: 15 abr. 2024.

NEWELL, Richard G.; PREST, Brian C.; SEXTON, Steven E. The GDP-temperature relationship: implications for climate change damages. **Journal of Environmental Economics and Management**, v. 108, p. 102445, 2021.

SAMUELSON, P. A. An exact consumption-loan model of interest with or without the social contrivance of money. **Journal of Political Economy**, v. 66, n. 6, p. 467-482, 1958.

SCHMITT-GROHÉ, S., and URIBE, Martín. Closing small open economy models. **Journal of International Economics**, v. 61, p 163-185, 2003.

STERN, N.; STERN, N. H. **The economics of climate change: the Stern review**. Cambridge: Cambridge University Press, 2007.

TAYLOR, John B. **Discretion versus policy rules in practice**. In: Carnegie-Rochester conference series on public policy. North-Holland, 1993. p. 195-214.

TELES, V. K.; TEIXEIRA, O. A. J. **Modelo de Simulação de Políticas e Reformas Estruturantes**. Consultoria do Banco Interamericano de Desenvolvimento à Secretaria de Política Econômica do Ministério da Fazenda. Brasília, 2022. Trabalho não publicado.

TRENBERTH, Kevin e Equipe do Centro Nacional de Pesquisa Atmosférica (Eds). Última modificação em 20 mar. 2024. "**O Guia de Dados Climáticos: Índices Nino SST (Nino 1+2, 3, 3.4, 4; ONI e TNI)**." Disponível em: <https://climatedataguide.ucar.edu/climate-data/nino-sst-indices-nino-12-3-34-4-oni-and-tni>. Acesso em: 31 mar. 2024.