



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
FACULDADE DE ECONOMIA, ADMINISTRAÇÃO, ATUÁRIA E
CONTABILIDADE
PROGRAMA DE ECONOMIA PROFISSIONAL
MESTRADO EM ECONOMIA DE EMPRESAS

BRUNO ARAGÃO PACHECO

EFEITOS DE CHOQUES DE TEMPERATURA SOBRE O CRESCIMENTO, MEIO
AMBIENTE E BEM-ESTAR

FORTALEZA

2021

BRUNO ARAGÃO PACHECO

EFEITOS DE CHOQUES DE TEMPERATURA SOBRE O CRESCIMENTO, MEIO
AMBIENTE E BEM-ESTAR

Dissertação apresentada à Coordenação do
Curso de Pós-Graduação em Economia de
Empresas da Universidade Federal do Ceará –
UFC, como parte dos requisitos para obtenção
do título de Mestre em Economia de Empresas.
Área de concentração: Economia de Empresas.
Orientador: Prof. Dr. Ricardo Antônio de
Castro Pereira

FORTALEZA

2021

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca Universitária
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

P117e Pacheco, Bruno Aragão.
Efeitos de choques de temperatura sobre o crescimento, meio ambiente e bem-estar / Bruno Aragão
Pacheco. – 2021.
37 f. : il. color.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Faculdade de Economia, Administração,
Atuária e Contabilidade, Mestrado Profissional em Economia de Empresas, Fortaleza, 2021.
Orientação: Prof. Dr. Ricardo Antônio de Castro Pereira.

1. Recursos Naturais Renováveis. 2. Mudanças Climáticas. 3. Bem-estar. 4. Crescimento Econômico. I.
Título.

CDD 330

BRUNO ARAGÃO PACHECO

EFEITOS DE CHOQUES DE TEMPERATURA SOBRE O CRESCIMENTO, MEIO
AMBIENTE E BEM-ESTAR

Dissertação apresentada à Coordenação do
Curso de Pós-Graduação em Economia de
Empresas da Universidade Federal do Ceará –
UFC, como parte dos requisitos para obtenção
do título de Mestre em Economia de Empresas.
Área de concentração: Economia de Empresas.

Aprovada em: ___/___/_____.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Ricardo Antônio de Castro Pereira
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Marcelo de Castro Callado
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. José Weligton Felix Gomes
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Arley Rodrigues Bezerra
Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE)

AGRADECIMENTOS

Escrever essa nota de agradecimento, uma década após a graduação, já é motivo de orgulho e satisfação. Em meio a tantos desafios inerentes da transição de vida e carreira, concluir um mestrado profissional é um marco na vida de qualquer pessoa. Mais que uma titulação, é um símbolo na construção e desenvolvimento de novos pensamentos e mentalidade, que me acompanharão por toda vida.

Para tanto, é indiscutível o meu agradecimento à Deus, pela oportunidade que me foi oferecida, e por nunca me desamparar. Agradecimentos também à rede de apoio mais significativa que tenho: minha família.

Aos meus pais e irmãos que me ensinaram a não temer desafios, e a superar os obstáculos com humildade.

À minha sobrinha e afilhada, por dar forças e sempre acreditar na minha capacidade de enfrentar todos os desafios.

Ao meu orientador Ricardo Pereira pelo suporte e direcionamento na realização deste trabalho, pois, sem sua ajuda e orientação o mesmo não teria sido realizado.

Aos professores membros da banca e colegas, que leram e me forneceram ideias e feedbacks para o meu engrandecimento como pesquisador.

E a todos os demais professores, gestores e colegas, que de alguma forma, contribuíram na árdua tarefa de finalizar esse material.

“Muita luz é como muita sombra: não deixa ver.”

(Carlos Castañeda)

RESUMO

O presente trabalho tem como objetivo verificar os efeitos de um choque de temperatura sobre o crescimento, conservação ambiental e bem-estar, em diferentes condições ambientais, de utilização dos recursos naturais e dinâmicas climáticas. Foi construído um modelo de equilíbrio geral que, além de considerar os efeitos da temperatura sobre a produção da economia e a renovação dos recursos naturais, também incorpora os efeitos do uso dos recursos naturais na produção e os impactos da conservação ambiental no bem-estar. Os resultados indicam que maiores danos no bem-estar estão associados com maior persistência do choque de temperatura, com a menor capacidade máxima de recursos naturais renováveis e com a maior consciência ambiental, esta definida como maior efeito no nível de bem-estar da conservação dos recursos naturais.

Palavras-Chave: Recursos Naturais Renováveis. Mudanças Climáticas. Bem-estar. Crescimento Econômico.

ABSTRACT

The present work aims to verify the effects of a temperature shock on growth, environmental conservation and well-being, under different environmental conditions, of the use of natural resources and climatic dynamics. A general equilibrium model was built which, in addition to considering temperature effects on the production of the economy and the renewal of natural resources, also incorporates the effects of the use of natural resources on production and the impacts of environmental conservation on well-being. The results indicate that greater damage to welfare is associated with greater persistence of the temperature shock, with the lowest maximum capacity of renewable natural resources and with the greatest environmental awareness, which is defined as a greater effects in welfare level of the conservation of natural resources.

Keywords: Renewable Natural Resources. Climate Change. Welfare. Economic Growth.

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Anomalia de temperatura média anual mundial entre 1880 e 2019 como referência a temperatura média anual do séc. XX	12
Gráfico 2 - Trajetória da taxa de utilização dos recursos naturais renováveis (ϕt) de acordo com seu valor estacionário e persistência do choque de temperatura, segundo nível máximo de recursos naturais.	28
Gráfico 3 - Variação percentual no estoque de recursos naturais renováveis em relação ao valor de estado estacionário em cada cenário de calibração.	30
Gráfico 4 - Taxa de crescimento do produto em diferentes cenários, por nível de persistência do choque de temperatura	31

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Síntese da calibração dos parâmetros estruturais	24
Tabela 2 - Síntese da calibração dos parâmetros fiscais	25
Tabela 3 - Síntese da calibração dos parâmetros comportamentais.....	25
Tabela 4 - Síntese da calibração dos parâmetros de análise de sensibilidade	26
Tabela 5 - Resultados de bem-estar	32
Tabela 6 - Estimação do parâmetro de persistência do choque de temperatura.....	37

LISTA DE ABREVIACOES

CIDE	Contribuioes de Intervencao no Domínio Econmico
COFINS	Contribuiao para o Financiamento da Seguridade Social
CPSS	Contribuiao para o Plano de Seguridade Social do Servidor
CSLL	Contribuiao Social sobre o Lucro Líquido
E-DSGE	Environmental Dynamic Stochastic General Equilibrium
FGTS	Fundo de Garantia do Tempo de Serviço
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ICMS	Imposto sobre Circulao de Mercadorias e Serviços
IOF	Imposto sobre Operaoes Financeiras
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
IPEA	Instituto de Pesquisa Econmica Aplicada
IPI	Imposto sobre Produtos Industrializados
IPTU	Imposto sobre a Propriedade Predial e Territorial Urbana
IPVA	Imposto sobre a Propriedade de Veículos Automotores
IR	Imposto de Renda
ISS	Imposto Sobre Serviços
ITBI	Impostos de Transmissão de Bens Imóveis
ITCD	Imposto sobre a Transmissão Causa Mortis e Doao de Quaisquer Bens ou Direitos
ITR	Imposto sobre a Propriedade Territorial Rural
NOAA	National Oceanic and Atmospheric Administration
PASEP	Programa de Formao do Patrimnio do Servidor Público
PIB	Produto Interno Bruto
PIS	Programa de Integrao Social
PTF	Produtividade Total dos Fatores
SRFB	Secretaria da Receita Federal do Brasil

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	11
2.	REFERENCIAL TEÓRICO.....	13
3.	MODELO	16
3.1	Famílias	16
3.2	Produção.....	18
3.3	Governo	19
3.4	Dinâmica Ambiental.....	19
3.5	Definição do Equilíbrio.....	21
3.6	Medida de Bem-Estar.....	21
4.	CALIBRAÇÃO.....	23
4.1	Parâmetros Estruturais	23
4.2	Parâmetros Fiscais.....	24
4.3	Parâmetros Comportamentais.....	25
4.4	Parâmetros Sujeitos à Análise de Sensibilidade.....	26
5.	SIMULAÇÕES	28
6.	CONSIDERAÇÕES FINAIS	34
	REFERÊNCIAS	35
	ANEXO A – ESTIMAÇÃO DA PERSISTÊNCIA DO CHOQUE DE TEMPERATURA.....	37

1. INTRODUÇÃO

O entendimento das mudanças climáticas previstas nas próximas décadas, bem como o entendimento sobre suas causas e consequências sobre a natureza e o padrão de vida da população, são tópicos essenciais de investigação nas mais diversas áreas de conhecimento. O IPCC (2014), Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (*Intergovernmental Panel on Climate Change*), afirma que mudanças climáticas são inequívocas e as observadas a partir da década de 1950 são sem precedentes, quando comparadas aos dados observados ao longo das décadas verificadas. O estudo ainda afirma que, além da criação de novos riscos aos sistemas natural e humano, as mudanças climáticas podem vir a amplificar os riscos já existentes para os sistemas.

Os efeitos relacionados à economia proveniente de mudanças climáticas são especialmente perversos em determinados setores ligados à produção agrícola e a zona costeira. Os efeitos pronunciados estão associados a maior dependência destes setores em relação às variáveis climáticas, reduzindo o produto e o bem-estar da população (DIAS; ARAÚJO, 2017).

O presente estudo tem como objetivo verificar os efeitos, sobre o crescimento econômico e o bem-estar dos indivíduos, provenientes de mudanças temporárias da temperatura de seu valor padrão observado ao longo dos últimos anos em diferentes contextos de nível e uso de recursos naturais renováveis.

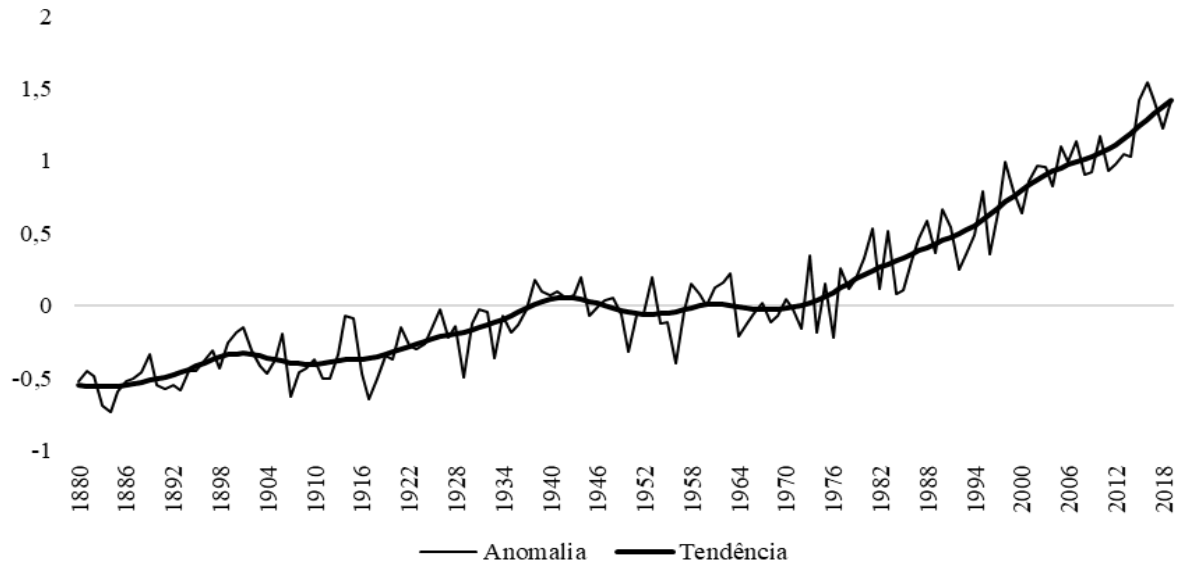
Para isto, foi construído um modelo dinâmico de equilíbrio geral que incorpora a utilização destes recursos naturais renováveis nas atividades produtivas e no nível de bem-estar dos indivíduos. Estes recursos apresentam têm a capacidade de se regenerar, mas que o uso indiscriminado pode levar ao seu esgotamento. Adicionalmente, o modelo incorpora uma dinâmica não linear da acumulação dos recursos naturais de forma que estes alcancem valores estacionários distintos ao considerar a existência ou não da atividade humana.

Por fim, são considerados efeitos negativos associados com o desvio da temperatura de seu valor comum sobre a produção e a acumulação de recursos naturais renováveis. O modelo foi calibrado de forma a mimetizar características da economia brasileira nos últimos anos.

Conforme pode ser observado na Figura 1 a seguir, há uma tendência no aumento da temperatura média anual mundial com o passar das décadas. A anomalia de temperatura

representa a temperatura aferida deduzida da temperatura média de um determinado período, o exemplo a seguir toma como referência a temperatura média do século XX:

Gráfico 1 - Anomalia de temperatura média anual mundial entre 1880 e 2019 como referência a temperatura média anual do séc. XX



Fonte: National Centers for Environmental Information (NOAA).

Considerando os possíveis danos à sociedade em termos econômicos e de bem-estar provenientes das mudanças climáticas, tais como alterações na produção agrícola, derretimento das calotas polares, redução na biodiversidade, entre outros. Torna-se evidente a importância de verificar os impactos de mudanças da temperatura em relação ao seu valor normal da melhor compreensão dos mecanismos que afetam o padrão de vida.

Além desta introdução o presente trabalho contém outras cinco seções. A segunda seção a seguir apresenta um breve referencial teórico sobre economia ambiental, enfatizando os trabalhos que utilizam modelagem macroeconômica. As duas seções seguintes apresentam o modelo utilizado no trabalho e sua calibração respectivamente. A quinta seção apresenta os resultados das simulações. Por fim, são discutidas as principais conclusões do trabalho.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

Ao verificar os possíveis impactos das mudanças climáticas para o Brasil, Pereda (2012) encontra evidências no sentido de que no contexto do aquecimento global praticamente todos os setores agrícolas podem ser negativamente afetados. A autora ainda encontra evidências que um processo de aumento das temperaturas pode alterar a distribuição geográfica da incidência de dengue no Brasil, com maiores riscos de infecção nas regiões Sul e Sudeste.

Arbex e Perobelli (2008) propõem uma abordagem nova para investigar a relação entre crescimento econômico e consumo de energia, integrando um modelo de crescimento exógeno considerando estoques de recursos naturais renováveis e exauríveis com um modelo de insumo produto. Os resultados encontrados pelos autores indicam que a maioria dos setores não enfrentariam uma crise energética de fontes renováveis até 2014, já para o consumo de energia de fontes não renováveis os resultados indicam que a escassez é comum para quase todos os setores.

Uma vertente crescente sobre a temática ambiental é caracterizada pela utilização de modelos E-DSGE (Environmental Dynamic Stochastic General Equilibrium) para verificar impactos de crescimento e bem-estar em vários contextos relacionados com o tema. Diversos trabalhos (CHAN, 2020; ARBEX; BATU, 2018; ARGENTIERO; BOLLINO; MICHELI, 2014) optam por definir explicitamente um setor elétrico que incorpora a produção de energia limpa e poluente, a partir da utilização de recursos naturais renováveis ou não.

Chan (2020), analisa os impactos sobre o meio ambiente e o bem-estar dos indivíduos gerados por diferentes políticas previamente anunciadas em relação a emissão de gás carbônico. Os resultados indicam que o aumento de impostos sobre a emissão de carbono e o estabelecimento de metas de intensidade de carbono se mostraram efetivos para redução das emissões.

Arbex e Batu (2018) verifica os impactos de um choque de temperatura em um modelo calibrado com dados para a economia norte-americana, os autores consideram de forma direta *damage functions* na produção e na utilidade dos agentes. Os resultados encontrados pelos autores indicam que um aumento temporário não antecipado na temperatura gera quedas no consumo e nas horas trabalhadas. Por fim, o aumento no consumo necessário para compensar um aumento permanente de 2°C na temperatura é equivalente a 3% do produto da economia.

Nesta mesma linha, Argentiero, Bollino e Micheli (2014) utilizam um modelo com estrutura semelhante para analisar a efetividade de mecanismos de incentivos, que capturam a intensidade do comprometimento de longo prazo por parte do governo em incentivar o desenvolvimento de novas tecnologias sobre energia renovável ao invés de um fluxo de subsídios monetários. Os resultados indicam que incentivos públicos ao setor de energia renovável baseados em estoque de capital público podem produzir efeitos superiores ao subsídio.

Em relação ao caso brasileiro, Silva e Silva (2019) utilizam um modelo de economia aberta considerando efeitos negativos da poluição sobre a produção e o bem-estar dos indivíduos. Os autores analisam os efeitos de choques na oferta energética, na demanda por energia, nos preços internacionais das fontes energéticas comercializáveis no exterior, na política ambiental e nas emissões do resto do mundo.

Dentre os resultados obtidos, destaca-se que as famílias respondem aos choques externos nos preços da energia de fontes não renováveis com a substituição por energia de fontes renováveis ao invés de uma redução no consumo de energia. Além disso, os resultados indicam que a utilização conjunta de mecanismos de políticas fiscal e ambiental são mais efetivos em termos econômicos e ambientais do que a utilização individualizada dos mecanismos.

Já Pereira e Góes (2019) desenvolvem um modelo no qual a variável relacionada com o meio ambiente é o estoque de floresta tropical. A redução no estoque florestal, via desmatamento, entra diretamente na função de produção como insumo e afeta negativamente a utilidade dos indivíduos. Apesar da abordagem linear utilizada, os autores sugerem que uma modelagem mais precisa do estoque da floresta tropical seria por uma forma funcional na qual a taxa de renovação florestal seja dependente do estoque corrente como em uma equação de diferenças não linear, de forma que incorpore a ideia do estoque florestal não se expandir indefinidamente em uma situação na qual não há interferência humana.

Os autores encontram que mudanças de comportamento no sentido de uma maior qualidade ambiental reduz o desmatamento. Este efeito varia inversamente com o rigor da política ambiental, de forma que a mudança de comportamento combinada com uma política ambiental mais branda gera maior benefício ambiental.

Riekhof, Regnier e Quaas (2019) constroem um modelo de crescimento endógeno com o objetivo de estudar a interdependência entre crescimento econômico, comercio

internacional e a extração de recursos naturais renováveis. O modelo admite que a variação no estoque dos recursos naturais renováveis seja função de uma taxa de crescimento intrínseca, do seu estoque corrente, da capacidade máxima suportada de recursos naturais renováveis e das extrações de recursos. Estas extrações, por sua vez, seguem uma função de produção na qual os insumos são a quantidade de recursos naturais disponíveis e da força de trabalho dedicada a este tipo de atividade. Os resultados encontrados indicam a existência de possíveis efeitos conflitantes do comércio internacional sobre o alcance das metas de desenvolvimento sustentável.

Arbex e Batu (2020) consideram um modelo onde é possível acumular recursos naturais, sejam eles renováveis ou não, via alocação de recursos dos indivíduos destinada para este fim. Frações dos recursos naturais são consideradas como insumos essenciais às atividades produtivas. A utilização dos recursos naturais na produção, no entanto, afeta negativamente a utilidade dos indivíduos. Os autores encontram que aumentos permanentes de temperatura podem gerar reduções no produto de até 1,61%.

Feitas as considerações sobre a literatura de crescimento econômico e economia ambiental, o modelo construído segue determinações comuns da literatura e propõe uma nova especificação para a dinâmica dos recursos naturais que, por sua vez, atende as sugestões realizadas por Pereira e Góes (2019). Adicionalmente, o trabalho contribui na literatura de economia do meio ambiente ao buscar a determinação dos efeitos sobre o crescimento e o bem-estar de possíveis alterações na temperatura.

3. MODELO

A economia hipotética é uma variante do modelo neoclássico de crescimento composta por famílias, um setor produtivo, um governo e uma dinâmica ambiental, adaptando as para a quantidade de recursos naturais renováveis a partir das sugestões realizadas de Pereira e Góes (2019) para a acumulação no estoque florestal. Por hipótese, existe um grande número de famílias idênticas de forma que essas possam ser caracterizadas por um agente representativo. Esse agente vive infinitos períodos e toma decisões visando maximizar seu fluxo descontado de utilidade. As atividades produtivas da economia são realizadas por uma única firma representativa que agrega toda a produção da economia (Y_t). O setor público age apenas na política fiscal, arrecadando tributos e gastando na oferta de serviços públicos e transferências de renda para as famílias. O modelo não apresenta crescimento populacional, desta forma é possível assumir tamanho unitário para a população.

A utilização dos recursos naturais (N_t) é essencial para a condução das atividades produtivas. Contudo, sua utilização gera desconforto para as famílias, i.e., reduções no nível de utilidade do agente representativo.

A economia é fechada e com governo, assim a demanda agregada é dado pela soma do consumo (C_t), investimento (I_t) e da oferta de serviços públicos (G_t):

$$Y_t = C_t + I_t + G_t \quad (1)$$

3.1 Famílias

As famílias são retratadas por um agente representativo que obtém utilidade proveniente do consumo, lazer e do seu montante de recursos naturais renováveis não utilizados, i.e., os ganhos de utilidade estão associados com a conservação desses recursos. Inicialmente o agente representativo recebe dotações de estoque de capital (k_0), e de recursos naturais renováveis (n_0), além de receber uma dotação de tempo em cada período que deve ser alocada entre trabalho (h_t) e lazer (l_t).

A oferta de serviços públicos (g_t) é interpretada como um substituto próximo às despesas privadas em consumo (c_t). Seguindo Barro (1981), uma unidade ofertada de serviços públicos é equivalente em termos de utilidade a μ unidades de consumo privado, onde $\mu \in (0,1)$.

Em cada período, o agente representativo oferta uma fração ϕ_t do seu estoque de recursos naturais renováveis para ser utilizada nas atividades produtivas. Além desta redução no estoque via oferta de recursos, em cada período uma fração δ_n dos recursos naturais é depreciada de forma independente das atividades produtivas. Assim o fluxo descontado de utilidade do agente representativo é dado por:

$$U = \sum_{t=0}^{\infty} \beta^t \{ \ln(c_t + \mu g_t) + \psi \ln(1 - h_t) + \theta \ln[(1 - \phi_t - \delta_n)n_t] \} \quad (2)$$

Onde ψ e θ são os pesos relativos ao consumo do lazer e da conservação ambiental na utilidade respectivamente. Considera-se que, na visão do agente representativo, sua escolha individual para oferta dos seus recursos naturais renováveis não impacte na trajetória de acumulação desses recursos em termos agregados.

O agente obtém renda proveniente do trabalho com uma taxa de salários w_t , do aluguel do seu estoque de capital (k_t) com uma taxa de retorno r_t , da fração do estoque de recursos naturais renováveis ofertados ($\phi_t n_t$) com taxa de rendimento ρ_t todos descontados de impostos com alíquotas dadas respectivamente por: τ_w , τ_k e τ_n . Adicionalmente, o governo complementa a renda das famílias com as transferências (tr_t) em todos os períodos. As despesas do agente representativo são divididas entre investimento na acumulação de capital (i_t) e em consumo, esta última sujeita a um imposto de alíquota τ_c . A restrição orçamentária do agente representativo é dada por:

$$(1 + \tau_c)c_t + i_t = (1 - \tau_w)w_t h_t + (1 - \tau_k)r_t k_t + (1 - \tau_n)\rho_t \phi_t n_t + tr_t \quad (3)$$

A despesa com investimento determina a acumulação do seu estoque de capital de acordo com a seguinte regra:

$$k_{t+1} = i_t + (1 - \delta_k)k_t \quad (4)$$

O agente representativo realiza escolhas sobre o nível de gasto em consumo privado (c_t), a oferta de trabalho (h_t), o nível de estoque de capital no período seguinte (k_{t+1}) e a fração ofertada de seus recursos naturais (ϕ_t) de forma a maximizar seu fluxo descontado de utilidade (2) restrito à (3), considerando (4) e $1 = h_t + l_t$.

3.2 Produção

Para gerar o produto da economia (Y_t), a firma representativa demanda trabalho (H_t), aluga capital (K_t) e recursos naturais renováveis (Nd_t) pertencentes às famílias. A firma paga às famílias uma taxa r_t pelo aluguel do capital, uma taxa de salário w_t pelo trabalho e uma taxa de aluguel ρ_t pelos recursos naturais renováveis. A firma representativa combina os insumos em uma função de produção para gerar Y_t :

$$Y_t = D_t^y Z K_t^{\sigma_k} N d_t^{\sigma_n} H_t^{1-\sigma_k-\sigma_n} \quad (5)$$

Onde Z é um parâmetro que mede a PTF (Produtividade Total dos Fatores), os parâmetros σ_k e σ_n representam as elasticidades do produto relação ao capital e aos recursos naturais respectivamente, satisfazendo $\sigma_k > 0$, $\sigma_n > 0$ e $\sigma_k + \sigma_n < 1$. Seguindo a literatura, como em Arbex e Batu (2018; 2020), a produção está sujeita a uma *damage function* (D_t^y) que determina os impactos de desvios da temperatura (T_t) em relação ao seu valor normal (T^n). A forma funcional da *damage function* é dado por:

$$D_t^y = \frac{1}{1 + \xi(T_t - T^n)^2} \quad (6)$$

Se $T_t = T^n$, $D_t^y = 1$ e, devido a sua forma multiplicativa, a produção não é afetada. No entanto, se $T_t \neq T^n$, temos $D_t^y < 1$, afetando a produção. Note que pela forma quadrática do termo de temperatura na *damage function* choques de mesma intensidade e diferentes direções na temperatura para fora de seu valor normal afetam a produção da mesma forma. O parâmetro ξ mede a intensidade na qual os desvios da temperatura afetam a produção. Pela maximização de lucros da firma representativa:

$$r_t = \frac{\sigma_k Y_t}{K_t} \quad (7)$$

$$\rho_t = \frac{\sigma_n Y_t}{N d_t} \quad (8)$$

$$w_t = \frac{(1 - \sigma_k - \sigma_n) Y_t}{H_t} \quad (9)$$

3.3 Governo

O governo obtém receitas através de impostos sobre o consumo ($\tau_c C_t$) e as rendas do trabalho ($\tau_w w_t H_t$), do capital ($\tau_k r_t K_t$) e dos recursos naturais renováveis ($\tau_n \rho_t \phi_t N_t$). As despesas públicas são dadas pela oferta dos serviços públicos (G_t) e transferências para as famílias (Tr_t). Sob a hipótese de orçamento equilibrado em todos os períodos, a restrição orçamentária do setor público é dada por:

$$G_t + Tr_t = \tau_c C_t + \tau_k r_t K_t + \tau_w w_t H_t + \tau_n \rho_t \phi_t N_t \quad (10)$$

O governo gasta uma fração constante (α) do produto na oferta de serviços públicos:

$$G_t = \alpha Y_t \quad (11)$$

3.4 Dinâmica Ambiental

O modelo considera o papel dos recursos naturais renováveis na produção e no bem-estar dos indivíduos. A dinâmica de acumulação destes recursos segue as sugestões de Pereira e Góes (2019) para o estoque de floresta tropical. Os autores consideram que a taxa de crescimento da floresta depende negativamente de seu estoque e que, na ausência de atividade humana, a floresta tropical não irá se expandir indefinidamente, i.e., existe um limite superior para o tamanho da floresta. No contexto do presente trabalho, esse conceito implica que devem existir valores estacionários para os recursos naturais renováveis considerando a presença ou ausência de atividade humana.

Riekhof, Regnier e Quaas (2018) utilizam uma regra de acumulação com um valor máximo de recursos naturais que é alcançado na ausência de atividade humana, contudo optou-se por uma abordagem distinta do que normalmente é utilizado na literatura¹. A motivação envolve incorporar de forma mais simplificada a possibilidade da completa devastação dos

¹ Cabe destacar que no modelo de Riekhof, Regnier e Quaas (2018) a destruição dos recursos renováveis envolve a utilização da mão de obra no processo de extração destes recursos. O modelo admite a possibilidade da completa devastação a partir de um nível de mão de obra suficientemente alto. Contudo, o presente trabalho considera uma regra de acumulação simplificada, onde a redução no estoque dos recursos naturais renováveis envolve uma depreciação natural e uma fração ofertada pelas famílias ao setor produtivo.

recursos naturais renováveis, fazendo com que seu estoque corrente e em todos os períodos seguintes seja nulo. A acumulação dos recursos naturais renováveis segue:

$$N_{t+1} = N_t - (\phi_t + \delta_n)N_t + R_t^n \quad (12)$$

Onde ϕ_t é a fração dos recursos naturais ofertada pelas famílias, δ_n é a taxa de depreciação natural dos recursos renováveis e R_t^n é uma função de renovação dos recursos naturais renováveis. A renovação dos recursos naturais é uma função crescente e côncava dos recursos naturais que foram conservados no período e, conforme a função de produção, está sujeita a uma *damage function* (D_t^r) que representa os efeitos das mudanças na temperatura sobre a renovação dos recursos naturais:

$$R_t^n = D_t^r [(1 - \phi_t - \delta_n)N_t]^\eta \quad (13)$$

$$D_t^r = \frac{1}{1 + \zeta(T_t - T^n)^2} \quad (14)$$

Onde η representa elasticidade da função de renovação dos recursos naturais em relação aos recursos conservados, $(1 - \phi_t - \delta_n)N_t$ e ζ é o parâmetro que determina os impactos de mudanças na temperatura sobre a renovação dos recursos naturais.

Pelas equações (12) e (13), determina-se que caso a utilização e a depreciação dos recursos naturais renováveis seja do tamanho do estoque corrente ($\phi_t + \delta_n = 1$), o valor do estoque de recursos naturais renováveis será nulo em todos os períodos seguintes. Este resultado é diretamente relacionado a forma da função de renovação de recursos admitir como único fator a quantidade dos recursos naturais conservados a cada período.

Assumindo a existência de um valor estacionário para a fração ofertada de recursos naturais (ϕ^*) que seja consistente com existência de recursos naturais no longo prazo ($\phi^* < 1 - \delta_n$), é possível analisar comparativamente os resultados de longo prazo para os recursos naturais renováveis na presença (N^*) ou na ausência (N^{**}) de atividade humana:

$$N^* = \left[\frac{(1 - \phi^* - \delta_n)^\eta}{\phi^* + \delta_n} \right]^{\frac{1}{1-\eta}}$$

$$N^{**} = \left[\frac{(1 - \delta_n)^\eta}{\delta_n} \right]^{\frac{1}{1-\eta}} \quad (15)$$

Esse último, N^{**} , doravante determinado como a capacidade máxima do estoque de recursos naturais. A dinâmica da temperatura utilizada admite que a temperatura no período seguinte é uma média ponderada da temperatura corrente e de seu valor normal, acrescida de um termo de desvio (v_t):

$$T_{t+1} - T^n = \gamma(T_t - T^n) + v_t \quad (16)$$

Onde γ representa a peso relativo da temperatura corrente na temperatura do período seguinte.

3.5 Definição do Equilíbrio

Dado uma política fiscal $\{\tau_c, \tau_k, \tau_w, \tau_n, \alpha\}_{t=0}^{\infty}$, estoques iniciais de capital $\{k_0\}$ e de recursos naturais renováveis $\{n_0\}$ pertencentes às famílias, o equilíbrio competitivo será dado por uma sequência de decisões das famílias $\{c_t, i_t, \phi_t\}_{t=0}^{\infty}$; por uma sequência de estoques de capital privado $\{K_t\}_{t=0}^{\infty}$; por uma sequência de estoques de recursos naturais renováveis $\{N_t\}_{t=0}^{\infty}$; por uma sequência de preços de fatores $\{r_t, w_t, \rho_t\}_{t=0}^{\infty}$, que satisfaçam: *i*) a maximização de utilidade das famílias; *ii*) a maximização de lucros das firmas; *iii*) a condição de equilíbrio no mercado de recursos naturais ($Nd_t = \phi_t N_t$); *iv*) a restrição orçamentária do governo; *v*) a restrição de factibilidade da economia (1); *vi*) as condições de agregação das decisões individuais e agregadas, considerando tamanho unitário da população.

3.6 Medida de Bem-Estar

A medida de bem-estar (x) considerada é definida em Lucas (1987) e Cooley e Hansen (1992). Representa o aumento percentual no consumo privado necessário para tornar o agente representativo indiferente entre a situação estacionária inicial e a realização de choques. Desta forma x deve ser tal que satisfaça:

$$\sum_{t=0}^{\infty} \beta^t \{ \ln(c_t^{ss} (1+x) + \mu g_t^{ss}) + \psi \ln(1 - h_t^{ss}) + \theta \ln[(1 - \delta_n - \phi_t^{ss}) n_t^{ss}] \} =$$

$$\sum_{t=0}^{\infty} \beta^t \{ \ln(c_t^{sh} + \mu g_t^{sh}) + \psi \ln(1 - h_t^{sh}) + \theta \ln[(1 - \delta_n - \phi_t^{sh}) n_t^{sh}] \}$$

Onde as variáveis com o índice ss correspondem a situação estacionária inicial do modelo, i.e., trajetória na ausência de choques, já as variáveis com índice sh representam as mesmas variáveis simuladas na presença de choques.

4. CALIBRAÇÃO

O processo de calibração foi realizado de forma que os resultados obtidos para a economia hipotética em estado estacionário sejam equivalentes aos dados observados para a economia brasileira em 2017. Para o processo de calibração, os parâmetros do modelo foram divididos em quatro grupos:

- Parâmetros estruturais: $\sigma_k, \sigma_n, \delta_k, \eta, \xi, \zeta$ e T^n ;
- Parâmetros fiscais: $\alpha, \tau_c, \tau_k, \tau_w$ e τ_n ;
- Parâmetros comportamentais: β, ψ e μ ;
- Parâmetros sujeitos à análise de sensibilidade: γ, θ, δ_n e Z .

4.1 Parâmetros Estruturais

As elasticidades do produto em relação ao estoque de capital e ao termo dos recursos naturais utilizados na produção seguem os valores utilizados por Arbex e Batu (2020), desta forma $\sigma_k = 0,3$ e $\sigma_n = 0,1$. Por simplicidade, admite-se que a elasticidade da renovação de recursos naturais em relação a quantidade de recursos conservada seja igual a elasticidade do produto em relação aos recursos naturais renováveis utilizados, i.e., considera-se que $\eta = \sigma_n$.

O parâmetro que mede a intensidade de choques de temperatura sobre a produção (ξ) é calibrado seguindo Arbex e Batu (2018), que utiliza o resultado apresentado por Nordhaus (2008). O resultado indica que um aumento de 2°C na temperatura média global pode gerar uma queda de 1% na produção. Admitindo que este efeito seja válido para variações no curto prazo, temos $\xi = 0,0025$. Novamente, considerando comportamento semelhante entre a função de produção e a função de renovação de recursos, conjectura-se que os parâmetros das diferentes *damage functions* sejam iguais, $\zeta = \xi$.

A taxa de depreciação é obtida a partir da solução estacionário da equação (4) para δ_k :

$$\delta_k = \frac{i^*}{k^*}$$

Utilizando dados das Contas Nacionais do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) obtemos que a razão do entre o investimento. O investimento do modelo é

obtido a partir da soma da Formação Bruta de Capital Fixo, Variação de Estoque e Exportações Líquidas. e o produto para 2017 foi de 0,1534. Com dados sobre a relação capital produto proveniente do Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA) para 2017, encontra-se valor 2,4882. Desta forma temos que $\delta_k = 0,0617$.

A Tabela 1 a seguir apresenta a síntese da calibração dos parâmetros estruturais:

Tabela 1 - Síntese da calibração dos parâmetros estruturais

σ_k	σ_n	η	ξ	ζ	T^n	δ_k
0,3000	0,1000	0,1000	0,0025	0,0025	24,7937	0,0617

Fonte: Arbex e Batu (2020;2018), Nordhaus (2008), IBGE e IPEA.

4.2 Parâmetros Fiscais

Seguindo a metodologia de Saraiva *et. al.* (2017), o cálculo das alíquotas de imposto sobre consumo e rendimentos dos insumos produtivos são utilizados dados do IBGE e da Secretaria da Receita Federal do Brasil (SRFB). As receitas tributárias são divididas em três categorias:

1. Impostos sobre o consumo: IPI, Impostos sobre comércio exterior, CIDE, ICMS e ISS;
2. Impostos sobre o trabalho: Contrib. para a previdência social, CPSS, Contrib. rurais, Contrib. FGTS, Salário educação, Contrib. para o Sistema S, Cota-parte contrib. sindical, Contrib. de custeio para pensões militares e Contribuições para os regimes próprios de previdência dos estados e dos municípios;
3. Demais receitas tributárias: IR, IOF, Taxas federais, ITR, COFINS, CSLL, PIS/PASEP, IPVA, ITCD, IPTU, ITBI e as demais receitas.

Em 2017, a receita obtida com impostos sobre o consumo foi de aproximadamente 8,933% do PIB enquanto o consumo das famílias 64,4943% do PIB. Utilizando a determinação do modelo para a receita de impostos sobre o consumo ($\tau_c C_t$), podemos determinar $\tau_c = 0,1379$. No mesmo ano a receita tributária sobre trabalho como proporção do PIB foi 9,0575% do PIB, o equivalente no modelo para esta razão é dado por $\tau_w(1 - \sigma_k - \sigma_n)$. Utilizando os valores calibrados para σ_k e σ_n , determina-se $\tau_w = 0,1510$.

A soma das demais receitas tributárias foi correspondente a 14,3532% do PIB. O equivalente deste resultado para o modelo é dado por $\tau_k \sigma_k + \tau_n \sigma_n$. Admite-se a hipótese

simplificadora de que as alíquotas de impostos sobre rendimentos do capital e dos recursos naturais sejam iguais, devido a semelhança no modelo entre os dois insumos ($\tau_n = \tau_k$). Desta forma temos que a soma das demais receitas tributárias como proporção do PIB é dada por $\tau_k(\sigma_k + \sigma_n)$. Utilizando os valores calibrados anteriormente, temos $\tau_k = \tau_n = 0,3588$.

De acordo com dados do IBGE, as despesas de consumo final do governo em 2017 foram aproximadamente 20,16% do PIB, desta forma temos que $\alpha = 0,2016$. A Tabela 2 a seguir apresenta a síntese dos parâmetros fiscais:

Tabela 2 - Síntese da calibração dos parâmetros fiscais

τ_c	τ_w	τ_k	τ_n	α
0,1379	0,1510	0,3588	0,3588	0,2016

Fonte: Saraiva *et. al.* (2017), SRFB, IBGE e Arbex e Batu (2020).

4.3 Parâmetros Comportamentais

O parâmetro que mede a valoração da oferta de serviços públicos relativamente ao consumo privado em termos de utilidade (μ) segue o valor usualmente adotado na literatura, $\mu = 0,5$ (FERREIRA; NASCIMENTO, 2005; BEZERRA *et. al.*, 2014; CAMPOS; PEREIRA, 2016). O fator de desconto intertemporal é calibrado a partir da igualdade na taxa de retorno do capital para a firma (7) com o valor encontrado na solução estacionário na equação de Euler obtida na maximização de utilidade do agente representativo:

$$\frac{1}{\beta} = 1 - \delta_k + \left(\frac{K^*}{Y^*}\right) \frac{1}{\sigma_k(1 - \tau_k)}$$

Utilizando os valores calibrados para δ_k , σ_k , τ_k e o valor da relação capital-produto obtida no IPEA para 2017, temos que $\beta = 0,9846$. O peso relativo do lazer na utilidade (ψ) é calibrado de tal forma que a oferta de trabalho em estado estacionário seja 1/3 do tempo disponível ($h^* = 1/3$), seguindo Pereira e Ferreira (2010) e Cooley e Prescott (1995). Para isto são utilizados os valores de vários parâmetros já calibrados, obtém-se $\psi = 1,2006$.

Tabela 3 - Síntese da calibração dos parâmetros comportamentais

μ	β	ψ
0,5000	0,9846	1,2006

Fonte: Ferreira e Nascimento (2005), Bezerra *et. al.* (2014), Campos e Pereira (2016), Pereira e Ferreira (2010), Cooley e Prescott (1995), IBGE, IPEA e Arbex e Batu (2020).

4.4 Parâmetros Sujeitos à Análise de Sensibilidade

Devido à escassez de dados precisos sobre as reduções nos recursos naturais renováveis, admite-se diferentes valores para a taxa de depreciação dos recursos naturais (δ_n). Com valor dado para o parâmetro dos retornos de escala na função de renovação de recursos, valores diferentes de δ_n estão associados com diferentes níveis estacionários de recursos naturais renováveis na ausência de atividade humana. Desta forma, a taxa de depreciação dos recursos naturais é utilizada para a obtenção dos dois níveis considerados de recursos naturais na equação (15) dados por 0,0050 e 0,0100, gerando respectivamente valores alto e baixo para a capacidade máxima de recursos naturais renováveis.

São considerados dois valores para a persistência do choque de temperatura (γ). O primeiro é a medida usada por Arbex e Batu (2020) de 0,46. Já o segundo valor é obtido através da estimação de um modelo autorregressivo com dados sobre a média anual de temperatura no Brasil entre 1920 e 1990 provenientes do Banco Mundial. Os resultados da estimação estão disponíveis no Anexo. O valor obtido das estimatórias é de 0,2617.

Seguindo Arbex e Batu (2020), admite-se valor padrão para o percentual dos recursos naturais renováveis utilizados na produção dado por $\phi^* = 0,02$. Contudo, uma análise de sensibilidade é realizada considerando $\phi^* = 0,01$ e $\phi^* = 0,04$. Para cada valor calibrado de δ_n , a calibração de θ admite três valores distintos, de forma que seja consistente com cada valor percentual de utilização dos recursos renováveis discutido. Finalmente, para cada combinação de valores de δ_n e θ , Z é calibrado de forma que o produto de estado estacionário seja unitário. A Tabela 4 a seguir mostra a síntese da calibração para esses parâmetros:

Tabela 4 - Síntese da calibração dos parâmetros de análise de sensibilidade

δ_n	θ		Z	γ	
0,0050 para N^{**} alto	3,6834	tal que	$\phi^* = 0,02$	1,4438	0,2617
					0,46
	7,4424	tal que	$\phi^* = 0,01$	1,4619	0,2617
					0,46
	1,8039	tal que	$\phi^* = 0,04$	1,4384	0,2617
					0,46

(continua)

Tabela 4 - Síntese da calibração dos parâmetros de análise de sensibilidade (continuação)

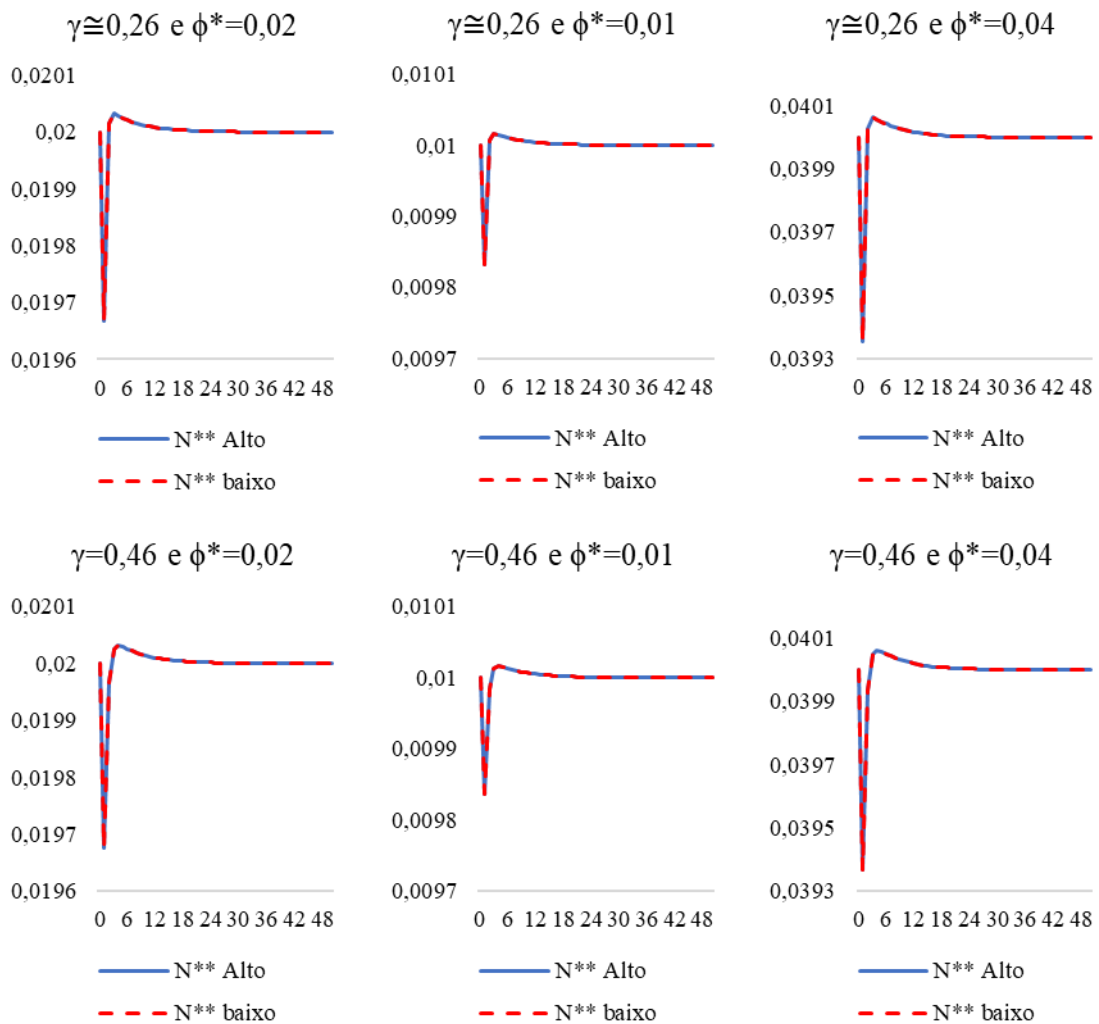
δ_n	θ		Z	γ
0,0100 Para N^{**} baixo	3,6645	tal que $\phi^* = 0,02$	1,4735	0,2617 0,46
	7,4046	tal que $\phi^* = 0,01$	1,5095	0,2617 0,46
	1,7945	tal que $\phi^* = 0,04$	1,4554	0,2617 0,46

Fonte: World Bank (2020) e Arbex e Batu (2020).

5. SIMULAÇÕES

Nas simulações realizadas é considerado um choque temporário positivo na temperatura equivalente a 2°C. Como destacado anteriormente, os efeitos da mesma mudança no clima são analisados sobre diferentes cenários de persistência da temperatura, da capacidade máxima do estoque de recursos naturais e do uso dos recursos naturais renováveis. O Gráfico 2 a seguir apresenta a trajetória da utilização do estoque de recursos naturais nos diferentes cenários.

Gráfico 2 - Trajetória da taxa de utilização dos recursos naturais renováveis (ϕ_t) de acordo com seu valor estacionário e persistência do choque de temperatura, segundo nível máximo de recursos naturais.



Fonte: Elaboração do autor.

Conforme ilustrado no Gráfico 2, são observadas reduções na taxa de utilização dos recursos naturais por parte das famílias (ϕ_t) perante o choque de temperatura em todos os cenários simulados.

As reduções são maiores de acordo com a taxa de utilização inicial dos recursos naturais, não são observados efeitos distintos a depender de outros fatores analisados como a quantidade máxima de recursos naturais ou o grau de persistência do choque de temperatura.

Após a redução inicial na taxa de utilização do estoque de recursos naturais como resposta as mudanças na temperatura, as famílias ampliam a utilização destes recursos para valores próximos aos iniciais, ultrapassando levemente nos primeiros períodos e convergindo para o valor estacionário no longo prazo.

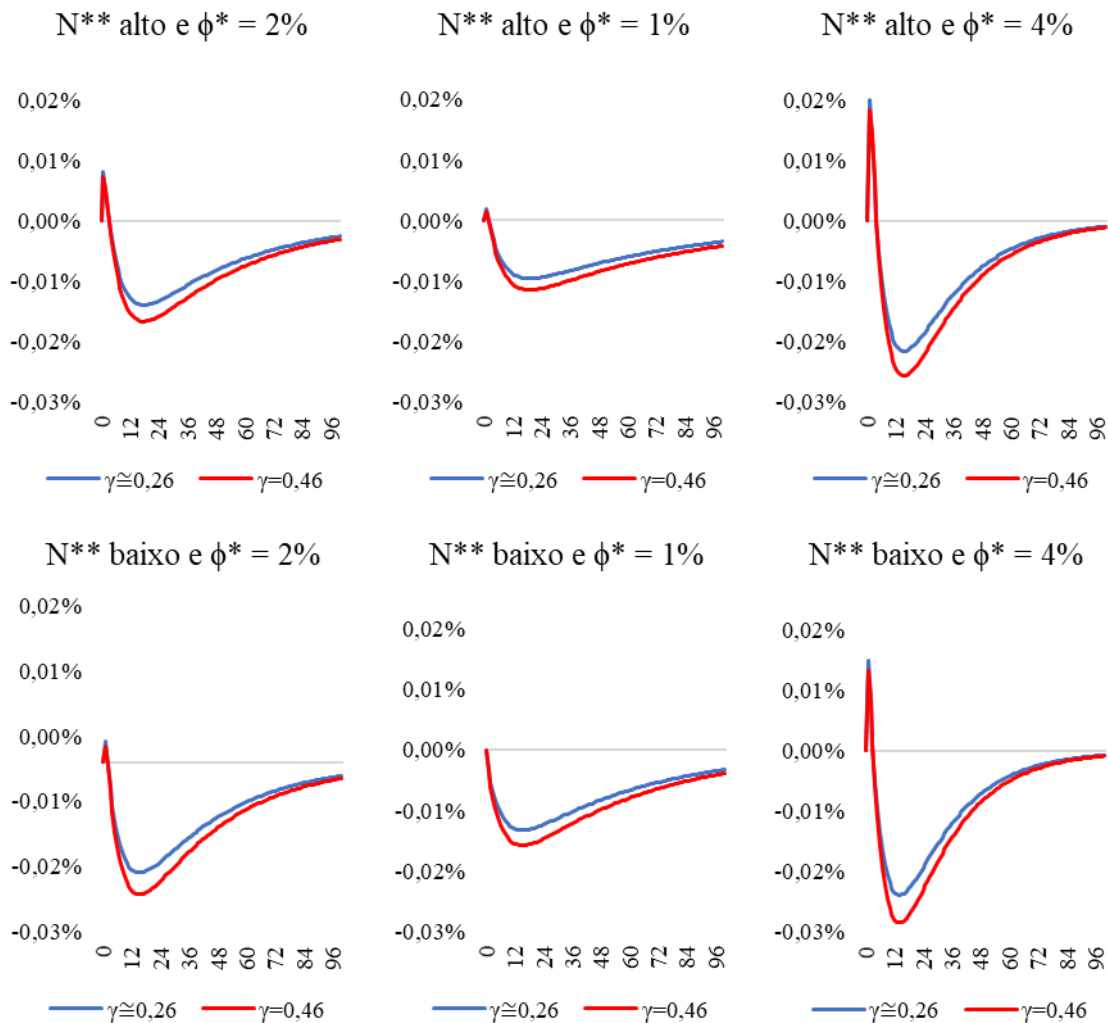
A redução na taxa de utilização dos recursos naturais renováveis gera incrementos no estoque destes recursos por dois motivos. Primeiramente temos o efeito direto na conservação dos recursos naturais obtida com a redução da utilização. De forma complementar, a renovação dos recursos naturais é uma função crescente do estoque de recursos conservados, aumentando no curto prazo a quantidade renovada.

Conforme exposto no Gráfico 3, dentre todas os possíveis cenários analisados, o aumento na quantidade de recursos naturais disponíveis não ocorre quando o estoque máximo de recursos naturais (N^{**}) é baixo e sua taxa de utilização estacionário inicial é a menor analisada (1%). Nesse contexto, a ausência do aumento inicial independente da persistência do choque de temperatura.

Durante a trajetória de recuperação, a taxa de utilização dos recursos naturais aumenta em cada cenário e reduções no estoque de recursos naturais são observadas. Estas reduções são mais pronunciadas conforme maior a persistência do choque de temperatura, menor a quantidade máxima de recursos naturais e maior é a taxa de utilização dos recursos naturais.

Novamente, conforme mencionado acima, estes movimentos estão relacionados com os efeitos direto e indireto da taxa de utilização dos recursos naturais sobre seu estoque. O estoque de recursos naturais retorna ao seu valor estacionário conforme a taxa de utilização faz.

Gráfico 3 - Variação percentual no estoque de recursos naturais renováveis em relação ao valor de estado estacionário em cada cenário de calibração.



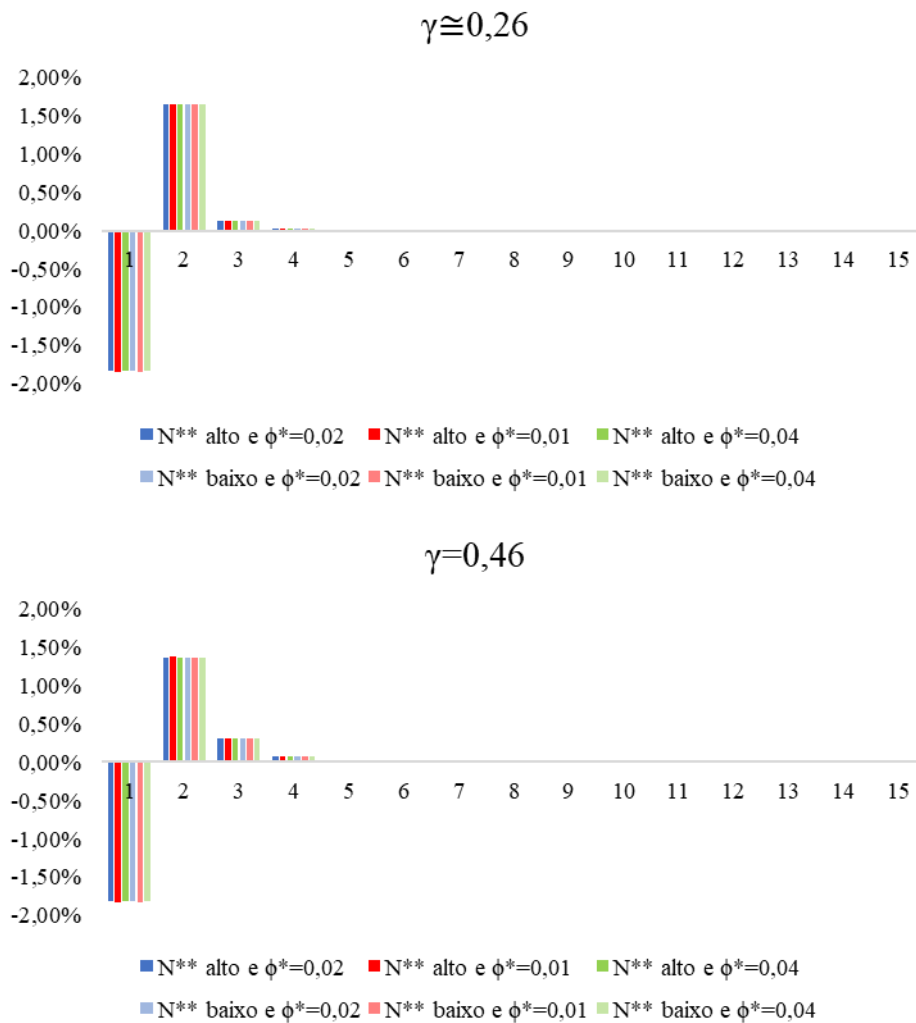
Fonte: Elaboração do autor.

A taxa de crescimento do PIB apresenta movimentos semelhantes em todos os cenários analisados. Estes movimentos seguem de forma direta a utilização dos recursos naturais renováveis.

No período em que o choque ocorre, há uma redução no produto relacionada tanto com o impacto direto da temperatura sobre a produção, quanto pela redução no uso dos recursos naturais renováveis.

As reduções percentuais no produto são aproximadamente as mesmas em todos os cenários considerados, em torno de 2%. A trajetória da taxa de crescimento do produto nos diferentes cenários está ilustrada no Gráfico 4 a seguir.

Gráfico 4 - Taxa de crescimento do produto em diferentes cenários, por nível de persistência do choque de temperatura



Fonte: Elaboração do autor.

Nos períodos seguintes, a recuperação do produto para o seu valor estacionário apresenta diferenças de acordo com a persistência do choque de temperatura. Verifica-se que quanto menor for a persistência do choque de temperatura, mais rápida será a recuperação do produto, i.e., maior a taxa de crescimento no período imediatamente após o choque. Estes efeitos estão associados diretamente com o efeito direto da mudança de temperatura sobre a produção, via *damage function*. Adicionalmente, os resultados indicam maior importância do impacto direto da temperatura sobre a produção quando comparado com o efeito da redução observada no uso do estoque de recursos naturais renováveis.

A Tabela 5 a seguir apresenta os resultados de bem-estar obtido em cada cenário simulado:

Tabela 5 - Resultados de bem-estar

	$\gamma \cong 0,26$			$\gamma = 0,46$		
	$\phi^* = 0,01$	$\phi^* = 0,02$	$\phi^* = 0,04$	$\phi^* = 0,01$	$\phi^* = 0,02$	$\phi^* = 0,04$
N^{**} Alto	-0,0821	-0,0611	-0,0489	-0,0975	-0,0725	-0,0579
N^{**} Baixo	-0,0969	-0,0665	-0,0506	-0,1148	-0,0788	-0,0599

Fonte: Elaboração do autor.

São observadas reduções no nível de bem-estar em todos os cenários, i.e., em cada contexto verificado, o consumidor estaria disposto a reduzir o seu nível de consumo privado em determinada proporção para evitar a mudança de temperatura. De forma equivalente, considerando o fluxo de utilidade na situação em que não ocorrem choques de temperatura, seria necessária uma redução no consumo privado para que o agente representativo obtenha o mesmo fluxo de utilidade alcançado na presença dos choques.

Como esperado, para um mesmo contexto de nível máximo de recursos naturais e utilização destes recursos, uma maior persistência do choque de temperatura está associada com maior redução no nível de bem-estar. Isso é consequência direta da maior quantidade de períodos necessária para que a temperatura retorne ao seu valor inicial.

Para um mesmo cenário de capacidade máxima dos recursos naturais e mesmo nível de persistência dos choques de temperatura, menores taxas de utilização dos recursos naturais renováveis estão associados com maiores reduções no nível de bem-estar. Como a menor utilização dos recursos naturais está associada – via calibração – a um maior peso relativo da conservação dos recursos naturais na utilidade, se os indivíduos forem mais favoráveis a conservação ambiental sofrerão mais impactos em termos de bem-estar gerados por um choque de temperatura.

Dentre as possíveis explicações para esse resultado está o impacto negativo da mudança de temperatura sobre a renovação dos recursos naturais via *damage function*. Mesmo com a redução observada na taxa de utilização dos recursos naturais, o choque de temperatura reduz a renovação do estoque de recursos naturais para os períodos seguintes. Isto gera uma redução indireta no estoque de recursos naturais conservados e, conseqüentemente, na

quantidade conservada afetando assim o nível de utilidade. Indícios deste modo de impacto podem ser observados na dinâmica entre a persistência do choque de temperatura e a redução no estoque de recursos naturais apresentados no Gráfico 3.

Finalmente, para mesmos níveis de uso de recursos naturais renováveis e persistência dos choques de temperatura, uma menor quantidade máxima de recursos naturais renováveis está associada com maiores reduções nos níveis de bem-estar.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho teve como objetivo mensurar os efeitos de crescimento e bem-estar gerados a partir de uma mudança temporária de temperatura para fora de seu valor padrão. Com este fim foi construído um modelo de equilíbrio geral que considera os efeitos benéficos da conservação de recursos naturais renováveis para os indivíduos e da utilização destes recursos para a atividade produtiva.

O modelo supõe que a renovação dos recursos naturais seja determinada pela quantidade desses recursos que são conservados ao fim de cada período, e conseqüentemente, admite a possibilidade de que o uso exagerado desses recursos possa causar a sua liquidação. A dinâmica dos recursos naturais renováveis incorpora um valor máximo para seu estoque, obtido quando não há interferência humana. Finalmente o modelo parte do pressuposto de que mudanças na temperatura afetem a produção e a renovação dos recursos naturais.

Como forma de verificar a robustez dos resultados, foram considerados diferentes comportamentos para o agente representativo sobre a utilização e conservação dos recursos naturais renováveis, níveis máximos desses recursos e graus de persistência das mudanças de temperatura.

A partir de uma redução no uso dos recursos naturais no momento do choque, são observados aumentos no estoque de recursos naturais renováveis. Contudo, a utilização desses recursos é majorada logo a seguir, reduzindo o estoque em até 0,03% em relação ao estado estacionário inicial. A economia experimenta uma queda no produto de aproximadamente 2%, cuja velocidade de recuperação é negativamente relacionada com o grau de persistência do choque de temperatura.

A mudança de temperatura gera reduções no nível de bem-estar em todos os cenários analisados. Os resultados indicam que na situação sem mudanças de temperatura o consumidor deve ter seu consumo reduzido entre 0,05% e 0,11% em cada período para que seu nível de utilidade seja equivalente ao obtido quando se considera os choques de temperatura. Contextos de maior consciência ambiental, menor quantidade máxima de recursos renováveis disponível e maior persistência da temperatura estão associadas com reduções de bem-estar mais pronunciadas.

REFERÊNCIAS

- ARBEX, M.; BATU, M. **Weather, Climate and the Economy: Welfare Implications of Temperature Shocks**. University of Windsor, Department of Economics, Working Paper No. 1707. 2018.
- ARBEX, M.; BATU, M. What if people value nature? Climate change and welfare costs. **Resource and Energy Economics**, v. 61, p. 101-176, 2020.
- ARBEX, M.; PEROBELLI, F. S. **Solow meets Leontief: Economic Growth and Energy Consumption**. Working Paper. 2008
- ARGENTIERO, A.; BOLLINO, C. A.; MICHELI, S. **Sustainable growth with renewable and fossil fuels energy sources: a DSGE approach**. In: Sustainable Energy Policy and Strategies for Europe, 14th IAEE European Conference, 2014 Anais. International Association for Energy Economics, 2014.
- BARRO, R. J. **Output effects of government purchases**. Journal of political Economy. v. 89, p. 1086-1121, 1981.
- BEZERRA, A. R.; PEREIRA, R. A. C.; CAMPOS, F. d. A. O.; CALLADO, M. d C. Efeitos de crescimento e bem-estar da recomposição dos investimentos públicos no Brasil. **Pesquisa e Planejamento Econômico** (Rio de Janeiro). v. 44, p. 579-607, 2014.
- BRASIL. RECEITA FEDERAL. **Carga Tributária no Brasil 2017: análise por tributo e bases de incidência**. Brasília: Secretaria da Receita Federal do Brasil. 2018.
- CAMPOS, F. d. A. O.; PEREIRA, R. A. C. Corrupção e ineficiência no Brasil: Uma análise de equilíbrio geral. **Estudos Econômicos** (São Paulo). v. 46, 373-408, 2016.
- CHAN, Y. T. On the impacts of anticipated carbon policies: A dynamic stochastic general equilibrium model approach. **Journal of Cleaner Production**, v. 256, p. 120-342, 2020.
- COOLEY, T. F.; PRESCOTT, E. **Economic growth and business cycles**. In: Frontiers of Business Cycles Research. Princeton Press. 1995.
- COOLEY, T. F.; HANSEN, G. Tax distortions in a neoclassical monetary economy. **Journal of Economic Theory**. v. 58, p. 290-316. 1992.
- DIAS, J. D. S.; ARAUJO, T. J. N. **Mudanças climáticas e impactos econômicos: avaliações para o Brasil**. In: V Seminário de Jovens Pesquisadores em Economia e Desenvolvimento, 2017, Santa Maria. Anais V Seminário de Jovens Pesquisadores em Economia e Desenvolvimento, 2017.
- FERREIRA, P. C.; NASCIMENTO, L. G. **Welfare and growth effects of alternative fiscal rules for infrastructure investment in Brazil**. EPGE 604. Fundação Getúlio Vargas, 2005. Ensaio Econômico.
- IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Contas Nacionais. Sistema de Contas Nacionais 2017**. 2019.

IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change. **Climate change 2014: synthesis report**. Geneva, Switzerland. 2014.

IPEA - INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA. Banco de Dados do Instituto de Pesquisa em Economia Aplicada. **Macroeconômico**. 2020. Disponível em <<http://www.ipeadata.gov.br/>>. Acesso em: 10 dez. 2020.

LUCAS, R. E. **Models of business cycles**. Oxford: Basil Blackwell, 1987.

NORDHAUS, W. D. **A Question of Balance: Weighing the Options on Global Warming Policies**. Yale University Press, 2008.

PEREDA, P. C. **Long-and short-run climate impacts on Brazil: theory and evidence for agriculture and health**. 2012. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

PEREIRA, R. A. C.; FERREIRA, P. C. Avaliação dos impactos macro-econômicos e de bem-estar da reforma tributária no Brasil. **Revista Brasileira de Economia**. v. 64. n. 2. p. 191-208, 2010.

PEREIRA, R. M.; GÓES, G. S. **Deforestation and environmental policy: a DSGE approach**. IPEA Discussion Paper n° 247. 2019.

RIEKHOF, M. C.; REGNIER, E.; QUAAS, M. F. Economic growth, international trade, and the depletion or conservation of renewable natural resources. **Journal of Environmental Economics and Management**, v. 97, p. 116-133, 2018.

SANTANA, P. J.; CAVALCANTI, T. V. d. V.; PAES, N. L. Impactos de longo prazo de reformas fiscais sobre a economia brasileira. **Revista Brasileira de Economia**. v. 66, p. 247-269. 2012.

SARAIVA, F. A. M.; PEREIRA, R. A. C.; GOMES, J. W. F.; BEZERRA, A. R.; LÚCIO, F. G. C. **Reformas Fiscais no Brasil: uma análise da EC 95/2016**. Série de Estudos Econômicos CAEN n° 18. 2017.

SILVA, Y. L. E.; SILVA, M.E.A. **Optimal Environmental Policy and Business Cycles: An analysis using an E-DSGE model**. In: 47° Encontro Nacional de Economia, 2019, São Paulo. Anais do 47° Encontro Nacional de Economia, 2019.

WORLD BANK - CLIMATE CHANGE KNOWLEDGE PORTAL. **Climate Data**. 2020. Disponível em: <<https://climateknowledgeportal.worldbank.org/download-data>>. Acesso em: 15 nov. 2020.

ANEXO A – ESTIMAÇÃO DA PERSISTÊNCIA DO CHOQUE DE TEMPERATURA

A estratégia de estimação da dinâmica de temperatura segue um processo autorregressivo de primeira ordem com intercepto e expandido para incorporar uma possível tendência ao longo dos anos. Desta forma temos:

$$T_t = \beta_0 + \gamma T_{t-1} + \beta_1 t + e_t$$

Onde T_t é a temperatura no período t , e_t é um ruído branco, t é o termo de tendência e γ é o parâmetro de interesse. Com o intuito de harmonizar as dinâmicas de temperatura estimada e utilizada nas simulações (16), uma possível tendência na temperatura encontrada na primeira será desconsiderada na segunda. Os dados sobre a temperatura média no Brasil entre 1920 e 1990 são obtidos pelo Portal de Conhecimento sobre Mudanças Climáticas (*Climate Change Knowledge Portal*) do Banco Mundial. A frequência mensal dos dados é transformada em anual a partir da média simples dos meses de cada ano. Ao considerar intercepto e tendência linear a hipótese nula da existência de raiz unitária na série de temperatura é rejeita (p -valor=0). Os resultados da estimação estão presentes na Tabela 6 a seguir:

Tabela 6 - Estimação do parâmetro de persistência do choque de temperatura

Variável dependente: T_t			
Intercep.		24,4287*	
		(0,1183)	
T_{t-1}		0,2617**	
		(0,1289)	
Tendência		0,0068*	
		(0,0019)	
R^2	0,3203	R^2 Ajust.	0,2898
Estat. F	10,5223	Estat. D-W.	1,9711

Fonte: Elaboração do autor. * p -valor<1%, ** p -valor<5%.

A persistência do choque de temperatura obtida é de aproximadamente 0,2617 para verificar a robustez dos resultados obtidos ao usar o valor de Arbex e Batu (2020). Finalmente, destaca-se que o correlograma dos resíduos não indica a presença de autocorrelações, enquanto a estatística Jarque-Bera indica que não é possível rejeitar a hipótese de normalidade dos resíduos.