

*Projeto IES – Brasil 2050*

*Implicações Econômicas e Sociais de Cenários de  
Emissão de Gases de Efeito Estufa – GEE no  
Brasil até 2050*

*Cenário de Referência e Cenário 1,5°C*

Centro de Estudos Integrados sobre Meio  
Ambiente e Mudanças Climáticas  
**Centro Clima/COPPE/UFRJ**

**Apoio:**

**Instituto Clima e Sociedade (iCS) e WWF-Brasil**

## CENTRO CLIMA/COPPE/UFRJ

**COORDENAÇÃO GERAL:** Emilio Lèbre La Rovere

**COORDENAÇÃO TÉCNICA:** Carolina B.S. Dubeux e William Wills

**MODELAGEM MACROECONÔMICA:** William Wills

### ESTUDOS SETORIAIS

**Setor de Transporte:** Márcio de Almeida D'Agosto, Daniel Neves Schmitz Gonçalves e George Vasconcelos Goes (Laboratório de Transporte de Carga –LTC/COPPE/UFRJ)

**Setor Industrial:** Otto Hebeda

**Setor Energético:** Amaro Olímpio Pereira Junior e Gabriel Castro

**Setor de Agricultura, Floresta e Outros Usos da Terra (AFOLU):** Michele Karina Cotta Walter, Carolina B.S. Dubeux e Isabella da Fonseca Zicarelli

**Setor de Resíduos:** Saulo Machado Loureiro e Tairini Pimenta

**Avaliação microeconômica:** Carolina Grottera

**Cobenefícios:** Daniel Oberling

**Integração dos Modelos Energéticos de Demanda:** Claudio Gesteira

**APOIO:** Carmen Brandão Reis

**EDITORAÇÃO:** Elza Maria da Silveira Ramos

**Citação:** *Wills, W. (2018). Implicações Econômicas e Sociais de Cenários de Emissão de Gases de Efeito Estufa no Brasil até 2050. In Rovere, E. L.L.; Wills, W.; Dubeux, C. B. S; Pereira Jr, A. O.; D'Agosto, M. A; Walter, M. K. C; Grottera, C.; Castro, G.; Schmitz, D.; Hebeda, O.; Loureiro, S. M.; Oberling, D; Gesteira, C.; Goes, G.V.; Zicarelli, I.F.; e Oliveira, T.J.P (2018). Implicações Econômicas e Sociais dos Cenários de Mitigação de GEE no Brasil até 2050: Projeto IES-Brasil, Cenário 1.5 ° C. COPPE / UFRJ, Rio de Janeiro, 2018.*

**PROJETO IES-Brasil – 2050**

**Centro de Estudos Integrados sobre Meio Ambiente e  
Mudanças Climáticas**

**(Centro Clima/COPPE/UFRJ)**

**Cenários de Emissão de GEE – 2050**

**(Referência e 1,5°C)**

**Implicações Econômicas e Sociais de Cenários de Emissão de  
Gases de Efeito Estufa no Brasil até 2050**

**Autor**

William Wills, D.Sc.

Rio de Janeiro, 21 de fevereiro de 2018



## Sumário

1.	Metodologia de Modelagem .....	1
2.	Elaboração do Cenário de Referência (REF) .....	9
2.1	População mundial .....	10
2.2	Atividade econômica mundial .....	11
2.3	Preço internacional do petróleo .....	12
2.4	População nacional .....	12
2.5	Evolução da produtividade do trabalho .....	13
2.6	Taxa de crescimento do PIB do Brasil no horizonte estudado .....	13
2.7	Divisão das famílias por classe de renda .....	14
2.8	Premissas setoriais .....	15
3	Elaboração do Cenário 1,5°C .....	19
4	Resultados e Discussão .....	21
5	Intensidade de emissões da economia e Intensidade de emissões per capita .....	30
6	Referências bibliográficas .....	33
ANEXO I – O MODELO IMACLIM-R BR .....		34
AI.1	– Base de dados .....	35
AI.2	– Determinantes dos efeitos macroeconômicos .....	41
AI.3	– Formulário .....	43
AI.3.1	Preço do produtor e preço ao consumidor – Geração de renda .....	44
AI.3.2	Contas dos setores institucionais .....	47
AI.3.2.1	Famílias .....	47
AI.3.2.2	Empresas .....	50
AI.3.2.3	Governo ou administração pública .....	51
AI.3.2.4	Resto do mundo .....	52
AI.3.3	As escolhas dos setores produtivos .....	53
AI.3.4	Consumo .....	55
AI.3.5	Comércio internacional .....	55
AI.3.6	Mercado de trabalho .....	56
AI.3.7	Equilíbrio dos mercados .....	57
Referências bibliográficas do Anexo I .....		59

## Tabelas

<b>Tabela 1.</b>	Definição das classes de renda no modelo IMACLIM-BR.....	15
<b>Tabela 2.</b>	Principais Indicadores Macroeconômicos.....	21
<b>Tabela 3.</b>	Postos de Trabalho por Setor Econômico (milhares).....	24
<b>Tabela 4.</b>	Renda real anual média per capita, por classe de renda (mil R\$ de 2015).....	25
<b>Tabela 5.</b>	Taxa de poupança das famílias, por classe de renda.....	26
<b>Tabela 6.</b>	Evolução da renda e do poder de compra das Famílias, por classe de renda (base 2015 = 1).....	27
<b>Tabela A1.</b>	Compatibilização dos setores das Contas Nacionais do IBGE com os setores da SAM	

## Figuras

<b>Figura 1.</b>	Fluxograma de informações na integração entre os modelos Setoriais (BU) e o modelo de equilíbrio geral IMACLIM-R BR .....	3
<b>Figura 2.</b>	Abordagem Metodológica: Diagrama da Modelagem Integrada .....	5
<b>Figura 3.</b>	Evolução da população mundial .....	11
<b>Figura 4.</b>	Taxa média de crescimento do PIB mundial .....	11
<b>Figura 5.</b>	População nacional (milhões) .....	12
<b>Figura 6.</b>	Crescimento do PIB (variação real anual – % a.a.) – Média histórica e projeção .....	14
<b>Figura 7.</b>	Trajatórias de Emissões de GEE do Brasil (em Mt CO <sub>2</sub> e) calculadas a partir do EGR, e para o exercício IES Brasil 2050 .....	19
<b>Figura 8.</b>	Indicadores selecionados (base 2005 = 1) .....	30
<b>Figura 9.</b>	Indicadores selecionados (base 2005 = 1) .....	31
<b>Figura A1.</b>	Estrutura da Matriz de Contabilidade Social para o Brasil.....	37

# Implicações Econômicas e Sociais de Cenários de Emissão de Gases de Efeito Estufa no Brasil até 2050

## 1. Metodologia de Modelagem

O modelo macroeconômico IMACLIM-BR (Wills, 2013) foi a base de construção da versão dinâmica IMACLIM-R BR utilizado na simulação do Cenário de Referência (REF) e do Cenário compatível com o objetivo de limitar o aumento médio da temperatura em até 1.5oC em relação aos níveis pré-industriais, tendo como horizonte final de estudo o ano 2050.

O modelo IMACLIM-R BR é um modelo de equilíbrio geral computável híbrido (CGE) projetado para analisar os efeitos macroeconômicos de políticas climáticas no médio e longo prazo, seja uma taxa de carbono ou um mercado de cotas de emissão de GEE, em uma estrutura de contabilidade casada em que os fluxos em valores monetários e físicos (com um foco especial no balanço energético) estão em equilíbrio.

O modelo IMACLIM-R BR utiliza informações top-down, como faz tradicionalmente um modelo CGE, e informações setoriais ou bottom-up. Essa abordagem combina dados de setores específicos da economia, como diferentes possibilidades tecnológicas para geração e uso de energia, ou processos produtivos (assim como seus custos, curvas de aprendizado, índices de penetração etc.) com informações acerca da estrutura da economia. Com isso, contorna-se o fato de que dados bottom-up não têm capacidade de responder adequadamente a mudanças macroeconômicas referentes a preços de energia, à evolução da produtividade do capital e trabalho e ao comércio exterior. Analogamente, dados puramente macroeconômicos altamente agregados não são capazes de prever, por exemplo, a flexibilidade tecnológica que permite aos setores da economia se ajustar às políticas climáticas no médio e longo prazo (Wills, 2013; Hourcade et al., 2006)

No caso do presente estudo, são projetados cenários que abrangem o período entre os anos de 2005 e 2050. A atual versão do IMACLIM-R BR parte daquela desenvolvida por Wills (2013), contando com algumas diferenças com relação à simulação das medidas de mitigação adotadas em políticas climáticas, ao detalhamento do módulo das famílias, pelo fato de levar em conta os efeitos sobre a competitividade internacional das principais indústrias da economia e, principalmente, por ser a primeira versão que incorpora uma simulação dinâmica recursiva.

Uma versão dinâmica recursiva simplificada do modelo IMACLIM-BR – agora denominada IMACLIM-R BR – foi desenvolvida para capturar essas especificidades dinâmicas em diferentes horizontes temporais.

Novos desenvolvimentos permitem a simulação de períodos com diferentes taxas médias de crescimento econômico, inovação tecnológica e requisitos de investimento, por exemplo. Em vez de uma simulação de uma etapa (para um único ano, por exemplo 2030) usando funções de produção CES calibradas em dados do passado (e que, portanto, não podem representar adequadamente uma fronteira de produção futura), a nova versão produz resultados a cada cinco anos.

Do ano-base do modelo (2005) ao presente (2015), a evolução econômica deve ser consistente com os indicadores macroeconômicos observados. A calibração do modelo deve ser ajustada de acordo com os dados existentes disponíveis nas Contas Nacionais, Balanço Energético, inventários de GEE, entre outros. Um segundo período (2016-2030) deve descrever estimativas de médio prazo razoavelmente confiáveis, considerando que nenhuma difusão maciça de novas tecnologias pode ocorrer e que apenas as políticas previstas serão implementadas, como aquelas constantes da Contribuição Nacionalmente Determinada do Brasil (NDC). Finalmente, um terceiro período (2031-2050) engloba uma maior incerteza, inerente a estimativas de longo prazo, levando em consideração as novas tecnologias, além de novos arranjos demográficos, políticos e sociais, afetando significativamente o consumo de energia e as emissões de gases de efeito estufa.

## **Integração entre o modelo IMACLIM-R BR (top-down) e os modelos setoriais (bottom-up)**

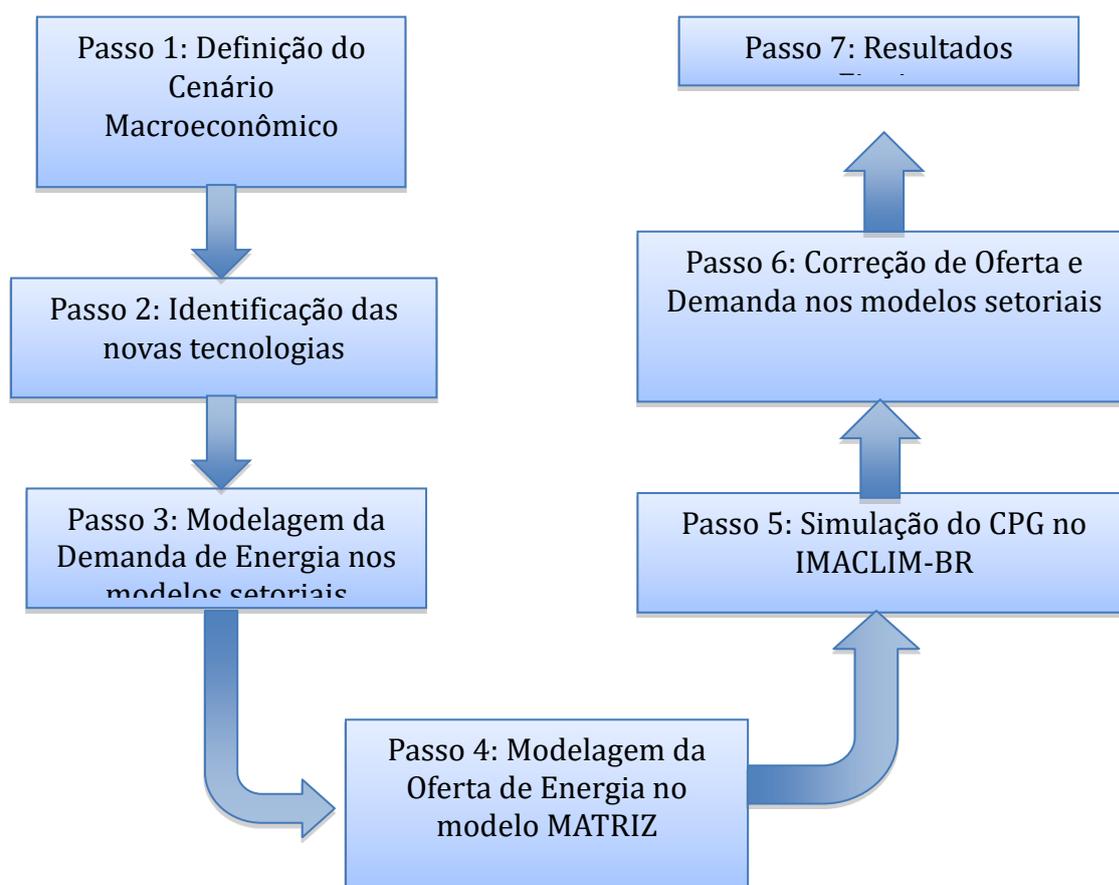
Na abordagem do IMACLIM-R BR, especialmente em cenários de mais longo prazo, como é o caso do horizonte deste estudo, 2050, a modelagem de diversas fronteiras de produção é necessária e possível – estas diferentes fronteiras de produção são consequências de diferentes vetores de preços relativos e das tecnologias disponíveis no longo prazo, apresentando assim um avanço em relação às fronteiras de produção estáticas, representadas por funções do tipo CES, que são calibradas em dados de diversas décadas no passado e por isso não conseguem representar uma fronteira de produção no futuro de forma adequada.

Com esta lógica em mente, o IMACLIM-R BR se utiliza de informações de especialistas e de modelos setoriais (Bottom-Up) para descrever as curvas de possibilidade de inovação relevantes para o presente estudo. A incorporação dessas informações setoriais no modelo IMACLIM-R BR se deu através da troca de informações de produção e consumo de energia, e das informações como os fluxos de caixa, investimentos totais no período, substituição de combustíveis, eficiência energética, e outros. Para cada setor tem-se uma lista das tecnologias que podem ser implementadas até o ano 2050, associando os custos de investimento e operação à troca de combustíveis, redução no consumo

de combustíveis ou de outros insumos. Com estas informações foi possível se alterarem no modelo de equilíbrio geral IMACLIM-R BR os coeficientes técnicos (consumo de combustíveis - trocas e redução de consumo, fertilizantes, capital, etc.) dos diferentes setores produtivos nos quais novas tecnologias foram identificadas pelos especialistas. Com isto foi possível se chegar a uma descrição detalhada da economia em 2050 após a implementação de todas as novas tecnologias selecionadas.

Como as novas tecnologias identificadas não foram inseridas no IMACLIM-R BR em valores absolutos, mas em termos de coeficientes técnicos, o modelo IMACLIM-R BR ajusta automaticamente o nível de investimento necessário e também as reduções/trocas nos consumos de combustíveis e outros insumos relevantes segundo a visão dos especialistas, mantendo a consistência entre o nível de atividade de cada setor e o potencial de redução de consumo de energia e de emissões de nova tecnologia incorporada no Cenário de Referência.

A figura a seguir apresenta o fluxograma de informações entre os modelos e as iterações que foram necessárias para se atingir um alinhamento adequado dos modelos.



**Figura 1.** Fluxograma de informações na integração entre os modelos Setoriais (BU) e o modelo de equilíbrio geral IMACLIM-R BR

- O primeiro passo foi o da definição do cenário macroeconômico, que teve como base o cenário da EPE (2015) para 2050, mas que teve suas taxas de crescimento reduzidas.
- O segundo passo consistiu no trabalho da equipe técnica no sentido de avançar no detalhamento e identificação de novas tecnologias que devem entrar até 2050.
- No terceiro passo as novas tecnologias foram inseridas nos modelos setoriais para que pudessem ser calculadas as demandas de energia por setor, que foram consolidadas no modelo LEAP.
- O quarto passo consistiu na simulação do modelo de oferta de energia MATRIZ, de forma a atender a demanda de energia a cada ano fornecida pelo modelo LEAP.
- No quinto passo foi realizada a calibração do modelo IMACLIM-R BR, tentando conciliar o cenário macroeconômico de base com os níveis de atividade setoriais e com a correta evolução dos coeficientes técnicos, passada pelos modelos setoriais.
- No sexto passo, os novos níveis de atividade de cada setor produtivo foram informados aos modelos setoriais, que então foram ajustados para aquela nova realidade macroeconômica, alinhando os níveis de oferta ao nível de demanda, e garantindo alinhamento em volumes físicos entre os diversos modelos setoriais, o modelo MATRIZ, e o modelo de equilíbrio geral IMACLIM-R BR.
- No sétimo passo foi feita a consolidação dos níveis de produção, consumo de combustíveis e emissões de gases de efeito estufa para se chegar aos resultados finais do projeto.

A Figura 2, a seguir, descreve esquematicamente a modelagem integrada utilizada neste estudo, que teve importante troca de informações e grande interação entre os modelos setoriais e o modelo macroeconômico IMACLIM-R BR (adaptado de Wills, 2013).



**Figura 2.** Abordagem Metodológica: Diagrama da Modelagem Integrada

Fonte: adaptado de Wills (2013)

A Figura 2 apresenta a forma de integração dos modelos, com ênfase especial para os modelos que calculam a demanda e oferta de energia, e o modelo IMACLIM-R BR, que é o modelo que efetivamente faz a integração entre todos os setores.

São contabilizadas todas as fontes de emissão de GEE, como Uso da Terra, Mudanças no Uso da Terra e Florestas (LULUCF); Agricultura e Pecuária; Produção e Uso de Energia (desagregado por setores: indústria, transportes, setor energético, residencial, serviços, agricultura); Processos Industriais e Resíduos.

O modelo IMACLIM-R BR retrata a economia brasileira de forma aberta: 19 setores produtivos (6 setores energéticos, 6 setores da indústria pesada, resto da indústria, agricultura e pecuária, construção, transporte de cargas, transporte de passageiros e serviços). O número de setores produtivos e sua agregação podem variar, segundo as questões a serem respondidas. Em relação ao

consumo final das famílias, optou-se por simular estes cenários do IES-Brasil com as famílias divididas em 6 classes de renda. Há a descrição das interações entre 4 setores institucionais (Famílias, Empresas, Governo e Resto do Mundo).

O IMACLIM-R BR<sup>1</sup> adota o enfoque de um modelo CGE neoclássico tradicional no que diz respeito à descrição das escolhas dos produtores e consumidores, porém a estrutura de descrição técnica dos sistemas produtivos foi especialmente projetada para facilitar a calibração com informações de modelos setoriais, com o objetivo de garantir grande realismo técnico mesmo em simulações de cenários com grande desvio em relação ao cenário de referência.

Em relação à demanda final, o modelo possui uma função de demanda com elasticidade-preço e elasticidade-renda, promovendo escolhas de consumo, a princípio, entre os 19 setores, com atendimento mínimo das necessidades básicas.

O modelo descreve detalhadamente a distribuição de renda primária e secundária entre os 4 setores institucionais, com foco no sistema fiscal e nas transferências do governo, o que é primordial para a simulação de diferentes formas de reciclagem das receitas oriundas de taxas de carbono, de forma a atingir diferentes objetivos concomitantes, como a redução de emissões, crescimento econômico e diminuição da desigualdade social.

O modelo foi desenvolvido para representar situações subótimas da economia brasileira, como por exemplo, através da representação da rigidez do mercado de trabalho, que é representada por uma curva de salários. A evolução do comércio exterior é representada através de elasticidades aos termos de troca, que vão se alterando no tempo de acordo com a variação do custo da produção doméstica em cada cenário.

Para calibrar o modelo no ano base, 2005, foi necessário construir uma matriz insumo-produto híbrida, e uma matriz de contabilidade social - SAM, para representar a economia brasileira e o sistema fiscal com grande detalhamento (Wills, 2013; Wills e Lefevre, 2012). O modelo é inovador devido à integração de informações setoriais ou bottom-up ao resto da economia através da estrutura de equilíbrio geral, top-down. Essa metodologia é uma opção interessante para avaliar os efeitos macroeconômicos de políticas climáticas especialmente se comparada à abordagem tradicional dos modelos de equilíbrio geral computável, que utilizam funções de produção com elasticidades de substituição constantes, cuja utilização é questionável para a simulação de taxas de carbono elevadas ou grandes desvios do cenário de referência.

---

<sup>1</sup> Informações mais detalhadas podem ser encontradas no Anexo I.

A elaboração da matriz insumo-produto híbrida passou por uma cuidadosa fase de ajustes de nomenclatura e manipulações de valores de forma a garantir uma total compatibilização das Contas Nacionais com o Balanço Energético. Um sistema de contabilidade dupla mantém essas duas matrizes (fluxos monetários e fluxos físicos) sempre ligadas através de uma terceira matriz, a matriz de preços, que é variável e endógena ao modelo. O sistema de contabilidade casada pode ser considerado a ponte que permite a comunicação e conciliação entre as duas visões parciais e complementares do mundo: a abordagem bottom-up e a abordagem top-down.

Para este estudo foi desenvolvida uma versão dinâmica recursiva simplificada do modelo IMACLIM-BR. Com este novo desenvolvimento, pode-se simular diferentes regimes de crescimento econômico e diferentes períodos de investimento, por exemplo. Foi implementada uma equação de evolução do capital dinâmica, onde o capital no tempo  $t+n$  é função do capital no tempo  $t$ , depreciado a uma determinada taxa, mais a necessidade de investimento do período  $n$ . Além disso, o modelo IMACLIM-BR também pode receber a cada ano informações sobre as tecnologias em atividade e as necessidades de investimento, vindas dos modelos setoriais. Assim, tem-se tanto a evolução do parque tecnológico, a dinâmica de capital e um bom detalhamento das necessidades de investimento, todas variáveis dependentes da trajetória percorrida, caracterizando um modelo CGE dinâmico recursivo.

Para este estudo foram simulados três regimes diferentes. O primeiro regime compreendeu o período entre 2005 e 2015, e foi importante para calibrar e atualizar o modelo para a realidade econômica vivida entre 2005 e 2015. Desta forma, o ano 2015 se torna ponto de partida para as simulações. O segundo período simulado foi o 2016-2030. Este período foi escolhido porque representa o ano final das NDCs brasileiras, e porque neste médio prazo nenhuma grande revolução tecnológica deve acontecer. O último período simulado foi o 2031-2050, período que já considera as novas tecnologias entrando de forma mais significativa, impactando consideravelmente no consumo de energia e nas emissões de gases de efeito estufa.

É importante ressaltar que o modelo IMACLIM-BR se encontra preparado para simular diferentes regimes de crescimento e investimentos a cada 5 anos, se for preciso<sup>2</sup>. Entretanto, devido à limitação de tempo, especialmente pela dificuldade de se executar sucessivas rodadas dos modelos

---

<sup>2</sup> Do ponto de vista do modelo IMACLIM-R BR, sua estrutura está agora preparada para trocar informações com os modelos setoriais a cada ano se for preciso. Entretanto, para isto, será necessário desenvolver os módulos setoriais em linguagem de programação compatível com o IMACLIM-R BR, a fim de tornar possível uma simulação integrada ano a ano.

setoriais - necessárias para as interações com o IMACLIM-BR, não foi possível aumentar o número de regimes de crescimento e investimento, de forma a se obterem cenários mais precisos.

A ferramenta de modelagem proposta se mostrou bastante completa e flexível para representar o comportamento de cada setor produtivo. A arquitetura integrada aqui apresentada, que teve como base aquela descrita em Wills (2013), serviu de base para o diálogo entre os atores interessados em encontrar uma trajetória de desenvolvimento para o país que alie crescimento econômico e diminuição da desigualdade social a uma menor intensidade de carbono da economia, superando algumas das limitações metodológicas encontradas em estudos anteriores.

## 2. Elaboração do Cenário de Referência (REF)

O cenário REF do projeto IES-Brasil 2050 se baseia em narrativas qualitativas de histórias de futuros plausíveis e pertinentes a partir de hipóteses sobre a evolução da economia brasileira, descritas no Plano Nacional de Energia - PNE 2050 (EPE, 2015). A partir da tradução dessas hipóteses em valores quantitativos para os dados de entrada dos modelos matemáticos IMACLIM-R BR (equilíbrio geral macroeconômico) e dos módulos setoriais, são projetadas as variáveis-chave descritivas da economia e calculadas as emissões de GEE de cada fonte.

De acordo com a abordagem da metodologia de cenários, as projeções não são previsões, ou seja, seu objetivo não é o de fornecer o futuro que se julga o mais provável. Além disso, o cenário REF construído pelo IES-Brasil 2050 foi um cenário exploratório, e não normativo, ou seja, para verificar quais as consequências resultantes das premissas selecionadas neste cenário, e não as formas de se chegar a um cenário mais desejado.

Como indicado anteriormente, cenário macroeconômico de base adotou premissas bem semelhantes às do Plano Nacional de Energia (PNE 2050) quanto à estrutura econômica, entretanto, considerou taxas de crescimento um pouco menores, cujo detalhamento se dará mais à frente. Este plano setorial governamental é o de mais longo prazo, abrangendo todo o período de análise, até o horizonte de 2050. Adicionalmente, se baseia em taxas elevadas de crescimento econômico mundial e da economia brasileira, pressupondo o sucesso das políticas públicas aplicadas para superar a crise econômica. Constitui, portanto, uma referência apropriada para uma análise comparativa de cenários de mitigação visando identificar implicações econômicas e sociais da adoção de medidas de mitigação de emissões.

Dentro deste quadro macroeconômico de referência, o Cenário de Referência considerado neste estudo seria semelhante a um “Plano Governamental”, pressupondo a implantação dos planos setoriais governamentais, o PNE 2050 e o de outros setores, inclusive os Planos Setoriais de Mitigação e as NDCs com horizonte 2030 apresentadas na COP 21 em Paris, de acordo com a sua factibilidade, discutida extensivamente nas reuniões do Comitê de Elaboração de Cenários (CEC).

Diferentemente de alguns estudos anteriormente mencionados, este cenário não é o de uma linha de base sem nenhuma mitigação de emissões de GEE (“business as usual”). Trata-se de um cenário que incorpora as políticas e medidas já decididas e em implantação no país. Não são incluídas, porém, medidas de mitigação adicionais às já estabelecidas nas políticas governamentais, projetando-se apenas a continuidade de sua execução após 2030, até o ano 2050.

## Premissas

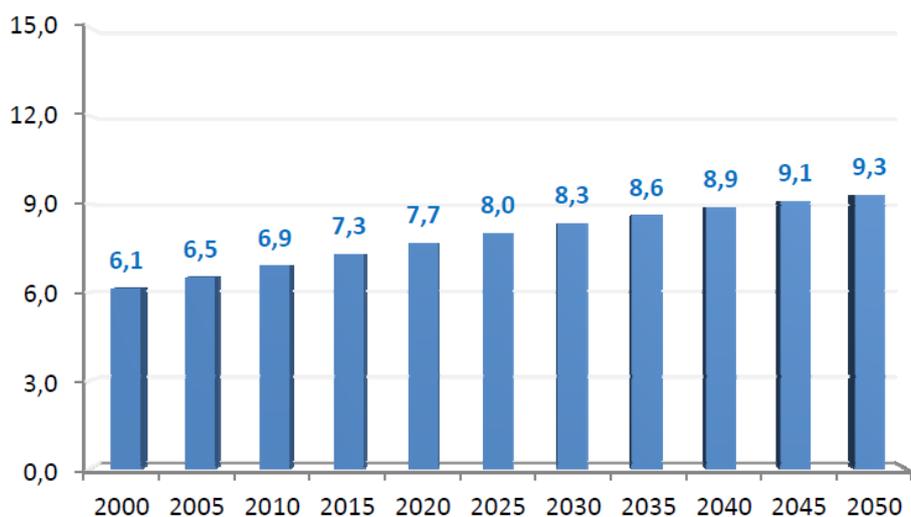
Esta seção apresenta o conjunto de premissas utilizadas na calibração dos modelos setoriais e do modelo macroeconômico IMACLIM-BR. Algumas premissas são comuns a todos os cenários, enquanto outras são válidas apenas para o Cenário de Referência, sendo, nos cenários de mitigação adicional, resultados decorrentes das políticas implementadas. O modelo macroeconômico IMACLIM-BR foi calibrado de forma a atingir os valores mais próximos possíveis dos números fornecidos nesta seção.

Atualmente, o Brasil enfrenta uma das recessões mais graves da história. O PIB caiu 7,5% nos últimos três anos. Em 2017, o PIB brasileiro deverá aumentar apenas cerca de 0,5%, perto da estagnação e, no final de fevereiro de 2017, a taxa de desemprego tinha atingido 12,6%, o que representa cerca de 12,9 milhões de trabalhadores. É necessário um grande rearranjo da economia para retomar o crescimento econômico sustentado, o que só é projetado a partir de 2020. Com esta nova tendência em mente, reduzimos as projeções pré-crise de alto crescimento econômico feitas pelo governo e usadas para projetar a NDC brasileira. No Cenário de Referência (REF), a nova taxa de crescimento anual média assumida para o período 2015-2050 é agora de 2,8% ao ano, apenas ligeiramente superior à média dos últimos 35 anos. Em 2030, o PIB per capita brasileiro chegaria ao nível atual de países de maior renda média da América Latina e Europa Oriental, Argentina, Hungria e Polônia e, até 2050, alcançaria os níveis atuais de Portugal e da República Tcheca.

O cenário macroeconômico utilizado na modelagem do projeto IES-Brasil foi construído com base em estudos prospectivos oficiais empreendidos pela Empresa de Pesquisa Energética, em especial os relatórios do Plano Nacional de Energia 2050 (PNE 2050). O relatório “Cenário Econômico 2050” (Nota Técnica DEA XX/15) (EPE, 2015), divulgado em setembro de 2015 fornece a maioria das variáveis incorporadas no modelo, complementado pelo relatório “Demanda de Energia 2050” (Nota Técnica DEA 13/15) (EPE, 2016) e por contribuições específicas dos membros do CEC. O PNE 2050 fornece prospecções de longo prazo até o ano de 2050, contando com dados para os anos intermediários divididos em períodos quinquenais, incorporados na modelagem.

### 2.1 População mundial

A população mundial cresce a uma taxa média de 0,8% a.a., chegando a 8,3 bilhões de pessoas em 2030 e 9,3 bilhões de pessoas em 2050. O crescimento mais expressivo se dá nos países em desenvolvimento, em especial na África e Ásia.

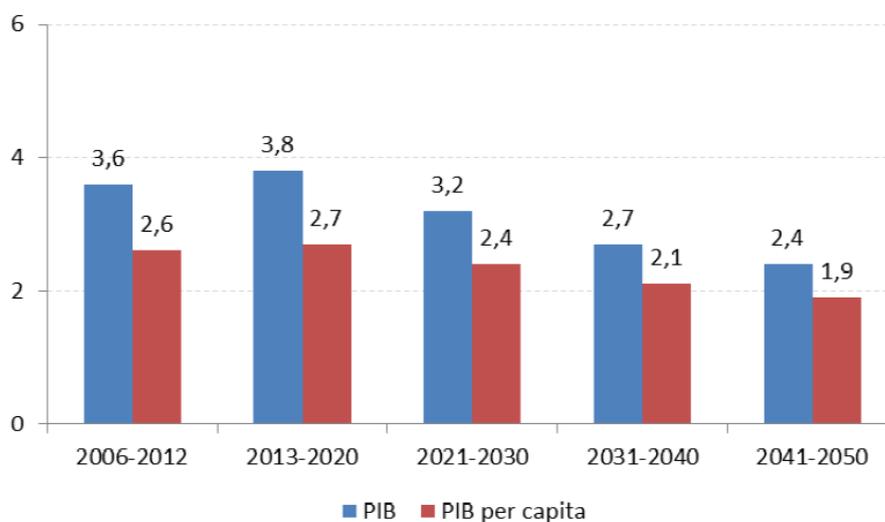


**Figura 3.** Evolução da população mundial

Fonte: EPE (2015)

## 2.2 Atividade econômica mundial

O nível de atividade econômica mundial evolui de forma acelerada no período entre 2013 e 2020, apresentando uma média de 3,8% a.a., puxado pelo crescimento das economias emergentes, ao passo que os países desenvolvidos se recuperam da crise econômica iniciada em 2008/2009. Após 2020, verifica-se uma desaceleração do crescimento, em função do arrefecimento nas taxas de crescimento da China e de outros países emergentes. Durante o período 2021-2030, estima-se que o PIB mundial cresça a 3,2% a.a., durante o período 2031-2040, estima-se que o PIB mundial cresça a 2,7% a.a., e durante o período 2041-2050, estima-se que o PIB mundial cresça a 2,4% a.a..



**Figura 4.** Taxa média de crescimento do PIB mundial

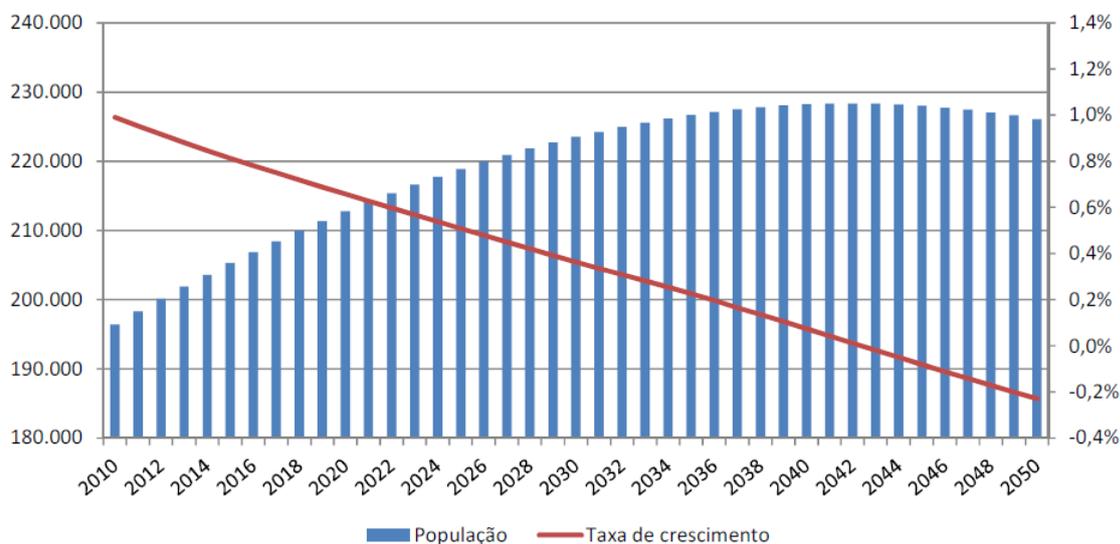
Fonte: EPE (2015)

## 2.3 Preço internacional do petróleo

Foi fornecida pelo CEC a estimativa para o preço do barril de petróleo, estando a mesma em linha com as projeções do PNE 2050. Durante todo o período 2016-2050, o preço do barril de petróleo (Brent) gira em torno de 85 US\$/barril (preços constantes de 2013). Dentre os determinantes para o nível apontado destacam-se: i) recuperação do crescimento econômico mundial; ii) maturação de projetos de E&P de petróleo e gás (particularmente com recursos não-convencionais); iii) pico de produção do *shale/tight oil* norte-americano, estimado em torno de 2020; iv) aumento da competitividade de outras fontes substitutas (incluindo fontes renováveis e o gás natural não convencional, sobretudo *shale/tight gas*); v) redução da participação do papel do petróleo como ativo financeiro especulativo e vi) gradual elevação da eficiência energética e da substituição por outras fontes.

## 2.4 População nacional

Estima-se uma intensificação da tendência de desaceleração da taxa de crescimento populacional brasileira, função de menores taxas de fecundidade, que já vem sendo observada nas últimas décadas. Em 2030, a população atinge o patamar de 223 milhões de pessoas (IBGE, 2014).



**Figura 5.** População nacional (milhões)

Fonte: EPE (2015), a partir de IBGE (2014)

## 2.5 Evolução da produtividade do trabalho

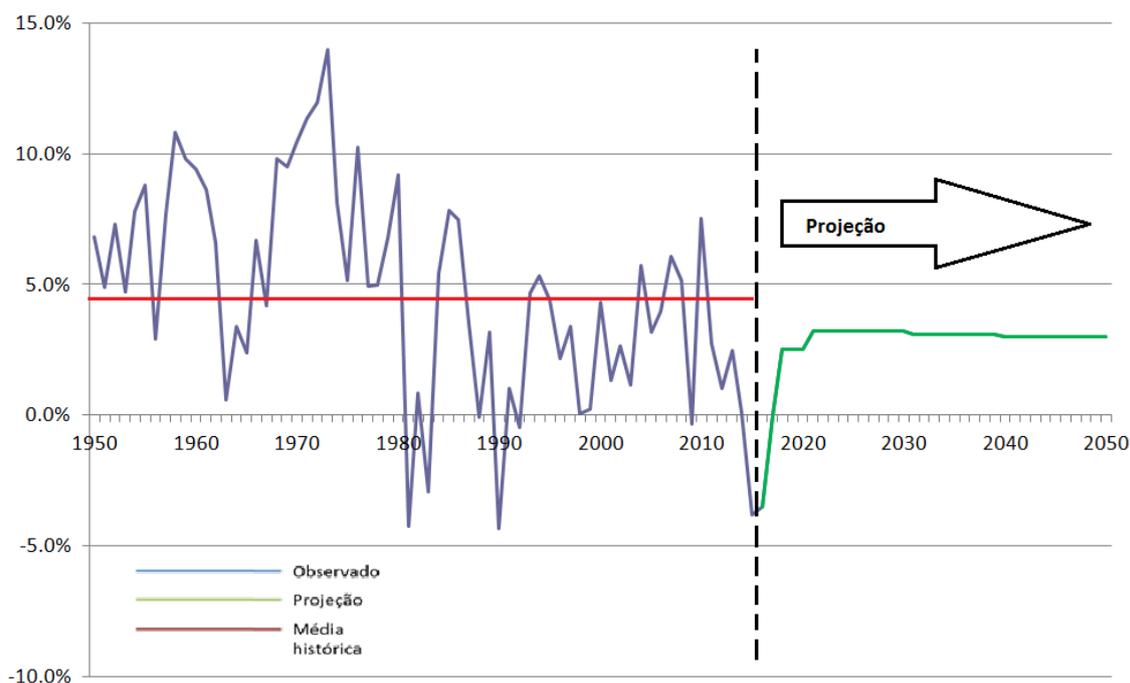
O Cenário de Referência possui como uma de suas premissas que o Brasil continuará a diminuir a desigualdade de renda entre as diferentes classes de renda, assim irá aumentar investimentos em educação, de forma a aumentar a competitividade brasileira. O aumento de renda e o maior investimento em educação contribuem para tornar a mão-de-obra mais qualificada e, portanto, mais produtiva. A hipótese utilizada no IMACLIM-R BR de evolução da produtividade média do trabalhador por setor é condizente com o crescimento da produção setorial apresentado no PNE 2050.

## 2.6 Taxa de crescimento do PIB do Brasil no horizonte estudado

O cenário macroeconômico doméstico é caracterizado pela redução do "Custo Brasil" a partir da melhoria da infraestrutura, contribuindo para a redução de custos de transporte e aumento da competitividade dos setores produtivos. Esperam-se também avanços no âmbito educacional, com maiores investimentos nesta área, parte deles oriunda das receitas de exploração de petróleo na camada do Pré-Sal, além de uma reforma da previdência, de modo a estabilizar os gastos em relação ao PIB nos padrões de 2005. Estas políticas contribuem para uma maior produtividade geral da economia brasileira.

Em termos de política econômica, espera-se que o país mantenha o chamado tripé macroeconômico, baseado em câmbio flutuante, metas de inflação e de superávit primário.

Desta forma, estima-se que o Brasil crescerá a taxas mais baixas do que a média mundial até 2020, quando sairia da atual crise. Entre 2021 e 2030, colhendo os frutos das reformas iniciadas no final da década anterior, o Brasil cresceria na média do resto do mundo: 3,2% a.a.. Nas duas últimas décadas do estudo o Brasil diminuiria um pouco o ritmo de crescimento, mas ainda assim cresceria mais rapidamente que o resto do mundo, entre 2031 e 2040 o Brasil cresceria a 3.1% a.a e entre 2041-2050 cresceria 3% a.a. A figura 6 apresenta a taxa de crescimento real do PIB entre 1950 e 2015 e a projeção de crescimento entre 2016 e 2050.



**Figura 6.** Crescimento do PIB (variação real anual – % a.a.) – Média histórica e projeção

Fonte: Elaboração própria a partir de IPEADATA (2016), BACEN (2016), e EPE (2015)

O nível de desigualdade de renda, que caiu entre 2000 e 2010, volta a subir entre 2015 e 2020, fruto da crise econômica bastante profunda, embora não chegue aos níveis observados no começo dos anos 2000. A partir de 2021, com um crescimento econômico mais elevado, com a melhoria progressiva do nível educacional da população, e com a tendência de formalização do trabalho, a desigualdade no país vai se reduzindo lentamente até o final do horizonte estudado, chegando em 2050 a um coeficiente de Gini de 0.45, aproximando-se em do nível observado em 2005 em alguns países europeus menos ricos, como é o caso de Portugal.

O PNE 2050 não fornece projeções acerca do nível da **taxa de câmbio** da economia. Considerou-se neste estudo, com respaldo do CEC, uma paridade nominal de 3,15 R\$/US\$ constante durante o período analisado (ambas as moedas em valores de 2015).

## 2.7 Divisão das famílias por classe de renda

Embora não configure uma premissa, mas sim uma funcionalidade/recurso do modelo que enriquece a análise socioeconômica, é relevante mencionar como foi realizada a divisão do setor das famílias em classes de renda na calibração do modelo. A partir dos microdados da PNAD (Pesquisa Nacional por Amostragem Domiciliar), do IBGE, foi possível separar as famílias em 10 decis, desde os

10% mais pobres, até os 10% mais ricos. Esses 10 decis foram agregados em 6 classes de renda, conforme tabela abaixo.

**Tabela 1.** Definição das classes de renda no modelo IMACLIM-BR

Classe	% das Famílias incluídas na classe
Classe 1	10% mais pobres
Classe 2	20% seguintes
Classe 3	20% seguintes
Classe 4	20% seguintes
Classe 5	20% seguintes
Classe 6	10% mais ricos

Fonte: Elaboração própria

A modelagem analisa como variam a renda e o consumo médio das famílias presentes em cada classe de renda, mantendo-se constante a proporção de pessoas com relação à população total de cada estrato. Para os diferentes cenários analisados, o modelo encontra a alteração da renda média e do consumo de cada um destes grupos.

As Contas Econômicas Integradas (CEI/IBGE) para o ano-base mostram um nível de poupança bastante discrepante para as seis classes de renda: apenas as classes mais ricas apresentam poupança positiva<sup>3</sup>.

Durante o horizonte estudado, é esperado que com melhorias nos níveis educacionais e menores disparidades entre trabalhadores de diferentes níveis de qualificação, haveria uma redução na desigualdade da renda proveniente do trabalho. Assim, os trabalhadores de classes de renda mais baixas conseguiriam melhorar seu nível de poupança com relação ao nível de renda, reduzindo também as disparidades de poupança entre classes de renda.

## 2.8 Premissas setoriais

A solução de gargalos, a redução das desigualdades sociais e o aumento na produtividade dos fatores (trabalho, capital, terra), além da maior renda *per capita*, contribuem para alterar o perfil de participação dos setores na economia.

Há continuidade da perda de participação da indústria de base na economia, em prol da expansão de outros setores. Tendo em conta a alta vantagem comparativa da agropecuária brasileira frente ao resto do mundo e a manutenção da alta no preço das *commodities* agrícolas, este setor aumenta sua participação na economia brasileira no período analisado. Além do setor agropecuário,

---

<sup>3</sup>É possível que tamanha discrepância no nível de poupança esteja superestimada. Isto ocorre porque muitas das famílias mais pobres pertencem ao setor informal, ou seja, sua renda está subestimada, não sendo captada adequadamente pelas estatísticas oficiais.

os setores de Petróleo, Gás Natural, Eletricidade, Biomassa para energia, Papel e Celulose e Mineração crescem mais do que o restante da economia, por terem vantagens comparativas naturais frente o resto do mundo.

### 2.8.1 Agropecuária

Projeta-se uma taxa de crescimento do setor agropecuário acima da taxa de crescimento do PIB. Os determinantes pelo lado da demanda são o crescimento da população, tanto brasileira quanto mundial, e da renda. Além disso, espera-se a expansão do uso de biocombustíveis, que utilizam como matéria-prima bens agrícolas como cana-de-açúcar, soja e palma, no caso brasileiro. Considera-se que o setor tem capacidade de atender à demanda crescente, tendo em vista as condições favoráveis com relação a clima, disponibilidade de terras e tecnologia. Ressalta-se que são projetados expressivos aumentos de produtividade para as principais atividades agrícolas e de criação de animais.

### 2.8.2 Indústria

Algumas premissas referentes ao setor industrial devem ser destacadas, especialmente nas indústrias intensivas em energia e emissões.

#### *Cimento*

A indústria de cimento caracteriza-se pela baixa concorrência internacional, uma vez que este produto apresenta uma relação entre valor agregado e peso específico baixa, tornando seu transporte desinteressante. De forma geral, a produção de cimento acompanha a expansão dos setores de construção civil e infraestrutura. No cenário utilizado na modelagem, esta indústria cresce a uma média de 5,3% a.a. entre 2005 e 2050.

#### *Siderurgia*

Assim como a indústria de cimento, a indústria siderúrgica geralmente acompanha a expansão dos setores de construção civil e infraestrutura, embora também seja determinada pelo desenvolvimento da indústria automobilística e de bens de capital. Entretanto, a indústria siderúrgica está mais exposta à concorrência internacional do que a de cimento, ainda que se apresente razoavelmente competitiva no cenário mundial. Projeta-se um crescimento médio abaixo daquele esperado para o resto da economia.

### *Metais não-ferrosos*

Dentre os metais não-ferrosos, destaca-se o alumínio, indústria altamente intensiva em energia elétrica. Seu desenvolvimento acompanha a expansão de setores como construção civil, transportes e embalagens. Para o caso específico do alumínio primário, projeta-se um crescimento médio abaixo do resto da economia no período analisado, considerando que este elemento possui alguns substitutos como cobre, magnésio e titânio.

### *Papel e Celulose*

O setor de papel e celulose no Brasil apresenta boa vantagem comparativa com relação ao resto do mundo. Entretanto, seu desempenho depende da economia global, já que mais da metade da produção brasileira é destinada à exportação. Projeta-se um crescimento da produção de celulose maior do que o da produção de papel, embora o consumo per capita de papel cresça consideravelmente no período. Desta forma, conta-se com maiores níveis de exportação de celulose no horizonte analisado.

De forma geral, estima-se um crescimento médio do setor de papel e celulose acima do restante da economia no horizonte de tempo do estudo.

### *Indústria Química*

A indústria química brasileira caracteriza-se por sua heterogeneidade e pela alta dependência externa. No PNE 2050, são analisados três ramos específicos: petroquímica, fertilizantes e soda-cloro. O setor de fertilizantes é responsável por um aumento expressivo da produção química no país, relacionado à expansão do setor agropecuário, embora se espere uma expansão expressiva dos outros setores. Para o setor petroquímico, a perspectiva é de crescimento impulsionado por suas possibilidades de aplicação nos setores de construção civil, automotivo, têxtil e de embalagens. Já o segmento de soda-cloro é relevante pelo alto custo que a energia elétrica representa em seu processo produtivo. Estes produtos são fundamentais para a produção de químicos e farmacêuticos de alta relevância comercial, bem como na construção civil e no setor de papel e celulose.

O crescimento médio projetado para o setor químico fica abaixo do restante da economia no período estudado.

### *Indústria automotiva*

O crescimento real da renda per capita e a maior taxa de urbanização contribuem para aumentar a demanda por serviços de transporte de carga e passageiros, com destaque para veículos leves individuais, alavancando a indústria automotiva do país. Também é importante mencionar a

importância deste setor na economia, uma vez que ela emprega uma parcela considerável da mão-de-obra disponível.

Com o crescimento da frota de veículos leves, há elevação da taxa de motorização, que se aproxima dos padrões observados em alguns países da OCDE.

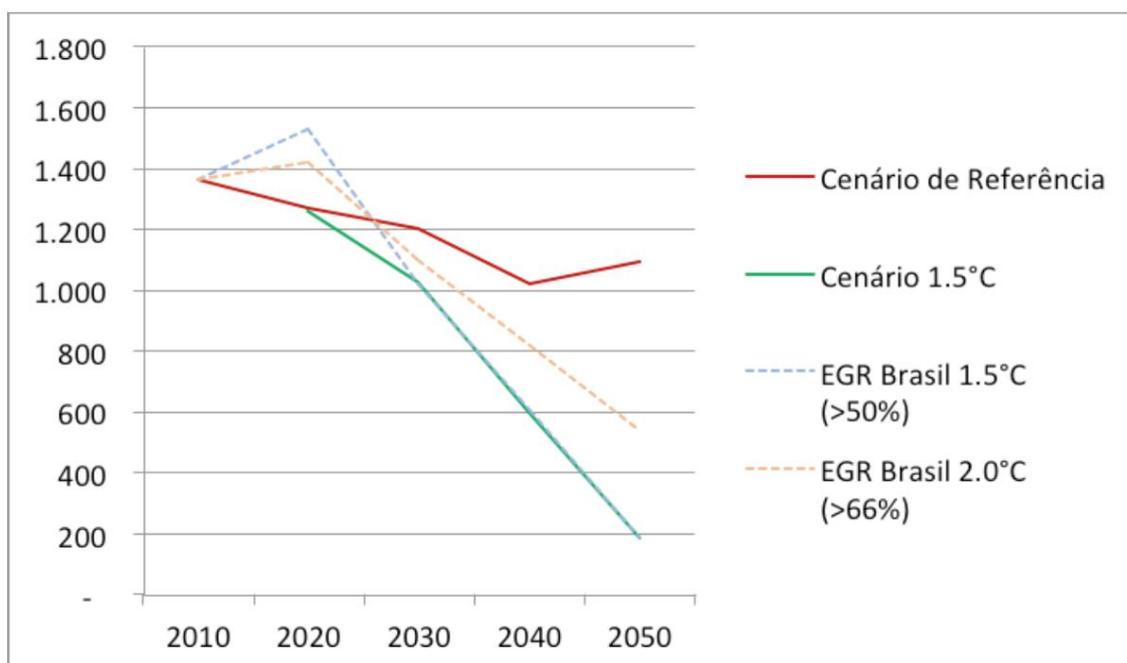
### **2.8.3 Serviços**

De forma geral, o setor de Serviços apresenta a tendência de aumentar sua participação na economia. No caso do Brasil, o setor já representa uma parcela expressiva do PIB, porém conta com baixa qualificação da mão-de-obra e baixa produtividade.

Avanços nos setores de transportes e a maturação de investimentos em infraestrutura e logística, além da expansão do setor de turismo, contribuem para a dinamização do setor de serviços como um todo, entretanto, no presente cenário, este setor cresce menos que alguns setores com claras vantagens comparativas com o resto do mundo, conforme explicado anteriormente.

### 3 Elaboração do Cenário 1,5°C

De acordo com o Emissions Gap Report (EGR) publicado pelo PNUMA (UNEP), para se ter 50% de probabilidade de atingir a meta de limitar o aquecimento global a 1,5 °C, as emissões globais de GEE deverão ser inferiores a 8 GtCO<sub>2</sub>e em 2050, em um mundo com quase 10 bilhões de habitantes limitando suas emissões médias de GEE a 0,82 toneladas de CO<sub>2</sub>e per capita. Segundo o IBGE, a população brasileira atingirá 226 milhões de habitantes em 2050, e se usarmos o critério de uma emissão per capita igual para todos, em um hipotético cenário brasileiro de 1,5°C as emissões de GEE brasileiras deveriam ser limitadas a 186 MtCO<sub>2</sub>e em 2050 e suas emissões acumuladas de GEE 2010-2050 consistentes com a trajetória de emissão de GEE de 1,5 °C, inferida a partir do EGR. Na Figura 7 abaixo, as trajetórias compatíveis com os objetivos de 1,5 °C e de 2 °C, estimadas a partir do EGR são apresentadas (linhas pontilhadas), juntamente com o Cenário de Referência e com o Cenário 1,5 °C desenvolvidos para o Brasil (linhas sólidas).



**Figura 7.** Trajetórias de Emissões de GEE do Brasil (em Mt CO<sub>2</sub>e) calculadas a partir do EGR, e para o exercício IES Brasil 2050

Fonte: Elaboração própria

O Cenário 1,5 °C mantém o mesmo pressuposto inicial de crescimento do PIB que no REF, e para conseguir uma descarbonização suficientemente profunda, incluímos diversas medidas adicionais de mitigação (proteção das florestas, agricultura e pecuária de baixo carbono, produção e

uso de biomassa de alta eficiência, geração de eletricidade de fontes renováveis, veículos elétricos, e mudanças modais para ferrovias e vias navegáveis no setor de transporte), juntamente com a introdução de uma taxa de carbono incidente sobre a queima de combustíveis fósseis.

No cenário de Referência, apesar de termos um crescimento significativo do PIB e do PIB per capita, em 2030 as emissões totais representam pouco mais de 40% das de 2005 e as emissões per capita são cerca de um terço das de 2005, ilustrando que o Cenário de Referência não é um cenário do tipo “business as usual”, e que as metas da NDC brasileira até 2030 são ambiciosas. No entanto, se políticas de mitigação adicional não forem implementadas, a partir de 2030 as emissões totais de gases de efeito estufa irão retomar o crescimento e chegar a 1,48 GtCO<sub>2</sub>e em 2050. No Cenário 1,5°C, são necessárias medidas adicionais de mitigação para reduzir as emissões de GEE brasileiras, atingindo em 2050 um nível 87% menor do que no REF (0,187 contra 1,09 GtCO<sub>2</sub>e). Este cenário pode ser considerado compatível com um aumento de temperatura global de 1,5 °C, pois as emissões são coincidentes com as da trajetória EGR Brasil de 1,5°C apresentada na Figura 7.

Assim, extensas medidas de mitigação foram modeladas pelos modelos setoriais, e essas informações foram passadas para o modelo IMACLIM-R BR, tanto em termos dos investimentos totais necessários por período, como em termos de variação de consumo de energia (eficiência energética e troca de combustíveis), e em termos de emissões de GEE. Dessa forma, o modelo IMACLIM-R BR simulou a implantação destas medidas no Cenário 1,5°C e trouxe como resultado os impactos macroeconômicos e sociais relativos à implementação de tal cenário.

## 4 Resultados e Discussão

O Cenário 1,5°C mantém o mesmo pressuposto inicial de crescimento do PIB que no REF, e para conseguir uma descarbonização suficientemente profunda, consideramos extensas medidas adicionais de mitigação (proteção das florestas, agricultura e pecuária de baixo carbono, produção e uso de biomassa de alta eficiência, geração de eletricidade de fontes renováveis, veículos elétricos, e mudanças modais para ferrovias e vias navegáveis no setor de transporte), juntamente com a introdução a partir de 2021 de uma taxa de carbono de 100 US\$/ t CO<sub>2</sub>e, incidente sobre a queima de combustíveis fósseis.

A Tabela 2, a seguir, apresenta os resultados dos dois cenários, comparando o crescimento do PIB, PIB per capita, investimentos, balança comercial, postos de trabalho, entre outros indicadores macroeconômicos.

**Tabela 2.** Principais Indicadores Macroeconômicos

	Cenário	2005	2015	2030	2050
<b>População (Milhões)</b>		185	204	223	226
<b>PIB (Trilhões de R\$2015)</b>	REF	4,52	5,60	8,99	14,71
	1,5°C			8,88 (-1,2%)	14,56 (-1,0%)
<b>Crescimento anual do PIB desde 2005 (% a.a.)</b>	REF	-	2,14	2,79	2,66
	1,5°C			2,74	2,64
<b>Taxa de Investimento (% do PIB)</b>	REF	15,5%	16,4%	17,6%	18,6%
	1,5°C			18,7%	20,4%
<b>Investimentos Totais (Trilhões de R\$2015)</b>	REF	0,70	0,92	1,58	2,74
	1,5°C			1,66	2,97
<b>Postos de Trabalho (milhões)</b>	REF	91,2	99,8	115,7	111,3
	1,5°C			115,3	110,7
<b>Taxa de Desemprego (%)</b>	REF	9,9%	8,5%	9,1%	7,5%
	1,5°C			9,5%	7,9%
<b>PIB per capita (mil R\$2015)</b>	REF	24,4	27,4	40,3	65,1
	1,5°C			39,8	64,4
<b>Saldo da Balança Comercial (Bilhões de R\$2015)</b>	REF	166	242	435	811
	1,5°C			110	379
<b>Saldo da Balança Comercial (% PIB)</b>	REF	3,7%	4,3%	4,8%	5,5%
	1,5°C			1,2%	2,6%
<b>Exposição ao Comércio Exterior (X+M)/PIB</b>	REF	0,272	0,285	0,292	0,338
	1,5°C			0,244	0,303
<b>Índice de preços acumulado desde 2015</b>	REF			8,8%	15,1%
	1,5°C			46,9%	42,0%
	REF	-	-	-	-

	Cenário	2005	2015	2030	2050
<b>Taxa de Carbono sobre as emissões da produção e uso de energia (US\$/tCO<sub>2</sub>e)</b>	1,5°C	-	-	100	100
<b>Investimentos Totais em Mitigação Adicional nos Períodos 2021- 2030 e 2031 - 2050 (Bilhões de R\$2015) <sup>4</sup></b>	REF	-	-	-	-
	1,5°C	-	-	112,6	2016,4
<b>Emissões Totais (Mt CO<sub>2</sub>e)</b>	REF	2838	1701	1200	1088
	1,5°C			1027	187
<b>Emissões per capita (tCO<sub>2</sub>e/capita)</b>	REF	15,3	8,3	5,4	4,8
	1,5°C			4,6	0,8
<b>Emissões por PIB (tCO<sub>2</sub>e/milhões de US\$ de 2015)</b>	REF	460	304	133	74
	1,5°C			116	13

Fonte: Elaboração própria

A hipótese de população utilizada neste estudo partiu das projeções feitas pelo IBGE (2014). Segundo o IBGE, a população brasileira que era de 185 milhões de habitantes em 2005 e de 204 milhões de habitantes em 2015, continua crescendo, atingindo 223 milhões de habitantes em 2030 e atingindo seu ápice no começo da década de 2040, quando chega a 227 milhões de habitantes. Após 2042 a população vai reduzindo lentamente, até atingir o número de 226 milhões de habitantes em 2050.

Devido à atual conjuntura e revisão do potencial de crescimento do Brasil no longo prazo, e no papel do país no comércio internacional, o cenário aqui proposto simula taxas de crescimento do PIB menores que no projeto IES-Brasil 2030<sup>5</sup>. Entretanto as expectativas de crescimento da população ativa e do aumento da produtividade média do trabalho continuam levando a um crescimento significativo do Produto Interno Bruto.

Apesar do crescimento populacional observado no período estudado, como o PIB cresce significativamente mais rápido que a população, o PIB per capita também apresenta importante crescimento no período simulado no Cenário de Referência. O PIB per capita, que em 2005 foi de 24,4 mil reais passou a 27,4 mil reais em 2015. Em 2030 é esperado que o PIB per capita chegue a 38,8 mil reais e em 2050 a 65,8 mil reais (valores expressos em reais de 2015). Nos dois cenários, em 2030, o PIB per capita brasileiro chegaria ao nível atual de países de maior renda média da América Latina, como Argentina, e da Europa Oriental, como Hungria e Polônia, e alcançaria os níveis atuais de Portugal e da República Tcheca até 2050.

<sup>4</sup> Ver detalhes no relatório de microeconomia do projeto IES-Brasil 2050: Grottera, C. (2018). Custos de Mitigação até 2050 no Cenário de 1,5°C. Disponível em [www.centroclima.coppe.ufrj.br](http://www.centroclima.coppe.ufrj.br)

<sup>5</sup> Ver resultados em [www.centroclima.coppe.ufrj.br](http://www.centroclima.coppe.ufrj.br)

O PIB total foi ligeiramente reduzido em 2030 (-1.2%, de R\$ 8,99 trilhões em 2015 para R\$ 8,88 trilhões em 2030), e em 2050 (-1,0%, de R\$ 14,71 trilhões em 2015 para R\$ 14,56 trilhões em 2050) no Cenário 1,5°C em comparação com o Cenário de Referência. Mas a queda na taxa média anual de crescimento do PIB seria apenas de 2,79% para 2,74% a.a. em 2021-2030 e de 2,66% para 2,64% a.a. em 2031-2050.

Os investimentos totais aumentam no Cenário 1,5°C em relação ao Cenário REF, exigindo que a taxa de investimento como proporção do PIB cresça de 17,6% para 18,7% em 2021-2030 e de 18,6% para 20,4% em 2031-2050. Os investimentos adicionais em mitigação acumulados no período seriam de R\$ 113 bilhões constantes de 2015 em 2021-2030 e de mais de R\$ 2 trilhões constantes de 2015 em 2031-2050.

Devido à elevada taxa de carbono, o aumento do índice geral de preços em relação a 2015 é bem maior no Cenário 1,5°C, de 46,9% em 2030 e de 42% em 2050, do que no Cenário REF, de 8,8% em 2030 e 15,1% em 2050. Em paralelo, o saldo da balança comercial seria reduzido, passando no Cenário 1,5°C para 1,2% em 2030 e 2,6% em 2050, contra 4,8% em 2030 e 5,5% em 2050 no Cenário REF.

No Cenário de Referência, apesar do crescimento significativo do PIB e do PIB per capita, em 2030 as emissões totais seriam 42% das de 2005 e as emissões per capita pouco mais que um terço das de 2005, ilustrando que o Cenário de Referência não é um cenário do tipo “business as usual”, e que as metas da NDC brasileira até 2030 são ambiciosas. No entanto, se políticas de mitigação adicional não forem implementadas, a partir de 2030 as emissões totais de gases de efeito estufa cairiam muito pouco, chegando a 1,09 bilhões de t de CO<sub>2</sub>e em 2050. No Cenário 1,5°C, são necessárias medidas adicionais de mitigação para reduzir as emissões de GEE brasileiras, atingindo em 2050 um nível 83% menor do que no REF (0,187 contra 1,088 GtCO<sub>2</sub>e). Este cenário pode ser considerado compatível com um aumento de temperatura global de 1,5°C, pois as emissões são aquelas da trajetória do EGR Brasil de 1,5°C apresentada na Figura 7.

É esperado um aumento do número de postos de trabalho<sup>6</sup>, que passaram de 91,2 milhões em 2005 para cerca de 99,8 milhões em 2015. Para 2030 é esperado que o número de postos de trabalho continue crescendo até os 115,7 milhões, e que depois vá se reduzindo lentamente, até atingir 111,3 milhões de postos em 2050 no Cenário de Referência.

A política de utilização de receitas da taxa de carbono para diminuir os encargos sociais e trabalhistas, sem aumento da carga total de impostos, permitiria promover a criação de novos

---

<sup>6</sup> Os postos de trabalho apresentados aqui representam empregos "full time" de 44h de trabalho semanais.

empregos, ajudando a manter o mercado de trabalho aquecido. Assim, a taxa de desemprego aumentaria muito pouco no Cenário 1,5°C em relação ao Cenário REF, atingindo 9,5% contra 9,1% em 2030 e 7,9% contra 7,5% em 2050. Ou seja, no Cenário 1,5°C a taxa de desemprego em 2030 seria inferior à registrada em 2005 e a de 2050, inferior à de 2015.

Uma das premissas deste Cenário de Referência, proveniente do cenário macroeconômico do PNE 2050 (EPE, 2015), foi a de se manter um saldo da balança comercial pequeno, próximo de zero, a despeito das exportações do pré-sal, de modo a fortalecer a hipótese de se ter uma taxa de câmbio aproximadamente constante no horizonte estudado. Para fechar esse grupo de hipóteses, é esperado que a indústria importe bens de capital com as divisas obtidas, favorecendo a eficiência e competitividade dos setores industriais no país. É esperado também que o setor de serviços aumente suas importações. O saldo da balança comercial que em 2005 foi de R\$ 166 bilhões, passou a R\$ 242 bilhões em 2015, e, espera-se que no Cenário de Referência este valor atinja os R\$ 435 bilhões em 2030 (R\$ 110 bilhões no Cenário 1,5°C) e R\$ 811 bilhões em 2050 (R\$ 379 bilhões Cenário 1,5°C) (valores expressos em reais de 2015). Apesar do aumento em valores absolutos, o saldo da balança comercial em relação ao PIB, que aumentou de 3,7% em 2005 para 4,3% em 2015, pouco cresceria, atingindo 4,8% em 2030 e 5,5% em 2050 no Cenário de Referência e 1,2% em 2030 e 2,6% em 2050 no Cenário 1,5°C.

Na tabela a seguir, pode-se observar o número de postos de trabalho "full time" por setor econômico.

**Tabela 3.** Postos de Trabalho por Setor Econômico (milhares)

Setor	2005	2015	REF 2030	1,5°C 2030	REF 2050	1,5°C 2050
<b>Agropecuária</b>	19000	20966	14083	12971	10574	10240
<b>Indústria</b>	9783	10592	11427	11372	10333	10466
<b>Setor Energético</b>	2755	2682	5275	5136	4991	5450
<b>Transportes e Serviços</b>	59674	65519	81516	81747	85592	85122
<b>Total</b>	91212	99759	112301	111226	111490	111279

Fonte: Elaboração própria

O setor agropecuário, que ganhou cerca de 2 milhões de postos de trabalho entre 2005 e 2015, deve perder postos de trabalho até 2030 nos dois cenários, principalmente devido ao aumento da taxa de mecanização. O setor industrial também reduziria o número de postos de trabalho após 2030 nos dois cenários, enquanto os setores de transportes e serviços tenderia a absorver toda esta mão de obra, ganhando um grande número de trabalhadores e proporcionando uma redução da taxa de

desemprego, como indicado anteriormente, em ambos os cenários. É interessante notar que no Cenário 1,5°C há um ganho no número de trabalhadores no Setor Energético e na Indústria entre 2030 e 2050.

Outra premissa já adotada no Cenário de Referência, e mantida no Cenário 1,5°C, é que a distribuição de renda do país tende a melhorar no período estudado. Dessa forma, o modelo foi calibrado para que a renda das classes mais pobres cresça de forma mais rápida que a renda das classes mais ricas, atingindo, em 2050, um coeficiente de GINI de 0.45, próximo daquele observado em Portugal em 2005. Um resultado importante desta análise é que mesmo uma trajetória de desenvolvimento de baixas emissões (LEDS) como no Cenário 1.5°C não implica necessariamente em consequências econômicas e sociais significativamente negativas para o Brasil, se implementadas através de políticas públicas apropriadas. A política de utilização de receitas da taxa de carbono para diminuir os encargos sociais e trabalhistas, sem aumento da carga total de impostos, permitiria promover a criação de novos empregos, ajudando a minimizar o aumento do desemprego. A Tabela 4, abaixo, apresenta a renda real média per capita, por classe de renda, para ambos os cenários.

**Tabela 4.** Renda real anual média per capita, por classe de renda (mil R\$ de 2015)

Renda Anual Média per capita	Cenário	2005	2015	2030	2030 (%)	2050	2050 (%)
<b>Classe 1 (10% mais pobres)</b>	REF			3,8		12,8	
	1,5°C	2,0	2,4	3,8	-2,1%	12,7	-0,8%
<b>Classe 2 (20% seguintes)</b>	REF			8,7		15,0	
	1,5°C	5,0	5,8	8,6	-2,0%	14,9	-0,8%
<b>Classe 3 (20% seguintes)</b>	REF			14,0		24,4	
	1,5°C	8,3	10,1	13,7	-2,0%	24,2	-0,8%
<b>Classe 4 (20% seguintes)</b>	REF			23,2		40,2	
	1,5°C	11,6	15,5	22,7	-2,0%	39,9	-0,8%
<b>Classe 5 (20% seguintes)</b>	REF			44,4		67,3	
	1,5°C	26,0	32,2	43,6	-1,9%	66,8	-0,8%
<b>Classe 6 (10% mais ricos)</b>	REF			165,9		264,8	
	1,5°C	106,5	122,5	163,4	-1,5%	262,8	-0,7%

Fonte: Elaboração própria

O rendimento das famílias diminuiu apenas marginalmente no Cenário 1,5°C, se comparado ao REF. Entretanto, o crescimento absoluto da renda entre 2015 e 2050 foi muito significativo e a segurança energética e alimentar do ponto de vista dos consumidores das classes mais pobres foi preservada. As transferências de renda do Governo também ajudariam a garantir um impacto mínimo sobre a renda da Classe 1, a mais pobre. Os ganhos de desenvolvimento social também seriam garantidos e as políticas públicas visando uma redução lenta das desigualdades estabelecidas no cenário REF não seriam prejudicadas pelo ambicioso nível de mitigação alcançado.

É importante reforçar que a renda anual apresentada na tabela anterior não considera os rendimentos provenientes do trabalho informal, que são mais difíceis de mensurar. Entretanto, como o consumo de bens e serviços é bem captado na Pesquisa de Orçamento Familiar (POF) e na Pesquisa Nacional de Amostragem Domiciliar (PNAD), consumo este feito com o a soma dos rendimentos formais e informais, temos uma situação interessante em que o consumo das classes mais pobres extrapola os rendimentos formais apresentados aqui. Como resultados têm-se taxas de poupança bastante negativas nas classes mais pobres já no ano base. Como no Cenário de Referência espera-se que a taxa de informalidade da economia vá se retraindo, essas taxas de poupança foram lentamente caminhando para o lado positivo no decorrer dos anos nas simulações. O tema da informalidade na economia brasileira deve ser mais bem estudado, a fim de que possamos analisar em mais detalhes a origem da renda das famílias. A tabela a seguir apresenta a evolução da taxa de poupança por classe de renda, que é igual para os dois cenários.

**Tabela 5.** Taxa de poupança das famílias, por classe de renda

Classe de Renda	2005	2015	2030	2050
<b>Classe 1</b>	-146%	-99%	-66%	-34%
<b>Classe 2</b>	-43%	-32%	-16%	4%
<b>Classe 3</b>	-30%	-21%	-11%	9%
<b>Classe 4</b>	-43%	-27%	-10%	10%
<b>Classe 5</b>	-5%	7%	12%	20%
<b>Classe 6</b>	41%	39%	33%	29%

Fonte: Elaboração própria

Como mencionado anteriormente, observa-se que a classe 1, que contém os 10% mais pobres do Brasil, apresentava em 2005 uma taxa de poupança de -146%. Parte desse alto valor negativo pode ser explicado efetivamente pelo endividamento das famílias, entretanto, grande parte provém da lacuna de informações quanto à geração de renda informal, que possibilita um padrão de consumo mais alto que aquele que seria proporcionado simplesmente pela renda formal. No ano base este fenômeno é observado em todas as classes, com exceção da classe 6, que contém os 10% mais ricos do país. No decorrer do período simulado, é esperado que as taxas de poupança caminhem para o lado positivo, representando uma maior formalização da economia e menores taxas de endividamento. Assim, em 2050, apenas os 10% mais pobres ainda apresentariam uma taxa de poupança negativa.

No Cenário 1,5°C, uma parte dos ganhos de renda familiar em relação a 2015 é absorvida por um aumento do nível de preços maior do que no REF, conforme apresentado anteriormente. A Tabela

6, a seguir, apresenta a evolução da renda e do poder de compra das famílias, por classe de renda, nos dois cenários. De forma geral, as medidas de mitigação adicional selecionadas podem ter um reflexo positivo no poder de compra da população, apesar do aumento do nível de preços.

**Tabela 6.** Evolução da renda e do poder de compra das Famílias, por classe de renda (base 2015 = 1)

Renda Anual Média per capita	Cenário	2015	REF 2030	1,5°C 2030	REF 2050	1,5°C 2050
<b>Classe 1 (10% mais pobres)</b>	Renda (2015=1)	1	1.60	1.57	5.35	5.31
	Poder de Compra (2015=1)		1.50	1.19	4.78	4.20
<b>Classe 2 (20% seguintes)</b>	Renda (2015=1)	1	1.51	1.48	2.58	2.56
	Poder de Compra (2015=1)		1.40	1.10	2.30	2.01
<b>Classe 3 (20% seguintes)</b>	Renda (2015=1)	1	1.39	1.36	2.41	2.40
	Poder de Compra (2015=1)		1.27	1.01	2.11	1.85
<b>Classe 4 (20% seguintes)</b>	Renda (2015=1)	1	1.49	1.46	2.59	2.57
	Poder de Compra (2015=1)		1.36	1.08	2.24	1.98
<b>Classe 5 (20% seguintes)</b>	Renda (2015=1)	1	1.38	1.35	2.09	2.07
	Poder de Compra (2015=1)		1.24	0.99	1.78	1.57
<b>Classe 6 (10% mais ricos)</b>	Renda (2015=1)	1	1.35	1.33	2.16	2.14
	Poder de Compra (2015=1)		1.19	0.97	1.79	1.61

Fonte: Elaboração própria

Para cada classe de renda familiar, foi calculado o aumento de preços de sua cesta de consumo de bens e serviços, permitindo verificar o crescimento líquido do poder de compra de cada classe. Dessa forma, verifica-se que:

- O poder de compra aumenta nos dois cenários e em todos os períodos de forma significativa para a classe 1, a mais pobre, em relação a 2015.
- No período 2015-2030, o aumento do nível de preços é grande no Cenário 1,5°C, e em 2030 o poder de compra aumenta moderadamente nas classes 1 a 4, mas se reduz marginalmente nas classes 5 e 6 em relação a 2015.
- No período 2030-2050 há um alívio no índice de preços no Cenário 1,5°C, e em 2050 o poder de compra aumenta fortemente para todas as classes, tanto em relação a 2015 quanto a 2030.

- Em 2050, no Cenário 1,5°C, o poder de compra de todas as classes é significativamente aumentado em relação a 2015, mas reduzido em relação ao verificado no REF nesse ano.

Em síntese, o estudo permite duas conclusões principais:

- a) Um cenário de implantação plena da NDC brasileira por meio de políticas públicas adequadas é compatível com uma melhora acentuada nos indicadores econômicos e sociais do país, além de propiciar uma significativa redução de emissões de GEE, permitindo o cumprimento dos compromissos assumidos pelo Brasil no Acordo de Paris;
- b) Uma estratégia de desenvolvimento do Brasil no longo prazo compatível com a limitação do aumento da temperatura global a 1,5°C não implicaria necessariamente em consequências econômicas e sociais significativamente negativas para o país, se implantada através de políticas públicas apropriadas.

O potencial de recursos naturais renováveis faz com que os benefícios e oportunidades da transição para uma economia de baixo carbono sejam particularmente importantes no caso do Brasil, que detém posição privilegiada de competitividade em relação aos demais países, no cenário de um esforço mundial para alcançar os objetivos de longo prazo do Acordo de Paris.

O Cenário 1,5°C aqui desenhado é apenas um dentre vários outros a serem explorados. O progresso técnico das opções de mitigação, a evolução dos comportamentos e as mudanças estruturais nos padrões de consumo abrem possibilidades ainda mais amplas de uma estratégia de desenvolvimento de baixa emissão de GEE a serem exploradas.

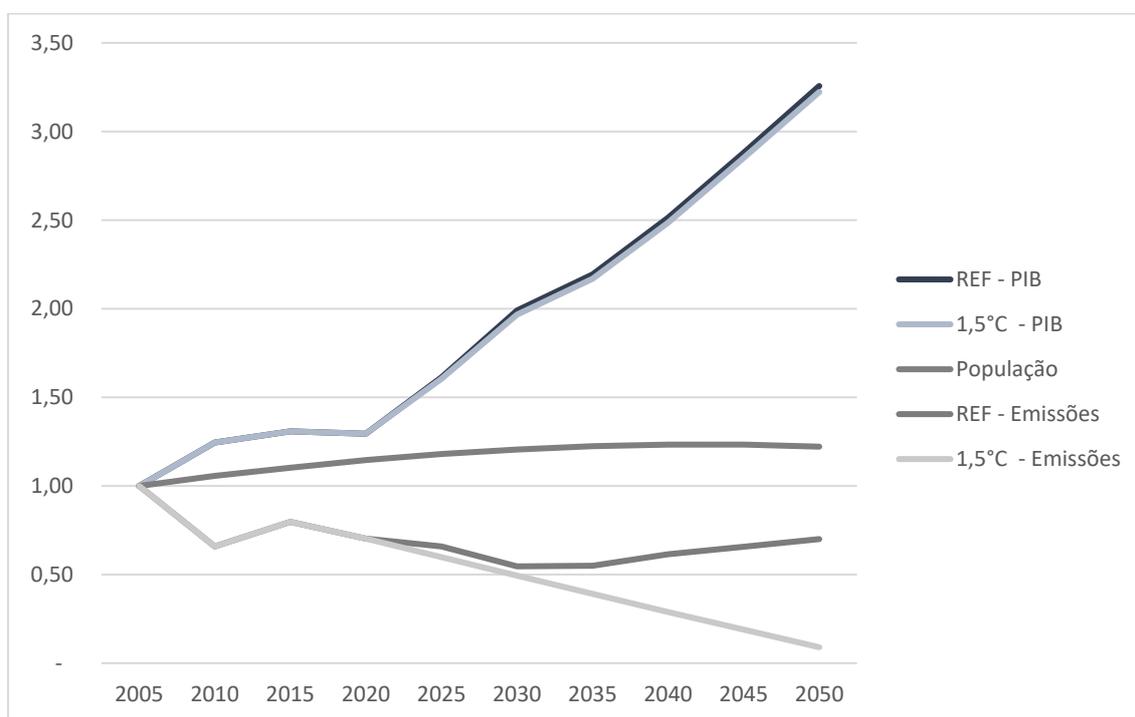
Análises de sensibilidade são essenciais para que se possa avaliar se as principais conclusões do estudo se manteriam mesmo que importantes parâmetros para a modelagem, como a taxa de desconto considerada no estudo (8% ao ano) e a trajetória do preço do petróleo utilizada (87 USD/barril em valores de 2015, a partir de 2020), variem no horizonte estudado. No World Energy Outlook, publicado em dezembro de 2017, após a realização de nosso estudo, a Agência Internacional de Energia (IEA, sigla em inglês) reviu sua estimativa para a trajetória de preços do petróleo mais baixos em seu cenário de desenvolvimento sustentável, em torno do patamar de 60 USD/barril a partir de 2020. Esse preço do petróleo mais baixo tende a elevar os custos marginais de abatimento. Já uma taxa de desconto mais baixa tende a diminuir os custos marginais de abatimento, pois a maior parte das medidas de mitigação tem custos de capital (Capex) maiores. Foram realizadas análises de

sensibilidade dos resultados da avaliação microeconômica a estes dois parâmetros, apresentadas na seção 8 deste relatório.

As implicações macroeconômicas e sociais da transição para uma economia de baixo carbono dependem não só dos custos das opções de mitigação, mas também dos instrumentos usados para viabilizar sua adoção: econômicos, financeiros, de comando e controle, ou uma mistura deles. No Cenário 1,5°C aqui apresentado, foi utilizada uma taxa sobre a queima de combustíveis fósseis, que começou em zero em 2020 e foi crescendo linearmente até 100 USD/tCO<sub>2</sub>e em 2030, se mantendo constante nesse patamar até 2050. É interessante testar também outros valores de taxa de carbono, além de outros instrumentos, como por exemplo, um mercado de cotas comercializáveis de emissões de GEE, ou condições favorecidas de crédito para os projetos de mitigação, para viabilizar o ambicioso Cenário 1,5°C aqui desenhado. Essas questões devem ser consideradas em próximos estudos sobre o tema.

## 5 Intensidade de emissões da economia e Intensidade de emissões per capita

Como indicado anteriormente neste relatório, uma estratégia de desenvolvimento do Brasil no longo prazo compatível com a limitação do aumento da temperatura global a 1,5°C não implicaria necessariamente em consequências econômicas e sociais significativamente negativas para o país, se implantada através de políticas públicas apropriadas. A Figura 8, a seguir, deixa isto claro, apresentando diversos indicadores que permitem entender melhor o cenário aqui descrito, entre 2005 e 2050 (base 2005 = 1).



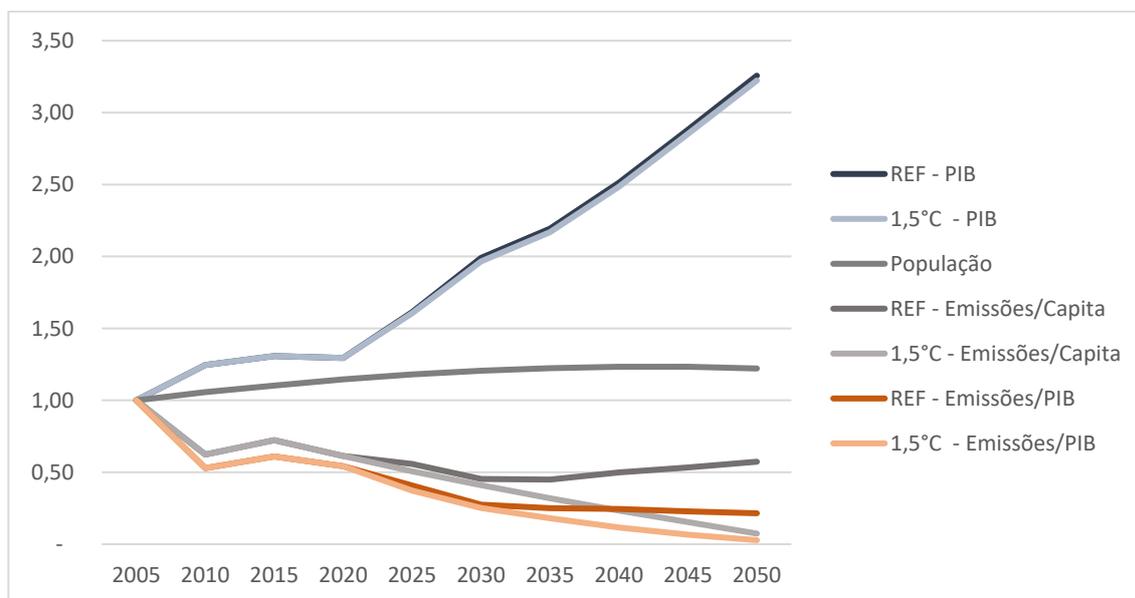
**Figura 8.** Indicadores selecionados (base 2005 = 1)

Fonte: Elaboração própria

Como podemos observar na figura anterior, a população brasileira cresce até o começo da década de 2040, e em seguida vai decrescendo lentamente até 2050. Em 2050 a população brasileira será 1,22 vezes maior do que era em 2005. Após a crise de 2015/2016, o PIB brasileiro volta a crescer, recuperando o nível de 2014 em torno de 2022. Em 2050 o PIB brasileiro será cerca de 3,2 vezes maior que era em 2005. A crise de 2015/2016 acaba afetando mais o PIB per capita do que o PIB, pois a população continua crescendo em tempos de crise, fazendo com que este indicador tenha um desempenho ainda pior nos próximos anos. O PIB per capita só volta aos níveis de 2013 por volta de 2024. Em 2050 é esperado que o PIB per capita seja 2,6 vezes maior do que era em 2005.

As emissões de GEE brasileiras, após caírem consistentemente entre 2005 e 2010, voltam a apresentar um aumento em 2015. É esperado que as emissões continuem caindo entre 2015 e 2030, como consequência dos acordos de Copenhague e de Paris, considerados dentro deste cenário de referência. Após 2030, como não são considerados novos esforços de mitigação neste cenário, as emissões brasileiras voltam a subir lentamente. Segundo as simulações feitas aqui, as emissões em 2030 no Cenário de Referência seriam apenas 55% das emissões de 2005, em 2050 as emissões do Brasil no Cenário de Referência seriam de 70% das emissões apresentadas em 2005. Apesar do nível de emissão deste cenário não ser compatível com o objetivo de 1,5/2°C acordado em Paris, este representa uma redução de emissões importante para um país em desenvolvimento. Já no Cenário 1,5°C aqui apresentado as emissões caem mais fortemente em ambos os períodos: 2020-2030 e 2030-2050, e assim, chegam em 2030 a 49% do nível observado em 2005, e em 2050 a 9% do nível observado em 2005.

A intensidade de emissões de GEE da economia é definida como as emissões totais de gases de efeito estufa divididas pelo PIB total do país em cada ano. Da mesma forma, as emissões de GEE per capita são definidas como as emissões totais do país divididas pela população total do país, ano a ano. A Figura 9, a seguir, mostra como variam estes indicadores no cenário aqui descrito, entre 2005 e 2050 (base 2005=1).



**Figura 9.** Indicadores selecionados (base 2005 = 1)

Fonte: Elaboração própria

A intensidade de emissões de GEE per capita para o Brasil segue basicamente o comportamento das emissões totais, cai entre 2005 e 2010, cresce entre 2010 e 2015, cai entre 2015 e 2030, e volta a subir lentamente entre 2030 e 2050 no Cenário de Referência. No Cenário 1,5°C, a intensidade de demissões per capita cai rapidamente no período 2030-2050.

Em 2005 o Brasil emitiu 11,2 tCO<sub>2</sub>e/capita<sup>7</sup>, em 2010 este número foi reduzido a 7,0 tCO<sub>2</sub>e/capita e em 2015, com o aumento das emissões, as emissões foram de 8,1 tCO<sub>2</sub>e/capita. Neste cenário de referência, em 2030 as emissões projetadas são de 5,1 tCO<sub>2</sub>e/capita (45% das emissões per capita de 2005), e em 2050 de 6,4 tCO<sub>2</sub>e/capita (57% das emissões per capita de 2005). No Cenário 1,5°C, em 2030 as emissões projetadas são de 4,6 tCO<sub>2</sub>e/capita (41% das emissões per capita de 2005), e em 2050 de 0,8 tCO<sub>2</sub>e/capita (7% das emissões per capita de 2005).

A intensidade de emissões da economia brasileira, que caiu fortemente entre 2005 e 2010, principalmente devido à redução do desmatamento, cresceu entre 2010 e 2016, devido ao aumento de emissões e da crise econômica. De 2017 até 2050, a intensidade de emissões da economia brasileira cai em ambos os cenários, sendo que após 2030 há uma queda mais acentuada no Cenário 1,5°C.

---

<sup>7</sup> Valores do segundo inventário brasileiro de emissões de GEE, conforme NDC do Brasil

## 6 Referências bibliográficas

- EPE** (Empresa de Pesquisa Energética), 2015, Cenário Econômico 2050. Nota Técnica DEA XX/15. Rio de Janeiro.
- EPE** (Empresa de Pesquisa Energética), 2016, Demanda de Energia 2050. Nota Técnica DEA 13/15. Rio de Janeiro.
- IBGE** (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística), 2014, Projeção da população do Brasil e das Unidades da Federação. Acesso em março de 2016. Disponível em <http://www.ibge.gov.br/apps/populacao/projecao/>.
- LA ROVERE, E. L.; WILLS, W.; PEREIRA JR, A. O.; DUBEUX, C. B. S; CUNHA, S. H. F.; OLIVEIRA, B. C. P.; MOREIRA, M.M.R.; WATANABE, S; LOUREIRO, S. M.; MOREIRA, L.S.S.C.; GROTTERRA, C.; HARFUCH, L.; WEISS, M.; SANTOS, L. A. S.; CARVALHO, P.T.; KISHINAMI, R.; ZVEIBIL, V.; SANTOS, L.; KIMURA, W.; SANTOS, T.; TONI, A.; BACHION, L. C.; LIMA, R.; ZAMBIANCO, W.; NASSAR, A.; WALTER, M. K. C; MARCONDES, S.; ELY, R. N.; LEFREVRE, J.; OLIVEIRA, L. D. B.; e ZICARELLI, I.**; Implicações Econômicas e Sociais de Cenários de Mitigação de Gases de Efeito Estufa no Brasil até 2030: Projeto IES-Brasil, Fórum Brasileiro de Mudanças Climáticas – FBMC. COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, 2016.
- LA ROVERE, E. L.; DUBEUX, C. B. S; WILLS, W.; PEREIRA JR, A. O.; CUNHA, S. H. F.; LOUREIRO, S. L.S.S.C.; GROTTERRA, C.; WEISS, M.; LEFREVRE, J.; OLIVEIRA, L. D. B.; e ZICARELLI, I.**. Emissão de Gases de Efeito Estufa – 2050. Implicações Econômicas e Sociais do Cenário de Plano Governamental: Projeto IES-Brasil – 2050. COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, 2017.
- WILLS, W.; LEFREVRE, J.**. 2012. The impact of a carbon tax over the Brazilian economy in 2030 - IMACLIM: the hybrid CGE model approach. In: ISEE 2012 Conference - Ecological Economics and Rio+20: Challenges and Contributions for a Green Economy, 2012, Rio de Janeiro. Greening the Economy - Measuring green growth, 2012.
- WILLS, W.**, 2013. Modelagem dos Efeitos de Longo Prazo de Políticas de Mitigação de Emissão de Gases de Efeito Estufa na Economia do Brasil. Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Planejamento Energético, COPPE/UFRJ, para obtenção do título de Doutor em Ciências do Planejamento Energético.
- WILLS, W., GROTTERRA, C., LEFREVRE, J.** (2015). Cenários Econômicos e Sociais. In: LA ROVERE, E. L. et al. – Implicações Econômicas e Sociais de Cenários de Mitigação de Gases de Efeito Estufa no Brasil até 2030: Projeto IES Brasil, Fórum Brasileiro de Mudanças Climáticas – FBMC. COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, 2016.
- WILLS, W., LEFREVRE, J.** (2016). Implicações Econômicas e Sociais do Cenário de Plano Governamental – 2050. In: LA ROVERE, E. L. et al. – Emissão de Gases de Efeito Estufa – 2050. Implicações Econômicas e Sociais do Cenário de Plano Governamental: Projeto IES-Brasil – 2050. COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, 2017.

## ANEXO I – O MODELO IMACLIM-R BR

O modelo IMACLIM-R BR é um modelo de equilíbrio geral computável híbrido (CGE) projetado para analisar os efeitos macroeconômicos de políticas climáticas no médio e longo prazo, seja uma taxa de carbono ou um mercado de cotas de emissão de GEE, em uma estrutura de contabilidade casada em que os fluxos em valores monetários e físicos (com um foco especial no balanço energético) estão em equilíbrio.

O modelo IMACLIM-R BR utiliza informações *top-down*, como faz tradicionalmente um modelo CGE, e informações setoriais ou *bottom-up*. Essa abordagem combina dados de setores específicos da economia, como diferentes possibilidades tecnológicas para geração e uso de energia, ou processos produtivos (assim como seus custos, curvas de aprendizado, índices de penetração etc.) com informações acerca da estrutura da economia. Com isso, contorna-se o fato de que dados *bottom-up* não têm capacidade de responder adequadamente a mudanças macroeconômicas referentes a preços de energia, à evolução da produtividade do capital e trabalho e ao comércio exterior. Analogamente, dados puramente macroeconômicos altamente agregados não são capazes de prever, por exemplo, a flexibilidade tecnológica que permite aos setores da economia se ajustar às políticas climáticas no médio e longo prazo (Wills, 2013; Hourcade et al., 2006)

No caso do presente estudo, são projetados cenários que abrangem o período entre os anos de 2005 e 2050. A atual versão do IMACLIM-R BR parte daquela desenvolvida por Wills (2013), contando com algumas diferenças com relação à simulação das medidas de mitigação adotadas em políticas climáticas, ao detalhamento do módulo das famílias, pelo fato de levar em conta os efeitos sobre a competitividade internacional das principais indústrias da economia e, principalmente, por ser a primeira versão que incorpora uma simulação dinâmica recursiva.

Uma versão dinâmica recursiva simplificada do modelo IMACLIM-BR – agora denominada IMACLIM-R BR – foi desenvolvida para capturar essas especificidades dinâmicas em diferentes horizontes temporais. Novos desenvolvimentos permitem a simulação de períodos com diferentes taxas médias de crescimento econômico, inovação tecnológica e requisitos de investimento, por exemplo. Em vez de uma simulação de uma etapa usando funções de produção CES calibradas em dados do passado (e que, portanto, não podem representar adequadamente uma fronteira de produção futura), a nova versão produz resultados a cada cinco anos.

Do ano-base do modelo (2005) ao presente (2015), a evolução econômica deve ser consistente com os indicadores macroeconômicos observados. A calibração do modelo deve ser ajustada de acordo com os dados existentes disponíveis nas Contas Nacionais, Balanço Energético, inventários de

GEE, entre outros. Um segundo período (2016-2030) deve descrever estimativas de médio prazo razoavelmente confiáveis, considerando que nenhuma difusão maciça de novas tecnologias pode ocorrer e que apenas as políticas previstas serão implementadas, como a Contribuição Brasileira de Determinação Nacional (NDC). Finalmente, um terceiro período (2031-2050) engloba uma maior incerteza, inerente a estimativas de longo prazo, levando em consideração as novas tecnologias, além de novos arranjos demográficos, políticos e sociais, afetando significativamente o consumo de energia e as emissões de gases de efeito estufa.

## **AI.1 – Base de dados**

O ponto de partida do modelo IMACLIM-R BR é uma Matriz de Contabilidade Social (SAM, na sigla em inglês), cuja definição segue abaixo:

“A matriz de contabilidade social (SAM) é um registro de todas as transações de uma economia em um determinado ano sob a forma matricial. A SAM apresenta de forma completa e desagregada os fluxos de renda e de bens de uma economia, e mostra a interdependência existente entre as diversas entidades envolvidas no funcionamento do sistema econômico de forma bastante clara e consistente. A SAM descreve o fluxo circular da renda entre os setores institucionais (famílias, governo, empresas e resto do mundo), ou seja, como os diferentes bens e fatores se transformam ao passar do setor produtivo aos mercados, às instituições e a outros agentes da economia (Tourinho et al, 2006; Miller & Blair, 2009).”

A Matriz de Contabilidade Social utilizada no modelo apresenta-se na forma híbrida, pois, como explicado na seção anterior, os setores produtivos que compõem a matriz insumo-produto contam com uma estrutura de contabilidade casada, apresentando dados monetários e físicos. Os setores energéticos são apresentados em Toneladas Equivalentes de Petróleo, os industriais em toneladas e os setores referentes a transportes em passageiro.km e tonelada.km, para transporte de passageiros e carga, respectivamente.

O processo de hibridização consiste em ajustar as diferentes fontes de informações econômicas (Contas Nacionais, Contas Econômicas Integradas e outras publicações do IBGE) e físicas (Balanço Energético Nacional, outras publicações da EPE e outras informações setoriais), que são elaboradas por diferentes instituições, cada uma com sua própria nomenclatura. A compatibilização permite uma melhor comunicação entre as informações de modelos BU com o modelo CGE em diferentes cenários.

A SAM utilizada no modelo IMACLIM-R BR conta com as seguintes:

- 19 setores produtivos, agregados das Contas Nacionais do IBGE (ver Tabela A.1):

- 6 setores energéticos: biomassa, carvão, petróleo, gás natural, derivados de petróleo e eletricidade
- 7 setores industriais: mineração, cimento, papel e celulose, metais nãoferrosos, siderurgia, química e resto da indústria
- Agropecuária
- Transporte de carga e transporte de passageiros
- Serviços (resto da economia)
- 3 fatores de produção:
  - Capital
  - Trabalho
  - Terra
- 4 setores institucionais:
  - Famílias, desagregadas em 6 classes de renda, sendo
    - Classe 1: 10% mais pobres
    - Classe 2: 20% seguintes
    - Classe 3: 20% seguintes
    - Classe 4: 20% seguintes
    - Classe 5: 20% seguintes
    - Classe 6: 10% mais ricos
  - Governo
  - Empresas
  - Resto do mundo

	Setores produtivos	Fatores	Famílias	Empresas	Governo	Resto do Mundo	Conta de acumulação de capital/poupança
Setores produtivos	Consumo Intermediário		Consumo das famílias	Consumo das empresas	Consumo do governo	Exportações	Formação Bruta de Capital Fixo e Variação de Estoques
Fatores	Valor Adicionado			Remuneração dos fatores domésticos			
Famílias		Remuneração dos fatores às famílias	Transferências interfamiliares	Transferências das empresas às famílias	Transferências do governo às famílias		
Empresas		Remuneração dos fatores às empresas	Transferências das famílias às empresas	Transferências das empresas às empresas	Transferências do governo às empresas		
Governo	Tributos sobre faturamento, vendas, importações e valor adicionado	Tributos sobre fatores	Tributos sobre renda das famílias	Tributos sobre lucro das empresas		Transferências do RoW ao governo	
Resto do Mundo	Importações	Remuneração dos fatores ao RoW	Consumo externo das famílias	Transferências das empresas ao RoW	Transferências do governo ao RoW		Investimento do RoW
Conta de acumulação de capital/poupança			Poupança das famílias	Poupança das empresas	Poupança do governo	Poupança do RoW	

**Figura A1.** Estrutura da Matriz de Contabilidade Social para o Brasil

Fonte: Elaboração própria

**Tabela A1.** Compatibilização dos setores das Contas Nacionais do IBGE com os setores da SAM

Setor SAM	Setores Contas Nacionais
<b>Biomassa</b>	Cana-de-açúcar
	Álcool
	Produtos da exploração florestal e da silvicultura (parcela referente a lenha e carvão vegetal)
<b>Carvão mineral</b>	Carvão mineral
<b>Petróleo</b>	Petróleo e gás natural (parcela referente a petróleo)
<b>Gás natural</b>	Petróleo e gás natural (parcela referente a gás natural)
	Eletricidade e gás, água, esgoto e limpeza urbana (parcela referente a gás natural)
<b>Derivados de petróleo</b>	Gás liquefeito de petróleo
	Gasolina automotiva
	Gasol/álcool
	Óleo combustível
	Óleo diesel
	Outros produtos do refino de petróleo e coque
<b>Eletricidade</b>	Eletricidade e gás, água, esgoto e limpeza urbana (parcela referente a eletricidade)
<b>Transportes</b>	Transporte de carga

Setor SAM	Setores Contas Nacionais
	Transporte de passageiro
<b>Agropecuária</b>	Arroz em casca
	Milho em grão
	Trigo em grão e outros cereais
	Soja em grão
	Outros produtos e serviços da lavoura
	Mandioca
	Fumo em folha
	Algodão herbáceo
	Frutas cítricas
	Café em grão
	Produtos da exploração florestal e da silvicultura
	Bovinos e outros animais vivos
	Leite de vaca e de outros animais
	Suínos vivos
	Aves vivas
	Ovos de galinha e de outras aves
	Pesca e aquicultura
	Abate e preparação de produtos de carne
	Carne de suíno fresca, refrigerada ou congelada
	Carne de aves fresca, refrigerada ou congelada
	Pescado industrializado
	Conservas de frutas, legumes e outros vegetais
	Óleo de soja em bruto e tortas, bagaços e farelo de soja
	Outros óleos e gordura vegetal e animal – exclusive milho
	Óleo de soja refinado
	Leite resfriado, esterilizado e pasteurizado
	Produtos do laticínio e sorvetes
	Arroz beneficiado e produtos derivados
	Farinha de trigo e derivados
	Farinha de mandioca e outros
	Óleos de milho, amidos e féculas vegetais e rações
Produtos das usinas e do refino de açúcar	
Café torrado e moído	
Café solúvel	
Outros produtos alimentares	
Bebidas	
Produtos do fumo	
<b>Papel e celulose</b>	Celulose e outras pastas para fabricação de papel
	Papel e papelão, embalagens e artefatos
	Jornais, revistas, discos e outros produtos gravados

Setor SAM	Setores Contas Nacionais
<b>Cimento</b>	Cimento
<b>Siderurgia</b>	Gusa e ferro-ligas
	Semi acabados, laminados planos, longos e tubos de aço
	Produtos da metalurgia de metais não ferrosos
	Fundidos de aço
	Produtos de metal – exclusive máquinas e equipamento
<b>Não ferrosos</b>	Minerais metálicos não ferrosos
<b>Química</b>	Produtos químicos inorgânicos
	Produtos químicos orgânicos
	Fabricação de resina e elastômeros
	Produtos farmacêuticos
	Defensivos agrícolas
	Perfumaria, sabões e artigos de limpeza
	Tintas, vernizes, esmaltes e lacas
	Produtos e preparados químicos diversos
	Artigos de borracha
	Artigos de plástico
<b>Mineração</b>	Minério de ferro
	Minerais não metálicos
<b>Resto da indústria</b>	Beneficiamento de algodão e de outros têxteis e fição
	Tecelagem
	Fabricação outros produtos têxteis
	Artigos do vestuário e acessórios
	Preparação do couro e fabricação de artefatos – exclusive calçados
	Fabricação de calçados
	Produtos de madeira – exclusive móveis
	Outros produtos de minerais não metálicos
	Máquinas e equipamentos, inclusive manutenção e reparos
	Elerodomésticos
	Máquinas para escritório e equipamentos de informática
	Máquinas, aparelhos e materiais elétricos
	Material eletrônico e equipamentos de comunicações
	Aparelhos/instrumentos médico-hospitalar, medida e óptico
	Automóveis, camionetas e utilitários
	Caminhões e ônibus
	Peças e acessórios para veículos automotores
	Outros equipamentos de transporte
	Móveis e produtos das indústrias diversas
	Sucatas recicladas
<b>Serviços</b>	Construção
	Comércio

Setor SAM	Setores Contas Nacionais
	Correio
	Serviços de informação
	Intermediação financeira e seguros
	Serviços imobiliários e aluguel
	Aluguel imputado
	Serviços de manutenção e reparação
	Serviços de alojamento e alimentação
	Serviços prestados às empresas
	Educação mercantil
	Saúde mercantil
	Serviços prestados às famílias
	Serviços associativos
	Serviços domésticos
	Educação pública
	Saúde pública
	Serviço público e seguridade social
	Parcelas referentes às atividades de serviços originalmente contabilizadas em outros setores nas Contas Nacionais

Fonte: Elaboração própria

## Estrutura do modelo

O modelo IMACLIM-R BR apresenta um arcabouço neoclássico tradicional<sup>8</sup> no que diz respeito à descrição das escolhas dos produtores e consumidores, porém a estrutura de descrição técnica dos sistemas produtivos foi especialmente projetada para facilitar a calibração com informações e modelos *bottom-up*, com o objetivo de garantir grande realismo técnico mesmo em simulações de cenários com grande desvio em relação ao cenário de referência. O modelo dispensa a utilização de funções de produção do tipo CES ou outras do gênero nos setores considerados estratégicos, que se baseiam em dados observados em momentos passados. Tem-se uma descrição concreta da evolução tecnológica no período estudado (inclusive do progresso técnico induzido pela política climática), o que permite uma boa precisão nas estimativas de modos de produção e uso de energia em diferentes cenários, e assim, conseqüentemente, nas emissões de gases de efeito estufa.

As funções de produção clássicas distinguem, usualmente, quatro fatores de produção: energia, matérias primas, trabalho e capital. A suposição adotada aqui é que a política climática apenas altera

<sup>8</sup>O modelo CGE neoclássico tradicional parte da simplificação de que a economia se comporta de forma ótima: ausência de falhas de mercado, situação de pleno emprego etc., o que não é verdade especialmente em países em desenvolvimento, como o Brasil.

as intensidades de energia e de capital nos bens industriais, sendo mantidas constantes as intensidades de matéria-prima e de trabalho nos cenários de referência e de mitigação, por falta de estudos detalhados a esse respeito.

É projetado o equilíbrio de um determinado Cenário de Referência no médio ou longo prazo, e em um segundo momento, é simulada a política climática, que induz investimentos em estruturas de produção e consumo menos intensivas em carbono, e assim deforma a projeção de referência até que um novo equilíbrio seja atingido, sendo então chamado de Cenário de Mitigação.

A projeção de referência é calculada levando-se em consideração modificações nos principais indicadores de crescimento dos sistemas econômicos e energéticos, como demografia, crescimento da produtividade do trabalho, evolução dos coeficientes técnicos, crescimento do resto do mundo e preços internacionais dos energéticos. No caso deste estudo o PNE 2050 foi utilizado para balizar tais parâmetros.

Os Cenários relacionados a diferentes políticas climáticas representam um equilíbrio contrafactual em relação ao equilíbrio da projeção de referência, que resulta das novas escolhas de produção e consumo frente a novos preços relativos. As análises são válidas sob a hipótese de que a transição induzida pela política climática em cada período é completada após uma série de ajustes técnicos, em cada cujo âmbito e duração estão embutidos nas informações *bottom-up* que são introduzidas no modelo a partir de ligações feitas a partir ligações na forma de *soft links* (no caso dos modelos setoriais de Transportes, Residencial, Serviços, Indústria, Resíduos, AFOLU, e no setor de oferta de energia, que utiliza o modelo MATRIZ).

Outras características importantes do IMACLIM-R BR incluem: (i) um tratamento agregado do progresso técnico induzido por mudanças nos sistemas energéticos – o IMACLIM-R BR opera em uma estrutura de progresso técnico endógeno; (ii) representação de comportamentos subótimos e mecanismos “second best”, como no caso do mercado de trabalho, onde os efeitos das políticas climáticas podem ser analisados também em termos de variações nos níveis de emprego e na representação de falhas de mercado, onde os setores produtivos não se encontram, *a priori*, em uma situação de concorrência perfeita.

## **AI.2 – Determinantes dos efeitos macroeconômicos**

Os determinantes dos efeitos macroeconômicos no IMACLIM-R BR são descritos de forma bastante sintética, aproveitando a descrição feita por Combet et al (2010) e Wills (2013). A evolução de diversos parâmetros vai distorcendo o equilíbrio da economia no cenário de referência. Essa

distorção pode ser considerada uma consequência da interação de cinco hipóteses principais descritas a seguir:

- i. O ajuste do setor produtivo, através da alteração do consumo dos fatores de produção (energia, matérias-primas, trabalho, capital etc.) de acordo com a nova realidade de preços relativos. Há uma evolução da produtividade total dos fatores (através de um coeficiente de progresso técnico que é relacionado ao investimento acumulado em cada período), e há a influência de um coeficiente de retornos decrescentes de escala. Além disso, há uma interação profunda com informações bottom-up, a cada período, que descrevem as mudanças tecnológicas induzidas por esse novo conjunto de preços relativos, conforme será explicado em detalhes, mais à frente, neste anexo.
- ii. A rigidez do mercado de trabalho, formalizada por uma curva de salários, que descreve uma correlação negativa entre a taxa de desemprego da economia e o salário médio (Blanchflower & Oswald, 2005).
- iii. O impacto no comércio internacional: as importações e exportações são elásticas aos termos de troca, que evoluem de acordo com o custo da produção doméstica. Os preços internacionais são constantes nos cenários de comando e controle, e o bem produzido pelo setor resto do mundo é o numerário do modelo. Nos cenários com taxa de carbono, é feita uma estimativa da evolução dos preços internacionais dos bens produzidos pelas indústrias energointensivas para que tenhamos uma simulação mais realista dos efeitos de uma taxa de carbono com abrangência mundial sobre a competitividade da indústria brasileira.
- iv. Restrições orçamentárias do governo: a razão entre os gastos públicos e o PIB é mantida constante; as transferências sociais (seguro desemprego, aposentadorias, Bolsa Família etc.) são indexadas ao salário médio da economia.
- v. Taxa de poupança por classe de renda, que varia de forma exógena, e ajuste da formação bruta de capital fixo destinado ao sistema produtivo. O modelo “fecha” ao se computar os fluxos de capital que equilibram as contas correntes. O equilíbrio é determinado pelo ajuste simultâneo dos volumes importados e exportados, dos preços domésticos, do nível de atividade e das taxas de juros.

Os fluxos de renda associados aos fluxos de bens começam a ser distribuídos com a remuneração dos fatores de produção mais os pagamentos líquidos ao resto do mundo. As operações de distribuição continuam entre os quatro setores institucionais (famílias, empresas, governo e resto

do mundo), orquestradas pelo governo: impostos (encargos trabalhistas, imposto de renda etc.) e transferências (aposentadorias, Bolsa Família etc.). Uma vez que os setores institucionais tenham feito suas escolhas de consumo e investimentos, os agentes emprestam ou pedem emprestado aos mercados financeiros, dependendo de se eles possuem uma poupança positiva ou negativa. Isso afeta as suas posições financeiras e os fluxos de renda associados a ela (pagamentos de juros etc.).

Essa versão do IMACLIM-R BR é calibrada no ano-base 2005 e tem como horizonte final de estudo o ano 2050. A economia pode ser desagregada em até 19 setores (seis setores energéticos, de transportes de cargas e de passageiros, de agricultura, de pecuária, de construção; seis setores relativos à indústria pesada e demais setores da economia), de acordo com a matriz insumo-produto.

### AI.3 – Formulário

O IMACLIM-R BR resume-se a um conjunto de equações simultâneas:

$$\begin{aligned} f_1(x_1, \dots, x_n, z_1, \dots, z_m) &= 0 \\ f_2(x_1, \dots, x_n, z_1, \dots, z_m) &= 0 \\ \dots & \\ f_n(x_1, \dots, x_n, z_1, \dots, z_m) &= 0 \end{aligned}$$

onde:

$x_i, i \in [1, v]$ , é o conjunto de variáveis (tantas quanto as equações),

$z_i, i \in [1, p]$ , é o conjunto de parâmetros,

$f_i, i \in [1, v]$ , é o conjunto de funções, algumas delas não lineares em  $x_i$ .

As funções  $f_i$  são de duas naturezas distintas: (i) um subconjunto de equações que descrevem as restrições contábeis que devem ser necessariamente verificadas para assegurar que o sistema de contabilidade dupla está corretamente equilibrado; e (ii) o outro subconjunto de equações, que se traduz em diferentes restrições de comportamento dos setores, podendo ser escritas de uma forma linear simples (p. ex.: as famílias consomem uma proporção fixa de sua renda total) ou de uma forma mais complexa e não linear (p. ex.: escolhas dos produtores e consumidores). A liberdade de modelagem do comportamento dos agentes é o que proporciona uma arquitetura flexível ao IMACLIM-R BR, de forma que ele possa apresentar uma visão da economia diferenciada dos modelos CGE tradicionais.

A apresentação das equações do modelo IMACLIM-R BR sucessivamente detalha: (i) a construção contábil do conjunto de preços ao consumidor; (ii) as equações referentes à contabilidade e aos comportamentos que regem os quatro setores institucionais representados no modelo (famílias, empresas, governo e resto do mundo); (iii) as condições de equilíbrio dos mercados.

### AI.3.1 Preço do produtor e preço ao consumidor – Geração de renda

O preço do produtor  $p_{vi}$  do bem  $i$  é construído seguindo-se a estrutura de custos da produção deste bem  $i$ , que é a soma dos custos relativos ao consumo intermediário ( $p_{Cji} \alpha_{ji}$ ), custos de trabalho ( $p_{Li} l_i$ ), custos de capital ( $p_K k_i$ ), impostos sobre a produção ( $\overline{\tau_{Yi0}} p_{Yi}$ ), e a um *mark-up* constante de cada setor ( $\overline{\pi_{i0}} p_{Yi}$ ):

$$p_{Yi} = \sum_{j=1}^n p_{Cji} \alpha_{ji} + p_{Li} l_i + p_K k_i + \overline{\tau_{Yi0}} p_{Yi} + \overline{\pi_{i0}} p_{Yi} \quad (1)$$

Os coeficientes técnicos  $\alpha_{ji}$  são expressos em ktep, consumido por ktep produzido para os insumos energéticos, de acordo com a natureza híbrida da base de dados, conforme explicado no capítulo 3.

O preço de importação  $p_{Mi}$  do bem  $i$  é específico para cada bem importado. Em primeiro lugar, o bem internacional “Resto da Economia” é o numerário do modelo; seu preço é, portanto, considerado constante e igual à unidade.

$$p_{MCOMP} = p_{MCOMP0} = 1 \quad (2)$$

$p_i$ , o preço médio do bem  $i$  disponível no mercado doméstico, é a média ponderada entre os dois preços definidos anteriormente:

$$p_i = \frac{p_{Yi} Y_i + p_{Mi} M_i}{Y_i + M_i} \quad (3)$$

Os bens energéticos domésticos e internacionais são considerados homogêneos: a hipótese alternativa de diferenciação dos produtos, adotada por diversos modelos GCE através da especificação de Armington (Armington, 1969), tem a desvantagem de criar variedades de bens híbridos, cujas unidades de volume são diferenciadas para as variedades domésticas e internacionais, o que impede uma contabilidade explícita dos fluxos energéticos em unidades físicas e, conseqüentemente, do balanço energético. Os bens não energéticos foram tratados de forma similar.

$p_{cij}$ , o preço do bem  $i$  consumido na produção do bem  $j$ , é igual ao preço da matéria-prima do bem  $i$  ( $p_i$ ) mais as margens de comércio ( $\tau_{MCI}$ ), mais as margens de transporte ( $\tau_{MTi}$ ), mais as margens específicas ( $\overline{\tau_{MSCij0}}$ ) e as taxas incidentes sobre o consumo ( $\overline{\tau_{CONS_i0}}$ ).

$$p_{Cij} = p_i \left( 1 + \tau_{MCi} + \tau_{MTi} + \overline{\tau_{MSChj0}} + \overline{\tau_{CONS;0}} \right) \quad (4)$$

O preço ao consumidor de um bem  $i$  para as famílias ( $p_{ci}$ ), para o governo ( $p_{gi}$ ) e para investimento ( $p_{ii}$ ), e o preço de exportação do bem  $i$  ( $p_{xi}$ ) são construídos de forma similar:

$$p_{Zi} = p_i \left( 1 + \tau_{MCi} + \tau_{MTi} + \overline{\tau_{MSZi0}} + \overline{\tau_{CONS;0}} \right) \text{ onde } Z \in \{C, G, I, X\} \quad (5)$$

As margens específicas são calibradas no ano-base e mantidas constantes para refletir as diferenças nas tarifas (fora os impostos) dos bens energéticos de acordo com os diferentes agentes/setores da economia.<sup>9</sup>

As margens de comércio  $\tau_{MCi}$  e de transportes  $\tau_{MTi}$ , idênticas para todos os bens intermediários e para o consumo final do bem  $i$ , são calibradas no equilíbrio do ano-base e mantidas constantes, exceto aquelas referentes ao setor de transportes (TRANS) e de atividades comerciais que estão agregadas dentro do setor Resto da Economia (COMP), que são simplesmente ajustadas no equilíbrio do ano-base, de modo que a soma de cada uma das margens seja igual a zero:

$$\begin{aligned} & \sum_{j=1}^n \tau_{MCCOMP} p_{COMP} \alpha_{COMPj} Y_j + \tau_{MCCOMP} p_{COMP} (C_{COMP} + G_{COMP} + I_{COMP} + X_{COMP}) \\ & + \sum_{i \neq COMP} \sum_j \overline{\tau_{MCi0}} p_i \alpha_{ij} Y_j + \sum_{i \neq COMP} \overline{\tau_{MCi0}} p_i (C_i + G_i + I_i + X_i) = 0 \quad (6) \end{aligned}$$

e de forma similar:

$$\begin{aligned} & \sum_{j=1}^n \tau_{MTTRANS} p_{TRANS} \alpha_{TRANSj} Y_j + \tau_{MTTRANS} p_{TRANS} (C_{TRANS} + G_{TRANS} + I_{TRANS} + X_{TRANS}) \\ & + \sum_{i \neq TRANS} \sum_j \overline{\tau_{MTi0}} p_i \alpha_{ij} Y_j + \sum_{i \neq TRANS} \overline{\tau_{MTi0}} p_i (C_i + G_i + I_i + X_i) = 0 \quad (7) \end{aligned}$$

Os custos do trabalho são iguais ao salário médio do setor  $w_i$  mais os encargos trabalhistas, que correspondem às contribuições dos trabalhadores à previdência privada ( $\tau_{LS_i}$ ), à previdência pública e ao sistema S<sup>10</sup> ( $\tau_{LG_i}$ ). Eles são cobrados com base nas relações calibradas no ano-base  $\overline{\tau_{LTG_i}}$  e  $\overline{\tau_{LTS_i}}$ , específicas por setor produtivo:

$$p_{Li} = \left( 1 + \overline{\tau_{LTG_i}} + \overline{\tau_{LTS_i}} \right) w_i \quad (8)$$

Os salários  $w_i$  nos diferentes setores evoluem de forma homogênea:

<sup>9</sup>Por exemplo, o setor de alumínio no Brasil se beneficia de preços muito baixos de energia, e em geral o preço da eletricidade para a indústria é mais baixo do que para as famílias.

<sup>10</sup> Sistema S é o nome pelo qual é chamado o conjunto de 11 instituições de interesse de categorias profissionais, estabelecidas pela Constituição brasileira (Sesc, Senai, Senac etc.).

$$w_i = b \cdot w_{i0}, \quad (9)$$

O salário médio total da economia  $w$  é definido por:

$$w = \frac{\sum_{i=1}^n w_i l_i Y_i}{\sum_{i=1}^n l_i Y_i}, \quad (10)$$

$w$  está sujeito a variações que podem ser exógenas ou ditadas por hipóteses relativas à taxa total de desemprego, conforme será explicado mais à frente na seção de descrição do equilíbrio do mercado de trabalho.

O custo de capital é entendido como o custo do capital produtivo (conforme descrição das escolhas do setor produtivo), que é obtido como o preço médio dos bens de investimento:

$$p_K = \frac{\sum_{i=1}^n p_{Ii} I_i}{\sum_{i=1}^n I_i} \quad (11)$$

### Excedente Operacional Bruto

As escolhas do produtor na produção do bem  $i$ , a taxa interna de retorno constante  $\pi_i$  e as margens específicas  $\tau_{MS}$  determinam o excedente operacional bruto (EBE):

$$EBE = \sum_{i=1}^n (p_K k_i Y_i + \bar{\pi}_i p_Y Y_i) + M_S \quad (12)$$

O excedente operacional bruto, que corresponde às receitas de capital, é dividido entre os agentes segundo frações constantes (calibradas no equilíbrio presente). Por construção, as margens específicas nas diferentes vendas  $M_S$  somam zero no equilíbrio do ano-base (essa é uma restrição do processo de hibridização), entretanto isso não ocorre no equilíbrio futuro, quando as suas taxas constantes são aplicadas aos preços que estão variando. Sua expressão pode ser então definida por:

$$M_S = \sum_i \left( \sum_j \overline{\tau_{MSCij}} p_i \alpha_{ij} Y_j + \sum_h \overline{\tau_{MSCih}} p_i C_{hi} + \overline{\tau_{MSGi}} p_i G_i + \overline{\tau_{MSXi}} p_i X_i \right)$$

$CPI$  é o índice de preços ao consumidor calculado segundo Fisher<sup>11</sup>, isto é, como uma média geométrica entre o índice de Laspeyres<sup>12</sup> e o índice de Paasche<sup>13</sup>:

<sup>11</sup>O índice de preços de Fisher é usado para medir a variação de preços de bens e serviços, com base na cesta de bens tanto no ano-base quanto no ano projetado. O índice de preços de Fisher é definido como uma média geométrica entre o índice de preços de Laspeyres e o índice de preços de Paasche, e, por essa razão, o índice de preços de Fisher é também conhecido como o índice de preços "ideal" (Eurostat, 2008).

<sup>12</sup>Variação do custo de uma cesta de bens do presente, comparando preços relativos no presente com preços relativos no futuro.

<sup>13</sup>Variação do custo de uma cesta de bens do futuro, comparando preços relativos no presente com preços relativos no futuro.

$$CPI = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n p_{G_i} C_{i0} \sum_{i=1}^n p_{G_i} C_i}{\sum_{i=1}^n p_{G_0} C_{i0} \sum_{i=1}^n p_{G_0} C_i}} \quad (13)$$

### AI.3.2 Contas dos setores institucionais

#### AI.3.2.1 Famílias

As famílias são representadas por agentes representativos de diferentes estratos sociais que impulsionam a demanda final privada (C). A desagregação das famílias em  $m$  classes de renda (índice  $h$ ,  $h \in [1, m]$ ) permite levar em consideração as estruturas de renda e eventualmente diferentes comportamentos e capacidades de ajuste às novas condições de mercado.

Sua renda agregada aumenta juntamente com a soma dos salários, com parte dos lucros obtidos nos setores produtivos e mercados de capital, e com transferências sociais (aposentadorias, Bolsa Família etc.), e decresce com o aumento dos impostos (imposto de renda etc.). Sua taxa de poupança e taxa de investimento (parcela da formação bruta de capital fixo, GFCF na renda disponível) são mantidas constantes em relação ao ano-base.

No que diz respeito às escolhas das famílias, uma premissa importante foi a de definição de necessidades básicas de energia e alimentação, que foram hipoteticamente definidas como 70% do consumo observado no ano-base. Dessa forma, o consumo de energia e de alimentos foi definido como a soma das necessidades básicas mais um consumo acima delas relacionado a uma elasticidade-preço e uma elasticidade-renda.

### Demografia:

A população da classe  $h$ ,  $N_h$ , cresce a partir de seu valor inicial no ano-base devido a uma porcentagem exógena  $\delta N$  que é comum a todas as classes.  $NL$  é a população total empregada, e  $NL_h$  é a população total empregada na classe  $h$ .

Formação de renda, poupança e decisões de investimento:

$R_{DBAI_h}$ , o rendimento primário bruto da classe  $h$  é definido como a soma dos seguintes termos:

Uma parcela  $\omega_{Lh}$  do rendimento total do trabalho  $w_i l_i Y_i$ , que varia com a população ativa empregada em cada classe.

Uma parcela  $\omega_{Kh}$  da fração “renda do capital” que vai para as famílias,  $EBE_H$ . O valor de  $\omega_{Kh}$  é exógeno e sua calibração foi feita a partir do valor encontrado na SAM no ano-base.

A dívida  $-i_h D_h$  corresponde ao rendimento de propriedades (juros, dividendos, aluguéis etc.). Esse serviço é o produto da dívida líquida  $D_h$ , cuja evolução será explicada mais a frente neste capítulo, e uma taxa de juros endógena efetiva para as famílias  $i_h$ .

As transferências sociais, em dois diferentes agregados: (i) transferências sociais do governo  $\rho_{Gh} N_h$ , que incluem salário desemprego, aposentadorias e também outras transferências como o Bolsa Família, e (ii) transferências sociais privadas  $\rho_{Sh} N_h$  (previdência privada, p.ex.). Esses agregados são calculados de forma similar, na multiplicação entre uma “transferência per capita”  $\rho$  e a população de cada classe,  $N_h$ .

Uma parcela exógena  $\omega_{Ath}$  das transferências residuais  $A_{TH}$ , que correspondem à soma de outras transferências não contabilizadas anteriormente.

$$RDBAI_h = \omega_{Lh} \sum_{i=1}^n w_i l_i Y_i + \overline{\omega_{Kh}} EBE_H - i_h D_h + \rho_{Gh} N_h + \rho_{Sh} N_h + \overline{\omega_{Ath}} A_{TH}, \quad (14)$$

Em particular,  $EBE_H$  e  $A_{TH}$  são definidos como frações constantes  $\overline{\omega_{Kh}}$  e  $\overline{\omega_{Ath}}$  de  $EBE$  e  $A_T$ .

$$EBE_H = \overline{\omega_{Kh}} EBE$$

$$A_{TH} = \overline{\omega_{Ath}} A_T \quad (15)$$

A renda disponível bruta  $RDB_h$  da classe  $h$  é obtida subtraindo de  $RDBAI_h$  o imposto de renda  $T_{IRh}$ , cobrado como uma proporção constante, e duas outras taxas indiretas  $T_{Gh}$  e  $T_{Sh}$  (que são transferidas respectivamente para o governo e para as empresas) que são indexadas ao índice de preços IPC.  $R_h$ , o orçamento da classe  $h$  para o consumo, é encontrado pela subtração entre a renda

disponível e a poupança daquela classe. A taxa de poupança  $\tau_{sh}$  é exógena (calibrada para acomodar os valores de  $RDB_h R_h$  no equilíbrio presente).

$$RDB_h = RDBAI_h - T_{IRh} - T_{Gh} - T_{Sh} \quad (16)$$

$$R_h = (1 - \overline{\tau_{sh}}) RDB_h \quad (17)$$

A partir dos dados da SAM, é possível observar o investimento das famílias  $GFCF_h$  (formação bruta de capital fixo), distinto da poupança das famílias. Assume-se que  $GFCF_h$  segue a hipótese de ser uma fração fixa da renda disponível bruta  $RDB_h$ . A diferença entre a poupança e os investimentos das famílias fornece a capacidade de autofinanciamento da classe  $h$ ,  $CAF_h$ .

$$\frac{GFCF_h}{RDB_h} = \frac{GFCF_{h0}}{RDB_{h0}} \quad (18)$$

$$CAF_h = \overline{\tau_{sh}} RDB_h - GFCF_h \quad (19)$$

A evolução da  $CAF_h$  entre os equilíbrios no presente e no futuro pode ser utilizada para estimar a evolução da dívida líquida das famílias,  $D_h$ . Esse cálculo é baseado na hipótese de que a capacidade de autofinanciamento durante o tempo de simulação  $t_{PROJ}$  é uma média entre a capacidade de autofinanciamento no presente e no futuro.

$$D_h = D_{h0} - t_{PROJ} \frac{CAF_{h0} + CAF_h}{2} \quad (20)$$

As taxas de juros impactam a renda dos agentes através da cobrança da dívida. Dessa forma, elas são ajustadas de modo que a soma da formação bruta de capital fixo (GFCF) das famílias, empresas e governo se equiparem à demanda total por investimento.

Os níveis de bens imobilizados (I) são proporcionais à soma do consumo de capital agregado. Esse é um modo de relacionar o aumento de capital imobilizado em 2030 e uma *proxy* do estoque de capital representado pelo consumo agregado de capital. Isso permite representar a contrapartida concreta do aumento de consumo de capital (relativo a uma substituição energia-capital na implementação de medidas de eficiência energética por exemplo) no aumento necessário do capital produtivo em uma trajetória econômica estável.

### AI.3.2.2 Empresas

Renda bruta disponível e decisões de investimento:

De forma similar ao tratamento dado às famílias, a renda bruta disponível para as empresas  $RDB_S$  é definida como a soma de:

Uma parcela exógena  $\omega_{KS}$  do rendimento de capital  $EBE$ .

A dívida (juros, dividendos)  $-i_S D_S$ , que é fortemente negativa no ano-base (2005), servida por uma taxa de juros  $i_S$  endógena, calculada da mesma forma que  $i_H$ .

Duas transferências ligadas à previdência social privada: Contribuições à previdência privada

$$T_{LS} = \sum_{i=1}^n \overline{\tau_{LSi}} w_i l_i Y_i \quad \text{e soma de outras transferências das famílias} \quad T_{Sh} = \overline{\tau_{Sh}} \cdot (\omega_{Lh} \sum_{i=1}^n w_i l_i Y_i)$$

Uma parcela exógena  $\omega_{ATS}$  de outras transferências  $A_T$ , que são assumidas como uma parcela fixa do PIB.

$$R_S = \sum_{h=1}^m \rho_{Sh} N_{Sh}$$

E à subtração de:

Transferências sociais de fontes privadas  $R_S$  transferidas para as famílias, conforme definido na equação 14, que define o rendimento primário bruto das famílias.

Taxas pagas pelas empresas  $T_{IS}$  ao governo.

Dessa forma:

$$RDB_S = \overline{\omega_{KS}} EBE + T_{LS} + \sum_{h=1}^m T_{Sh} - i_S D_S + \overline{\omega_{ATS}} A_T - (R_S + T_{IS}) \quad (21)$$

A razão entre a formação bruta de capital das firmas  $GFCF_S$  e a sua renda disponível bruta  $RDB_S$  é assumida como constante; de forma similar às famílias e de acordo com as contas nacionais, sua capacidade de autofinanciamento  $CAF_S$  surge da diferença entre  $RDB_S$  e  $GFCF_S$ . A dívida líquida das empresas  $D_S$  é então calculada a partir de sua capacidade de autofinanciamento  $CAF_S$ , seguindo a mesma especificação aplicada às famílias.

$$\frac{GFCF_S}{RDB_S} = \frac{GFCF_{S0}}{RDB_{S0}} \quad (22)$$

$$CAF_S = RDB_S - GFCF_S \quad (23)$$

$$D_S = D_{S0} - t_{PROJ} \frac{CAF_{S0} + CAF_S}{2} \quad (24)$$

### AI.3.2.3 Governo ou administração pública

Impostos, contribuições sociais e política fiscal:

Os impostos e contribuições sociais formam a maior parte dos recursos do governo, conforme as fórmulas 25 a 30, a seguir:

$$T_{LG} = \sum_{i=1}^n \overline{\tau_{LTGi}} w_i l_i Y_i \quad (25)$$

$$T_Y = \sum_{i=1}^n \overline{\tau_{Y_i}} p_{Y_i} Y_i \quad (26)$$

$$T_{CONS} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n p_i \overline{\tau_{CONS_i}} \alpha_{ij} Y_j + \sum_{i=1}^n \overline{\tau_{CONS_i}} (C_i + G_i + I_i) \quad (27)$$

$$T_{IS} = \overline{\tau_{IS}} \overline{EBE}_S \quad (28)$$

$$T_{IRh} = \overline{\tau_{IRh}} \overline{RDBA}_1 \quad (29)$$

$$T_{Gh} = \overline{\tau_{Gh}} \cdot (\omega_{Lh} \sum_{i=1}^n w_i l_i Y_i) \quad (30)$$

$T$  é a soma de todos os impostos e contribuições sociais:

$$T = T_{LG} + T_Y + T_{CONS} + T_{IS} + \sum_{h=1}^m T_{IRh} + \sum_{h=1}^m T_{Gh} \quad (31)$$

Renda bruta, gastos públicos, investimentos e transferências:

De modo análogo ao tratamento dado às famílias e às empresas (seguindo a lógica prevalente na SAM), a renda bruta disponível do governo  $RDB_G$  é a soma dos impostos e contribuições sociais, de parcelas exógenas  $\omega_{KG}$  do  $EBE$ , do  $\omega_{ATG}$  de “outras transferências”  $A_T$  e da dívida  $i_G D_G$ , de onde são subtraídos os gastos públicos  $p_G G$  e as transferências sociais  $R_h$ :

$$RDB_G = T + \overline{\omega_{KG}} \overline{EBE} + \overline{\omega_{ATG}} A_T - i_G D_G - \left( \sum_{i=1}^n p_{Gi} G_i + R_G \right) \quad (32)$$

Assume-se que os gastos públicos  $p_G G$  crescem no mesmo ritmo que a renda nacional, sendo definido como uma fração constante do PIB:

$$\frac{\sum_{i=1}^n p_G G_i}{PIB} = \frac{\sum_{i=1}^n p_{G0} G_{i0}}{PIB_0}, \quad (33)$$

As transferências sociais para as famílias  $R_h$  são definidas como:

$$R_G = \sum_{h=1}^m \rho_{Gh} N_{Gh} \quad (34)$$

Para as transferências sociais  $R_G$  e  $R_S$ , transferências *per capita*  $\rho_{Gh}$  e  $\rho_{Sh}$  são indexadas ao salário médio:

$$\forall K \in [G, S], \forall h \in [1, m] \rho_{Kh} = \frac{W}{W_0} \rho_{Kh0} \quad (35)$$

Por último, a taxa de juros da dívida pública  $i_G$  evolui de forma diferente que  $i_H$  e  $i_S$ , e é calibrada em dados históricos entre 1994 e 2005, variando de acordo com uma elasticidade calculada segundo a razão entre a dívida pública e o PIB.

O investimento público  $GFCF_G$ , da mesma forma que os gastos públicos  $p_G G$ , são considerados como uma fração constante do PIB. Para encontrar a capacidade de autofinanciamento do governo  $CAF_G$ , subtraímos  $GFCF_G$  e  $p_G G$  do  $RDB_G$ , o que determina a variação da dívida pública, cuja acumulação é tratada da mesma forma que para as famílias e para as empresas:

$$\frac{GFCF_G}{PIB} = \frac{GFCF_{G0}}{PIB_0} \quad (36)$$

$$CAF_G = RDB_G - GFCF_G \quad (37)$$

$$D_G = D_{G0} - t_{PR} \frac{CAF_{G0} + CAF_G}{2} \quad (38)$$

### AI.3.2.4 Resto do mundo

Fluxos de capital e capacidade de autofinanciamento:

Os fluxos de capital entre o Brasil e o resto do mundo (RDM) não têm um comportamento específico definido, e são simplesmente determinados como o equilíbrio entre os fluxos de capital dos três setores institucionais domésticos (famílias, empresas e governo) para assegurar o equilíbrio contábil referente ao comércio exterior. Essa hipótese determina a capacidade de autofinanciamento do resto do mundo, que por sua vez determina a evolução da sua dívida líquida  $D_{RDM}$ :

$$CAF_{RDM} = \sum_{i=1}^n p_{Mi} M_i - \sum_{i=1}^n p_{Xi} X_i + \sum_{K=H,S,G}^n i_K D_K - \sum_{K=H,S,G}^n A_{TK} \quad (39)$$

$$D_{RDM} = D_{RDM0} - t_{PROJ} \frac{CAF_{RDM0} + CAF_{RDM}}{2} \quad (40)$$

Por definição, a soma das capacidades de autofinanciamento dos quatro setores institucionais tem soma zero e, conforme suas posições líquidas, compensam-se umas às outras tanto no ano-base quanto no equilíbrio projetado.

Por último, as outras transferências  $A_T$  são definidas como uma parcela fixa do PIB:

$$\frac{A_T}{PIB} = \frac{A_{T0}}{PIB_0} \quad (41)$$

### AI.3.3 As escolhas dos setores produtivos

A estrutura de contabilidade casada do IMACLIM-R BR facilita a incorporação de informações *bottom-up* na estrutura de equilíbrio geral, em particular no que diz respeito aos fluxos energéticos, de forma a aprofundar a representação das escolhas de produção dos setores produtivos. Essa estrutura de contabilidade casada se distancia do modelo clássico, que consiste em pressupor uma função de produção (p.ex., uma função do tipo CES) calibrada no ano-base, usando a hipótese de que aquele comportamento observado era ótimo. Como citado anteriormente, o IMACLIM-R BR inova nesse sentido e pode incorporar informações BU de duas formas:

Através de uma integração com um modelo BU: nesse caso, a função de produção macroeconômica que descreve as escolhas dos coeficientes técnicos de acordo com os preços relativos é definida pelo modelo BU. Por exemplo, a função de produção do setor elétrico é substituída pelos coeficientes calculados a partir dos resultados do programa de otimização do MESSAGE no horizonte de tempo projetado.

Através da calibração de formas reduzidas de um modelo BU ou de curvas de custo marginal de abatimento, conforme descrito em Gherzi&Hourcade (2006) e mais à frente neste capítulo.

Na ausência de informações BU específicas para determinado setor (como para o setor resto da economia), as escolhas de produção são limitadas por assíntotas técnicas que definem consumos mínimos dos fatores de produção. De forma semelhante ao tratamento proposto por Gherzi&Hourcade (2006), essa hipótese restritiva é feita de modo que as parcelas variáveis dos consumos unitários dos fatores de produção são substituíveis de acordo com uma função CES, onde a existência de uma parcela fixa desses consumos implica que as elasticidades de substituição totais entre os fatores (soma das parcelas fixas e variáveis) não são constantes, mas decrescem ao se aproximar das assíntotas.

Sob essas hipóteses e restrições, no cenário de mitigação, a minimização dos custos unitários de produção leva à formulação dos consumos unitários dos fatores secundários  $\alpha_{ji}$ , trabalho  $l_i$  e capital  $k_i$ , que podem ser escritos como a soma dos consumos mínimos (definidos pela assíntota) e um consumo acima desse mínimo. A última parte corresponde à expressão de demandas pelos fatores de produção em uma função CES com uma elasticidade  $\sigma_i$  (coeficientes de  $\lambda_{Cij}$ ,  $\lambda_{Li}$  e  $\lambda_{Ki}$ , que são calibrados no ano-base).

$$\alpha_{ji} = \frac{\Theta_i}{\phi_i} \left[ \beta_{ji} \alpha_{ji0} + \left( \frac{\lambda_{ji}}{P_{Cij}} \right)^{\sigma_i} \left( \sum_{j=1}^n \lambda_{ji}^{\sigma_i} P_{Cij}^{1-\sigma_i} + \lambda_{Li}^{\sigma_i} P_{Li}^{1-\sigma_i} + \lambda_{Ki}^{\sigma_i} P_K^{1-\sigma_i} \right)^{-\frac{1}{\rho_i}} \right] \quad (42)$$

$$l_i = \frac{\Theta_i}{\phi_i} \left[ \beta_{Li} l_{i0} + \left( \frac{\lambda_{Li}}{P_{Li}} \right)^{\sigma_i} \left( \sum_{j=1}^n \lambda_{ji}^{\sigma_i} P_{Cij}^{1-\sigma_i} + \lambda_{Li}^{\sigma_i} P_{Li}^{1-\sigma_i} + \lambda_{Ki}^{\sigma_i} P_K^{1-\sigma_i} \right)^{-\frac{1}{\rho_i}} \right] \quad (43)$$

$$k_i = \frac{\Theta_i}{\phi_i} \left[ \beta_{Ki} k_{i0} + \left( \frac{\lambda_{Ki}}{P_{Ki}} \right)^{\sigma_i} \left( \sum_{j=1}^n \lambda_{ji}^{\sigma_i} P_{Cij}^{1-\sigma_i} + \lambda_{Li}^{\sigma_i} P_{Li}^{1-\sigma_i} + \lambda_{Ki}^{\sigma_i} P_K^{1-\sigma_i} \right)^{-\frac{1}{\rho_i}} \right] \quad (44),$$

onde

$$\rho_i = \frac{\sigma_i - 1}{\sigma_i} \quad (45)$$

Entretanto essa soma é modificada para levar em conta uma combinação de progresso técnico endógeno ( $\phi$ ) e de rendimentos decrescentes ( $\Theta_i$ ). Esse último fator impacta sobre o consumo de todos os fatores de produção, ao assumi-los elásticos ao volume produzido segundo uma elasticidade fixa  $\sigma_{\Theta Yi}$ , que é calibrada sob a hipótese de custos marginais.

$$\Theta_i = \left( \frac{Y_i}{Y_{i0}} \right)^{\sigma_{\Theta Yi}} \quad (46)$$

$$\sigma_{\Theta Yi} = \frac{\pi_i}{1 - \pi_i} \quad (47)$$

$$\phi_i = \left( \frac{k_i Y_i}{k_{i0} Y_{i0}} \right)^{\sigma_{\Phi i}} \quad (48)$$

É importante ressaltar que o custo de capital  $p_K$  considerado nas equações 41, 42 e 43 está relacionado apenas ao capital produtivo. Por um lado, as escolhas de produção são baseadas nos custos dos fatores de produção, incluindo o do capital produtivo  $k_i$  (calibrado no consumo de capital

fixo da SAM). Por outro lado, as atividades das empresas e a regra de investimento (GFCF, equação 22) levam a uma alteração em sua posição financeira  $D_s$ , cujo serviço não é considerado como fator de produção.

### AI.3.4 Consumo

O consumo das famílias  $C_{ih}$  foi definido sem a utilização de nenhuma função de utilidade explícita, como a soma de uma necessidade básica, exógena, comum a todas as classes, e um consumo acima dessa necessidade básica, que varia segundo uma elasticidade-preço  $\sigma_{Cpi}$  e uma elasticidade-renda  $\sigma_{Cri}$  estimadas na Nota Técnica II (Edson Domingues).

$$\forall i \neq \text{COMP} C_{ih} = \beta_{ih} C_{ih0} + (1 - \beta_{ih}) \left( \frac{P_{Ci}}{IPC} \frac{1}{P_{Ci0}} \right)^{\sigma_{Cpi}} \left( \frac{R_h}{IPC} \frac{1}{R_{h0}} \right)^{\sigma_{Cri}} C_{ih0} \quad (49)$$

Onde  $COMP$  representa os bens produzidos pelo setor resto da economia e  $\beta_{ih}$  representa a fração do consumo de referência da classe  $h$ , que corresponde às necessidades básicas (que arbitrariamente foi considerado 70% do consumo no ano-base).

$C_{COMPh}$  corresponde à demanda por bens do setor resto da economia, que é simplesmente definido subtraindo-se os gastos com os outros bens da economia do orçamento familiar total para consumo, como a seguir:

$$P_{CCOMP} C_{COMPh} = R_h - p_{ih} C_{ih} \quad (50)$$

### AI.3.5 Comércio internacional

A competição nos mercados internacionais é definida pelos preços relativos. A razão entre as importações e a produção doméstica, por um lado, e as quantidades exportadas, por outro, são elásticas aos termos de troca, de acordo com elasticidades constantes, que podem ser específicas para cada produto e também calibradas conforme a Nota Técnica II (Edson Domingues):

$$\frac{M_i}{Y_i} = \frac{M_{i0}}{Y_{i0}} \left( \frac{P_{M\alpha}}{P_{Y0}} \frac{P_{Yi}}{P_{Mj}} \right)^{\sigma_{Mf}} \quad (51)$$

$$\frac{X_i}{X_{i0}} = \left( \frac{P_{M\alpha}}{P_{XD}} \frac{P_{Xi}}{P_{Mj}} \right)^{\sigma_{Xpi}} (1 + \delta_{Xi}) \quad (52)$$

O tratamento diferenciado dado às importações e exportações reflete a hipótese de que, apesar da evolução dos termos de troca, os volumes importados aumentam em proporção à atividade

econômica doméstica (produção doméstica), enquanto as exportações não. As exportações são impactadas, entretanto, pelo crescimento do resto do mundo, de forma independente às variações dos termos de troca. Esse fato é capturado ao assumir-se um volume extra de exportações  $\delta_{xi}$ , exógeno.

Nos cenários com taxa de carbono global é necessário fazer uma correção da variação dos preços internacionais devido à taxa. Conforme discussão com o CEC, essa correção seria necessária para podermos ter resultados mais realistas em termos da competitividade das indústrias brasileiras. Devido ao modelo IMACLIM-R BR não simular o impacto de taxas de carbono nos preços dos produtos produzidos nos demais países do mundo, foi combinado com o CEC que seria feita uma estimativa da variação desses preços internacionais com base na relação entre o conteúdo de carbono do produto brasileiro e do produto internacional, especificamente para os setores “Papel e celulose”, “Cimento”, “Siderurgia”, e “Metais não ferrosos”.

### AI.3.6 Mercado de trabalho

O mercado de trabalho resulta da interação entre a demanda por trabalho dos sistemas produtivos, que é igual à soma de suas demandas por esse fator  $l_i Y_i$ , e a oferta de trabalho suprida pelas famílias. A quantidade de trabalho ofertada pelas famílias  $L_0$  cresce segundo hipóteses exógenas (demografia e evolução da produtividade do trabalho), em um ritmo constante para todas as classes, considerando um trabalho de tempo integral para a população ativa no equilíbrio, no ano-base e no futuro. Entretanto, o modelo permite uma taxa de desemprego positiva  $u$ , e, dessa forma, a equação de equilíbrio do mercado de trabalho pode ser escrita como:

$$(1-u)(1+\delta_L)L_0 = \sum_{i=1}^n l_i Y_i \quad (53)$$

Ao invés de explicitar o comportamento da oferta de trabalho no cenário de referência, o modelo alternativamente trata como exógeno a taxa de desemprego total  $u$  ou o crescimento real  $\delta_w$  do salário médio  $w$ .

$$u = \bar{u} \quad (54a)$$

$$w = w_0 (1 + \delta_w) \quad (\text{Erro! Fonte de referência não encontrada.})$$

Mudanças no nível de emprego correspondentes à evolução de  $u$  são divididas segundo as classes de renda das famílias de acordo com suas taxas de desemprego específicas  $u_h$ :

$$u_h = u_{h0} \frac{u}{u_0} \quad (55)$$

Dessa forma,  $N_{Uh}$  é o número de pessoas desempregadas na classe  $h$ .

$$N_{U_h} = u_h (1 + \delta_L) L_{h0} \quad (56)$$

$N_{Lh}$ , o número de pessoas empregadas na classe  $h$  (definido como  $(1 + \delta_L) L_{h0} - N_{Uh}$ ), permite determinar a parcela  $\omega_{Lh}$  da renda total do trabalho que pertence à classe  $h$ :

$$\omega_{Lh} = \frac{\frac{N_{Lh}}{N_{Lh0}} \omega_{Lh0}}{\sum_{h=1}^m \frac{N_{Lh}}{N_{Lh0}} \omega_{Lh0}} \quad (57)$$

#### Curva de salários:

O modelo IMACLIM-R BR usa uma curva de salários no cenário de mitigação para descrever a negociação de salários no mercado de trabalho. Quando a taxa de desemprego é alta, os trabalhadores aceitariam receber salários menores, mas quando a taxa de desemprego é baixa, as firmas aceitariam pagar salários mais altos. Com essa abordagem em mente, foi utilizada uma elasticidade  $\sigma_{wU}$  para definir essa relação, calibrada conforme uma publicação da CEDEPLAR/UFMG em 2009, denominada “*Curvas de salários dinâmicas: Um estudo dos determinantes da histerese do desemprego no Brasil*” (Santolin & Antigo, 2009).

$$\frac{w}{IPC} = w_0 (1 + \delta_w) \left( \frac{u}{u_0} \right)^{\sigma_{wU}} \quad (58)$$

### AI.3.7 Equilíbrio dos mercados

#### Mercados de bens:

O equilíbrio do mercado de bens se dá por um simples balanço entre recursos (produção doméstica e importações) e usos (consumo doméstico, investimentos e exportações). Graças ao processo de hibridização, essa equação é escrita em ktep para bens energéticos, sendo consistente com o Balanço Energético Nacional para o ano 2005.

$$Y_i + M_i = C_i + G_i + I_i + X_i \quad (59)$$

#### Investimentos e fluxos de capital:

As taxas de juros efetivas para as família  $i_H$  e para as empresas  $i_S$  estabelecem o equilíbrio do mercado de capitais: elas variam  $\delta_i$  entre o valor do ano-base e o valor final projetado e impactam

diretamente na renda disponível das famílias  $RDB_H$  e das empresas  $RDB_S$ , conseqüentemente em suas decisões de investimento  $GFCF_H$  e  $GFCF_S$ , de forma a igualar a oferta de capital correspondente ao comportamento do governo  $GFCF$  e  $GFCF_G$ , para demandar bens de investimento  $p_i I_i$ . Essa demanda, por sua vez, é restrita pela hipótese de que a razão de cada um de seus componentes  $I_i$  ao consumo total de capital fixo (soma de  $k_j Y_j$ ) é constante. Em outras palavras, o capital imobilizado em todos os setores produtivos é supostamente homogêneo e todos os seus componentes variam como o consumo total de capital fixo.

$$\forall K \in [H, S] i_K = i_{K0} + \delta_i \quad (60)$$

$$\sum_{K=H,S} GFCF_K = \sum_{i=1}^n p_i I_i \quad (61)$$

$$\frac{I_i}{\sum_{j=1}^n k_j Y_j} = \frac{I_{i0}}{\sum_{j=1}^n k_{j0} Y_{j0}} \quad (62)$$

O fechamento do modelo é fundamentalmente feito sobre a oferta de investimentos dos agentes, que se ajustam às demandas por investimento dos setores produtivos. Através de uma alteração das taxas de juros, são observadas flutuações nos fluxos financeiros entre credores e devedores e, eventualmente, na evolução da sua posição financeira líquida.

É importante ressaltar que o IMACLIM-R BR possui uma estrutura bastante flexível, sendo possível tratar os diversos comportamentos descritos acima de formas alternativas. Portanto, o IMACLIM-R BR proporciona uma plataforma robusta, que permite organizar o diálogo em torno das políticas climáticas e energéticas entre engenheiros e economistas, e até mesmo entre economistas de diferentes escolas.

## Referências bibliográficas do Anexo I

- Armington, P. S. (1969). A Theory of Demand for Products Distinguished by Place of Production. Staff Papers – International Monetary Fund, Vol. 16, N. 1 (Mar., 1969), pp. 159-178. Palgrave Macmillan Journals on behalf of the International Monetary Fund.
- Blanchflower, D.; Oswald, A. *The Wage Curve*. Cambridge, MA: MIT Press, 1994.
- Combet, E., Gherzi, F., Hourcade, J. C., Thubin, C. (2010). A Carbon tax and the Risk of Inequity. Working Paper. CIRED, 2010.
- Eurostat (2008). Eurostat Price Statistics. An Overview. Eurostat Statistical Books. Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities. ISBN 978-92-79-07356-4.
- Gherzi, Frédéric ; Hourcade Jean-Charles (2006). “Macroeconomic Consistency Issues in E3 Modeling: The Continued Fable of the Elephant and the Rabbit.” *Hybrid modeling of energy-environment policies: Reconciling Bottom-Up and Top-Down* – Special Issue of *the Energy Journal*.
- Hourcade, Jean-Charles; Crassous, Renaud; Sassi, Olivier; Gitz, Vincent; Waisman, Henri; Guivarch, Céline. “IMACLIM-R: A modeling framework for sustainable development issues”. Working Paper. CIRED, 2006.
- Lefèvre, Julien (2016). “Hybridization Challenges in Energy-Economy Integrated Models and Representation of the Low Carbon Transition An Application to the Brazilian Case.” Paris Saclay.
- Miller, R.; Blair, P. (2009). Input-output analysis: foundations and extensions. 2 ed. Cambridge University Press. Reino Unido.
- Paiva, C. Trade elasticities and market expectations in Brazil. International Monetary Fund. Working Paper 03/140.
- Santolin, R.; Antigo, M. F. (2009). Curvas de salários dinâmicas: Um estudo dos determinantes da histerese do desemprego no Brasil. Texto para discussão N. 368. Belo Horizonte: UFMG/CEDEPLAR, 2009.
- Tourinho, O. A. F.; Silva, N. L. C.; Alves, Y. B. (2006). Uma matriz de contabilidade social para o Brasil em 2003. Texto para discussão N. 1242. IPEA. Rio de Janeiro.
- Wills, William. (2013). Modelagem dos Efeitos de Longo Prazo de Políticas de Mitigação de Emissão de Gases de Efeito Estufa na Economia do Brasil. Tese de doutorado apresentada ao Programa de Planejamento Energético, COPPE/UFRJ, para obtenção do título de doutor em Ciências do Planejamento Energético.