



**HAL**  
open science

# IMPLICAÇÕES ECONÔMICAS E SOCIAIS DE CENÁRIOS DE MITIGAÇÃO DE GASES DE EFEITO ESTUFA NO BRASIL ATÉ 2030 SUMÁRIO TÉCNICO

Emilio Lebre La Rovere, William Wills, Amaro O Pereira, C.B. Dubeux,  
S.H.F. Cunha, B.C.P. Oliveira, M.M.R. Moreira,, Shigeru Watanabe, S.M.  
Loureiro, Carolina Grottera, et al.

## ► To cite this version:

Emilio Lebre La Rovere, William Wills, Amaro O Pereira, C.B. Dubeux, S.H.F. Cunha, et al.. IMPLICAÇÕES ECONÔMICAS E SOCIAIS DE CENÁRIOS DE MITIGAÇÃO DE GASES DE EFEITO ESTUFA NO BRASIL ATÉ 2030 SUMÁRIO TÉCNICO. [Technical Report] Forum Brasileiro de Mudanças Climáticas – FBMC. COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro. 2016. hal-01695230

**HAL Id: hal-01695230**

**<https://hal.science/hal-01695230>**

Submitted on 29 Jan 2018

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

# IMPLICAÇÕES ECONÔMICAS E SOCIAIS DE CENÁRIOS DE MITIGAÇÃO DE GASES DE EFEITO ESTUFA NO BRASIL ATÉ 2030



## SUMÁRIO TÉCNICO

# IMPLICAÇÕES ECONÔMICAS E SOCIAIS DE CENÁRIOS DE MITIGAÇÃO DE GASES DE EFEITO ESTUFA NO BRASIL ATÉ 2030

---

## *SUMÁRIO TÉCNICO*



Referência Bibliográfica:

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.; GROTTA, C.; HARFUCH, L.; WEISS, M.; SANTOS, L. A. S.; CARVALHO, P.T.; KISHINAMI, R.; ZVEIBIL, V.; SANTOS, L.; ELY, R. N.; MOREIRA, L. S. S.C.; KIMURA, W.; SANTOS, T.; TONI, A.; LEFREVE, J.; BACHION, L. C.; LIMA, R.; ZAMBIANCO, W.; NASSAR, A.; WALTER, M. K. C; ZICARELLI, I.; e OLIVEIRA, L. D. B.; Implicações Econômicas e Sociais de Cenários de Mitigação de Gases de Efeito Estufa no Brasil até 2030: Projeto IES-Brasil, Forum Brasileiro de Mudanças Climáticas – FBMC. COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, 2016.

Ficha Catalográfica:

---

LA ROVERE, E. L. et al., Implicações Econômicas e Sociais de Cenários de Mitigação de Gases de Efeito Estufa no Brasil até 2030: Sumário Técnico / Projeto IES-Brasil, Forum Brasileiro de Mudanças Climáticas – FBMC. COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, 2016

ISBN 978-85-285-0343-2

1. Meio Ambiente e Desenvolvimento. 2. Mudanças Climáticas. 3. Economia. 4. Impactos Sociais. 5. Cenários de Emissões. I. Título

---

## **EQUIPE DO PROJETO IES-Brasil**

### **FORUM BRASILEIRO DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS – COORDENAÇÃO INSTITUCIONAL**

Luiz Pinguelli Rosa – Coordenador Geral

Neilton Fidelis – Coordenador Executivo

### **CENTRO CLIMA/COPPE/UFRJ – COORDENAÇÃO TÉCNICA**

Emilio Lèbre La Rovere – Líder de Pesquisa e Modelagem

William Wills – Coordenador de Pesquisa e Modelagem Macroeconômica

Carolina Burle Schmidt Dubeux, Amaro Olímpio Pereira Junior e Sergio Henrique Ferreira da Cunha – Coordenadores de Estudos Setoriais

Isabella da Fonseca Zicarelli - Assistente de Coordenação

### **ECOSYNERGY – EQUIPE DE FACILITAÇÃO**

Barbara C. P. Oliveira – Líder de Processo e Facilitação

Sergio Marcondes

Luisa Santos Sette Câmara Moreira

### **EQUIPE DE MODELAGEM MACROECONÔMICA**

William Wills, Carolina Grottera, Romulo Neves Ely – Centro Clima/COPPE/UFRJ

Julien Lefevre – CIRED/CNRS (*Centre International de Recherche sur l'Environnement et le Développement*)

### **EQUIPE DE ESTUDOS SETORIAIS**

**Setor de Agricultura, Floresta e Outros Usos da Terra (AFOLU):** Marcelo Melo Ramalho Moreira, Leila Harfuch, Willian Kimura, Luciane Chiodi Bachion, Rodrigo Lima, Wilson Zambianco, André Nassar – Agroicone

Carolina B. S. Dubeux e Michele K.C. Walter – Centro Clima/COPPE/UFRJ

**Setor Energético:** Amaro Olímpio Pereira Junior, Sergio Henrique Ferreira da Cunha, Thauan Santos, Mariana Weiss, Larissa Albino da Silva Santos, Patricia Turano de Carvalho – Centro Clima/COPPE/UFRJ

**Setor Industrial:** Shiguelo Watanabe Jr, Roberto Kishinami e Ana Toni – CO<sub>2</sub> Consulting

**Setor de Resíduos:** Saulo Machado Loureiro e Carolina B.S. Dubeux – Centro Clima/COPPE/UFRJ e Victor Zveibil

**Setor de Transporte:** Amaro Olímpio Pereira Junior, Luan Santos e Luiza Di Beo Oliveira – Centro Clima/COPPE/UFRJ

### **EQUIPE DE COMUNICAÇÃO**

Roberta Nadalutti La Rovere – Comunicação

### **GERÊNCIA ADMINISTRATIVA**

Charlotte Heffer – Gerente de Projeto

Mariana Portellada – Assistente Administrativa

Yuri Ramos Alves – Estagiário

**PRODUÇÃO:**

Redação e Edição: Lia Lombardi, Neilton Fidelis e Charlotte Heffer

Revisão: Emilio L. La Rovere, William Wills, Carolina B. S. Dubeux, Carolina Grottera e Carmen Brandão Reis

Gerente de Projeto Gráfico: Maíra Cavalcante

Diretor de Arte: Marcelo Bastos

Editoração Final: Elza Ramos

## SUMÁRIO

|   |           |
|---|-----------|
| <b>Capítulo 1. Introdução.....</b>                                      | <b>8</b>  |
| 1.1. Apresentação.....  | 8         |
| 1.2. Metodologia.....   | 9         |
| 1.3. Diferenciais do IES-Brasil.....                                    | 12        |
| <b>Capítulo 2. Processo Participativo.....</b>                          | <b>14</b> |
| <b>Capítulo 3. Implicações Econômicas e Sociais.....</b>                | <b>18</b> |
| 3.1. Premissas.....   | 18        |
| 3.2. Análise dos Resultados.....  | 20        |
| <b>Capítulo 4. Análise Comparativa das Emissões.....</b>                | <b>28</b> |
| <b>Capítulo 5. Perspectivas Setoriais.....</b>                          | <b>32</b> |
| 5.1. AFOLU.....   | 34        |
| 5.2. Energia.....   | 40        |
| 5.3. Indústria.....   | 48        |
| 5.4. Resíduos.....  | 53        |
| 5.5. Transportes.....   | 57        |
| <b>Capítulo 6. Análise Comparativa das Emissões Setoriais.....</b>      | <b>61</b> |
| 6.1. Histórico das Emissões por Setor.....                              | 61        |
| 6.2. Evolução Futura das Emissões por Setor.....                        | 62        |
| <b>Capítulo 7. Curva de Custo Marginal de Abatimento.....</b>           | <b>67</b> |
| <b>Capítulo 8. Limitações e Recomendações para Estudos Futuros.....</b> | <b>73</b> |
| <b>Capítulo 9. Resumo das Conclusões.....</b>                           | <b>76</b> |
| <b>Referências Bibliográficas.....</b>                                  | <b>81</b> |







Capítulo 1  
**INTRODUÇÃO**

# 1. INTRODUÇÃO<sup>1</sup>

## 1.1. Apresentação

O Brasil é uma das maiores economias do mundo e tem uma **série de caminhos potenciais** para o seu desenvolvimento em longo prazo, considerando desafios de ordem econômica, social e ambiental.

**A vulnerabilidade do Brasil diante das mudanças climáticas, em razão de suas dimensões continentais e de diferenças regionais de caráter geográfico e socioeconômico**, torna imprescindível a contribuição do país ao esforço global de mitigação das emissões de gases de efeito estufa, de forma a garantir a segurança e o bem-estar dos brasileiros, através de políticas de mitigação em sinergia com o desenvolvimento sustentável.

O IES-Brasil busca **facilitar a tomada de decisão sobre as estratégias** a serem adotadas pelo governo, setor produtivo e sociedade civil, ao oferecer uma **visão das implicações econômicas e sociais** de diferentes conjuntos de ações de mitigação até 2030, horizonte de definição de metas globais de limitação das emissões, na 21ª Conferência das Partes da ONU (COP21) da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (UNFCCC).

A realização deste estudo foi solicitada pela ministra de Meio Ambiente, Izabella M. Teixeira, ao **Fórum Brasileiro de Mudanças Climáticas (FBMC)**, órgão presidido pela presidente da República que já havia assegurado o espaço político de discussão da posição brasileira levada à COP15, em Copenhague.

---

<sup>1</sup> Ver relatórios completos do estudo em [www.centroclima.coppe.ufrj.br](http://www.centroclima.coppe.ufrj.br)

## 1.2. Metodologia

Sob a coordenação do **Fórum Brasileiro de Mudanças Climáticas (FBMC)**, o projeto **IES-Brasil** adotou um processo inovador de elaboração de cenários de mitigação de emissões de GEE, que contou com a participação de diferentes setores da sociedade, buscando visões de futuro legítimas e plausíveis.

O processo participativo se inspirou no conceito desenvolvido pelo programa *MAPS International*, um processo que propicia a interação criativa entre a equipe de pesquisa e um grupo de especialistas de diferentes segmentos da sociedade, com facilitação independente, gerando um conjunto de resultados mais legítimo, pertinente e útil, se comparado a um exercício acadêmico realizado isoladamente da sociedade. A estrutura de governança deste processo gerou as interfaces adequadas entre os vários grupos envolvidos. Em sua estrutura, o projeto IES-Brasil contou com dois comitês:

1. O **Comitê de Elaboração de Cenários (CEC)**, composto por um grupo multidisciplinar de especialistas da academia, governo, movimento dos trabalhadores, setor privado e sociedade civil, convidados pelo FBMC, reunindo um grupo com a maioria dos especialistas brasileiros que acompanham o tema em nível nacional e internacional. O CEC foi facilitado pela Ecosynergy, empresa especializada em facilitação profissional de processos, e coordenado pelo FBMC, contribuindo na seleção das hipóteses e dos valores das diversas variáveis de entrada para a simulação de cenários.
2. E o **Comitê de Pesquisa e Modelagem (CPM)**, que tratou as informações e processou os dados de entrada, operando os modelos matemáticos de simulação de cenários. O CPM reuniu pesquisadores de diversas instituições do Brasil sob a coordenação do Centro Clima/COPPE/UFRJ, que desde 1991 vem produzindo diversos cenários neste campo, incluindo o “Estudo Comparativo entre Três Cenários de Emissão de Gases de Efeito Estufa no Brasil e uma Análise de Custo-Benefício” (La Rovere et al, 2011), contratado pelo Ministério do Meio Ambiente e o Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (MMA/PNUD), e apresentado ao Grupo Executivo sobre Mudança do Clima (Gex) em 2011, fornecendo subsídios aos ministérios envolvidos na elaboração de Planos Setoriais de Mitigação e Adaptação à Mudança do Clima.

Nas reuniões do Comitê de Elaboração de Cenários (CEC) foram constituídos grupos setoriais que se reuniram, ao longo de 2014 e 2015, presencialmente e virtualmente, definindo e estabelecendo as hipóteses de cinco cenários que narram possíveis trajetórias de emissões de GEE do país até 2030.

Tabela 1 – Descrição dos Cenários

|   |   |
|---|---|
| <b>Cenário de Plano Governamental – CPG</b>   | Cenário que considera a realização das medidas de mitigação já acordadas pelo governo e em implantação no país, constantes no Plano Nacional sobre Mudança do Clima e nos planos setoriais, conforme instrução da Política Nacional de Mudança do Clima (PNMC). |
| <b>Cenário de Mitigação Adicional 1 – MA1</b> | Cenário de mitigação adicional que, além das políticas adotadas no CPG, considera outras ou amplia a mitigação das medidas do CPG, aumentando sua taxa de penetração ou antecipando sua implementação.  |
| <b>MA1+Taxa de Carbono – MA1+T</b>            | Cenário de mitigação adicional com adoção global de uma taxa de carbono sobre a queima de combustíveis fósseis ao custo de US\$ 20/tCO <sub>2</sub> e. Considera todas as medidas de mitigação do MA1 e, ainda, a implementação da taxa.                        |
| <b>Cenário de Mitigação Adicional 2 – MA2</b> | Cenário de mitigação adicional mais ambicioso, que além das medidas adotadas no MA1, considera outras ou amplia a mitigação das medidas do MA1, aumentando sua taxa de penetração ou antecipando sua implementação.   |
| <b>MA2+ Taxa de Carbono – MA2+T</b>           | Cenário de mitigação adicional mais ambicioso com adoção global de uma taxa de carbono sobre a queima de combustíveis fósseis ao custo de US\$ 100 /tCO <sub>2</sub> e. Considera todas as medidas de mitigação do MA2 e, ainda, a implementação da taxa.       |

**O CPG não é, portanto, um cenário de linha de base (*business as usual*)**, pois já inclui o esforço governamental de mitigação de emissões de GEE. Está baseado no cenário macroeconômico do Plano Nacional de Energia (PNE) 2050, o plano energético de longo prazo do Ministério de Minas e Energia (MME)/Empresa de Pesquisa Energética (EPE), e adota premissas complementares, estabelecidas pelo CEC, sobre o prolongamento até 2030 dos Planos Setoriais de Mitigação e Adaptação da PNMC, e sobre variáveis não especificadas nos planos de governo (por exemplo, quanto à política futura de distribuição de renda).

As medidas de mitigação do cenário MA1 estão associadas a um esforço considerado significativo para remover obstáculos e permitir uma redução de emissões maior que a do CPG. As medidas de mitigação do cenário MA2 estão associadas a um esforço mais ambicioso para viabilizá-las, permitindo uma redução de emissões ainda maior que a do MA1. Nos dois casos, as medidas de mitigação foram implementadas através de um conjunto de instrumentos microeconômicos e de comando e controle.

Já nos **cenários com taxa de carbono, MA1+T e MA2+T**, o estudo testa outra forma de implementação destas medidas, que combina os instrumentos utilizados nos cenários MA1 e MA2 com a introdução de uma taxa de carbono em nível internacional, adotada pelos principais países emissores, incidente apenas sobre a queima de combustíveis fósseis.

O CEC foi dividido em **grupos setoriais** para possibilitar uma discussão mais aprofundada em temas específicos. Cada grupo identificou um conjunto de medidas de mitigação adicional em relação ao CPG, e para cada uma delas:

- Seu potencial de redução de emissões
- Os investimentos e custos associados à sua implantação
- Seus cobenefícios (outros efeitos positivos além da redução de emissões de GEE)
- As barreiras à sua adoção, tanto econômicas como não econômicas
- Os instrumentos econômicos e de comando e controle a serem mobilizados para superar as barreiras e viabilizar a realização de ações de mitigação, incluindo as medidas identificadas

As hipóteses selecionadas pelo CEC foram traduzidas em números e assim utilizadas pelo CPM para calcular os impactos das medidas de mitigação em cada setor, através de modelos matemáticos como o **MESSAGE** e o **LEAP** operados pelo Centro Clima para estimativas nos setores de energia e o modelo **BLUM**, operado pelo Agroicone para análise das políticas de uso do solo, agropecuária e florestas. Os resultados obtidos pelos modelos setoriais foram, então, utilizados para alimentar o modelo econômico **IMACLIM-BR**, de equilíbrio geral híbrido, operado pelo Centro Clima que permitiu avaliar de forma inédita as implicações macroeconômicas e sociais dos cenários de mitigação e suas inter-relações. Os resultados parciais do IMACLIM-BR, por sua vez, também alimentaram os modelos setoriais em rodadas sucessivas até um ponto de equilíbrio geral considerado satisfatório pelo CPM.

Figura 1 – Ilustração do Fluxo de Informações para a Integração dos Modelos Setoriais com o IMACLIM-BR



Seguindo orientação da equipe técnica, as emissões de GEE do país foram agrupadas em cinco setores: Agricultura, Florestas e Outros Usos da Terra (AFOLU, na sigla em inglês); Energia; Indústria; Resíduos e Transportes. Juntos eles representam todas as emissões de GEE do país.

Os principais resultados obtidos com os modelos setoriais estão descritos em **Perspectivas Setoriais** e os principais indicadores macroeconômicos e sociais obtidos com o IMACLIM-BR são analisados em **Implicações Econômicas e Sociais**.

### 1.3. Diferenciais do IES-Brasil

- Constituir um Comitê de Elaboração de Cenários multidisciplinar, envolvendo especialistas de diferentes áreas dos setores produtivos e sociais na elaboração dos cenários e na avaliação do potencial de penetração e implicações das medidas de mitigação, de forma participativa
- Usar um modelo de equilíbrio geral computável que representa os fluxos físicos e monetários de diversos setores da economia, e que permite aferir suas interações com os agentes econômicos e sociais, em distintas faixas de renda familiar
- Verificar os impactos das ações de mitigação em indicadores macroeconômicos e sociais, tais como PIB, inflação, emprego e distribuição de renda, além de seus custos e do nível de redução de emissões que propiciam
- Testar cenários com uma taxa global de carbono incidindo sobre emissões provenientes da queima de combustíveis fósseis



Capítulo 2

# PROCESSO PARTICIPATIVO

## 2. PROCESSO PARTICIPATIVO<sup>2</sup>

O Projeto IES-Brasil integra o processo político, o enfoque científico e a participação de *stakeholders* com vistas à obtenção de resultados relevantes para a tomada de decisão, tanto por agentes públicos quanto privados. O principal diferencial do projeto é seu caráter participativo e, para viabilizá-lo, foi empregada uma metodologia robusta de liderança dialógica e construção de cenários, baseada na experiência adquirida ao longo dos últimos oito anos pelo projeto *MAPS International (Mitigation Action Plans and Scenarios)*, em processos de construção de cenários de mitigação sob esta ótica na África do Sul, Chile, Colômbia e Peru.

Em função de sua complexidade e potencialidade, o IES-Brasil utilizou-se de um processo participativo estruturado e planejado em fases e resultados almejados (Tabela 2). A interação presencial e virtual entre especialistas e pesquisadores durante o trabalho de construção dos cenários e de análise de suas implicações econômicas e sociais foi feita de forma a garantir o cumprimento dos objetivos. O processo envolveu profissionais de facilitação focados na geração de resultados e impacto coletivo. Desta forma, se cumpriram outros objetivos específicos que deram sustentação e promoveram o cumprimento do objetivo principal, incluindo o fortalecimento de uma comunidade epistemológica na construção de políticas e estratégias – públicas e privadas – em mudança do clima no Brasil e o fomento de novos modelos de participação pública e governança, além de uma cultura de colaboração entre atores, na tomada de decisão estratégica em políticas públicas. A facilitação, assim, maximizou o potencial de interação entre os membros do Comitê de Elaboração de Cenários (CEC) e entre eles e a equipe de pesquisa.

A composição do CEC foi um elemento chave do Projeto IES-Brasil: quase 100 especialistas, com uma grande riqueza de experiências, integraram o Comitê na construção dos cenários de 2030. Ativos em diversos setores e instituições – comunidade científica; setor empresarial; empresas públicas e órgãos da administração direta do governo; sindicatos e órgãos representativos dos trabalhadores; organizações não governamentais –, os membros do CEC contribuíram com suas visões em desenvolvimento sustentável, planejamento energético, sistemas de transporte, florestas, agricultura e pecuária, gestão de resíduos, modelos de consumo, questões macroeconômicas e mitigação das emissões de GEE.

<sup>2</sup>Relatório completo em [www.centroclima.coppe.ufrj.br](http://www.centroclima.coppe.ufrj.br): Oliveira e Moreira (2015)



Os especialistas foram convidados a integrar o CEC em sua capacidade pessoal e, portanto, não atuaram representando uma instituição ou setor, exceto os participantes do governo, que atuaram em sua capacidade institucional.

O processo desenvolvido pelo *MAPS* privilegia a geração de cenários factíveis, úteis e legítimos. Assim, o diálogo é visto como instrumento intrínseco da geração de conhecimento a partir de um propósito e intenção estratégica compartilhados pelo grupo que dialoga. Este movimento, informado por perguntas-chave, cria a dinâmica para a geração de novas realidades. No projeto IES-Brasil, perguntas estratégicas orientaram o processo rumo ao resultado final – um conjunto de cenários de mitigação adicional. A equipe de pesquisa foi parte integral deste diálogo e copartícipe da construção do processo de engajamento e facilitação do diálogo entre os membros do CEC.

As cinco reuniões presenciais que ocorreram para a construção dos cenários até 2030 seguiram uma dinâmica específica, composta de quatro momentos de interação:

- a) reuniões preparatórias** – antes do encontro presencial, feitas virtualmente, por setor
- b) apresentações em plenárias** – durante a primeira parte do encontro presencial – sessão da manhã
- c) trabalho em grupos de especialistas organizados em mesas setoriais**, durante a segunda parte do encontro presencial – última sessão da manhã e sessão da tarde
- d) reuniões virtuais** após o encontro para atualizar os membros que não puderam comparecer e informar sobre encaminhamentos

Tabela 2 – Dinâmica das Reuniões

| ANTES DA REUNIÃO  | DURANTE A REUNIÃO   | DEPOIS DA REUNIÃO   |
|---|---|---|
| Preparação; envio de documentos; construção de perguntas-chave; consolidação dos resultados da reunião anterior | Participação plena; discussão de hipóteses e resultados; proposição de ideias e perguntas relevantes; decisão sobre encaminhamentos | Webinar de seguimento com os ausentes; uso da plataforma online para discussão e revisão de resultados; troca de informações entre os membros e comunicação com as equipes; trabalho em GTs |

Os temas tratados ao longo do processo colaborativo que engajou pesquisadores e membros do CEC em cinco reuniões plenárias presenciais e quase 40 reuniões setoriais virtuais e presenciais podem ser descritos nas seguintes 5 fases:

Tabela 3 – Temas Tratados em Cada Fase do Projeto

| Fases de engajamento e participação | Resultados obtidos  |
|-------------------------------------|---|
| <b>Fase 1</b>                       | Apresentação da metodologia do Projeto, ferramentas de modelagem e do processo colaborativo aos membros do CEC<br>Pactos de colaboração<br>Delineamento do Cenário de Referência  |
| <b>Fase 2</b>                       | Compartilhamento e aprimoramento do Cenário Preliminar de Referência<br>Proposta preliminar de hipóteses para os Cenários de Mitigação Adicional  |
| <b>Fase 3</b>                       | Apreciação dos resultados das análises de sensibilidade para o Cenário de Referência<br>Avaliação dos resultados preliminares da modelagem das Medidas de Mitigação Adicional e Ajustes   |
| <b>Fase 4</b>                       | Apresentação dos resultados das análises de sensibilidade dos Cenários de Mitigação Adicional e validação do Cenário de Referência Final<br>Compartilhamento dos resultados dos Cenários de Mitigação Adicional e aprimoramento<br>Análise comparativa dos Cenário de Referência e de Mitigação Adicional |
| <b>Fase 5</b>                       | Consolidação dos resultados finais dos Cenários de Mitigação Adicional<br>Construção da estratégia de engajamento e divulgação de resultados  |

A ministra do Meio Ambiente, Izabella M. Teixeira, abriu os trabalhos da 1ª reunião presencial e também fez uma intervenção na 3ª reunião.

Através das trocas, do aprofundamento na perspectiva do outro, das discordâncias/embares intelectuais e da construção de narrativas qualitativas do futuro, frutos de encontros sucessivos e encadeados que ampliaram e aprofundaram a agenda de colaboração, foi possível construir cinco cenários de mitigação para o Brasil até 2030, resultado final do Projeto IES-Brasil.

Os resultados dos cenários foram apresentados à ministra do Meio Ambiente, em reunião de consultas ministeriais sobre a posição brasileira para a COP21, e a versão final do estudo Ihe foi entregue em reunião especial do FBMC.



Capítulo 3

**IMPLICAÇÕES  
ECONÔMICAS E SOCIAIS**

### 3. IMPLICAÇÕES ECONÔMICAS E SOCIAIS<sup>3</sup>

Os cenários estabelecidos no projeto IES-Brasil se baseiam em **narrativas qualitativas de futuros plausíveis e pertinentes** a partir de hipóteses sobre a evolução da economia brasileira. De acordo com a abordagem da metodologia de cenários, **as projeções não são previsões**, ou seja, seu objetivo não é fornecer o futuro que se julga o mais provável.

Além disso, os cenários construídos pelo IES-Brasil até 2030 são exploratórios, e não normativos, ou seja, são dirigidos a verificar **quais as consequências resultantes das premissas selecionadas** em cada cenário, e não as formas de se chegar a um cenário mais desejado.

As premissas macroeconômicas adotadas em todos os cenários são bem semelhantes às do Plano Nacional de Energia (PNE) 2050, que por sua vez segue as diretrizes da Política Nacional sobre Mudança do Clima. Este plano setorial governamental é o de mais longo prazo, abrangendo todo o período de análise, até o horizonte de 2030, e mais além.

#### 3.1. Premissas

O IES-Brasil optou por utilizar taxas elevadas de crescimento econômico mundial e brasileiro, assim como o PNE 2050, uma vez que o objetivo é identificar as implicações econômicas e sociais da adoção de medidas de mitigação de emissões. Ainda que alguns analistas possam julgar improvável esta trajetória de crescimento, é pertinente considerá-la como o balizamento adequado para analisar de forma conservadora quais os ônus para o desenvolvimento econômico potencialmente advindos de uma busca por níveis mais baixos de emissões de GEE. Assim, a história qualitativa do futuro em todos os cenários inclui as seguintes linhas gerais para a evolução da economia brasileira:

- Melhoria no ambiente de negócios; evolução das políticas de concessões
- Melhoria no ambiente de negócios estimula o investimento no período, maturação de investimentos anteriores, solução parcial dos gargalos e avanço na produtividade brasileira
- Redução dos gargalos que inibem aumento de produtividade: educação, infraestrutura, inovação, reformas (previdenciária, trabalhista, etc.)

<sup>3</sup>Relatório completo em [www.centroclima.coppe.ufrj.br](http://www.centroclima.coppe.ufrj.br): Wills e Grottera (2015)

- Retomada de política de preços de derivados de petróleo e energia elétrica baseada na verdade tarifária
- Possibilidade de aumento do financiamento de investimentos via poupança externa
- Aumento do investimento público possibilitado pela redução da participação das despesas do governo no PIB
- Aumento dos investimentos, com destaque para os de infraestrutura, e os relacionados à exploração e produção de petróleo, somado aos impactos positivos sobre a balança de pagamentos das exportações do petróleo nacional

### 3.1.1. Premissas Comuns a Todos os Cenários

- 1. População mundial:** 8,3 bilhões em 2030
- 2. População nacional:** 223 milhões em 2030
- 3. Atividade econômica mundial:** crescimento médio de 3,2% a.a. entre 2021 e 2030
- 4. Preço médio do barril de petróleo:** US\$ 85/barril<sup>4</sup>
- 5. Divisão das famílias em classes de renda no ano base (2005):**
  - a) Classe 1: 16% mais pobres (1 a 2 Salários Mínimos)
  - b) Classe 2: 60% seguintes (2 a 10 Salários Mínimos)
  - c) Classe 3: 24% mais ricos (Mais de 10 Salários Mínimos)
- 6. Evolução da produtividade do trabalho:** o aumento dos investimentos em educação torna a mão de obra mais qualificada e produtiva, aumentando a competitividade brasileira, como consta no PNE 2050
- 7. Melhoria da distribuição de renda:** considerou-se que o Brasil continuará a diminuir a desigualdade entre as diferentes classes de renda, com o prosseguimento das políticas públicas distributivas e de transferência de renda, permitindo que o Índice de Gini<sup>5</sup> diminua de 0,57 em 2005 (0,54 em 2009 e 0,53 em 2013) para 0,42 em 2030
- 8. Taxa de câmbio:** 2,20 R\$/US\$<sup>6</sup>

<sup>4</sup> 85 US\$ de 2012 = 86.7 US\$ de 2015.

<sup>5</sup> Este indicador mede a desigualdade de renda numa escala de 0 a 1: quanto mais seu valor se aproxima de 1, mais desigual é a distribuição.

<sup>6</sup> 2,20 R\$/US\$ em 2005 = 3,12 R\$/US\$ em 2015, indicador definido com base em notas técnicas de especialistas contratados especialmente para o estudo.

### 3.1.2. Premissas do Cenário de Plano Governamental

1. **PIB brasileiro:** cresce a uma taxa média de cerca de 4% a.a. entre 2021 e 2030
2. **PIB per capita:** cresce a uma taxa de 3,6% a.a. entre 2021 e 2030
3. **Nível de investimento com relação ao PIB:** 21%
4. **Dívida líquida do setor público:** 26,9%
5. **Superávit primário:** 0,8% do PIB
6. **Saldo da balança comercial:** mantido próximo de zero em todo o período, considerando a hipótese de que o crescimento das importações resultante do melhor desempenho da economia nacional e o déficit em transações correntes puxado pelo saldo negativo do balanço de serviços e rendas absorverão as divisas advindas das exportações do Pré-Sal

### 3.1.3. Premissas dos Cenários de Mitigação Adicional

As diferentes medidas de mitigação adicionais aos planos governamentais consideradas neste estudo foram identificadas pelos membros do Comitê de Elaboração de Cenários (CEC), **incluindo diversas opções tecnológicas e de gestão** já avaliadas em estudos anteriores e, em alguns casos, **expandindo o leque para novas alternativas**. Cada setor tem medidas de mitigação específicas, conforme descrito nas análises setoriais.

Na maior parte dos casos, as premissas e dados que alimentaram os modelos matemáticos vieram dos planos governamentais, entre eles o Plano Nacional de Mudança do Clima, o Plano Nacional de Energia 2050, o Plano Decenal de Energia 2023, o Plano ABC, todos orientados pela Política Nacional de Mudança do Clima, além de informações de empresas públicas e privadas, como a Empresa de Pesquisa Energética, e agências reguladoras, principalmente no setor de Energia.

Nos cenários MA1+T e MA2+T se supôs que a receita com a arrecadação da taxa de carbono seria utilizada para abater igual montante de encargos trabalhistas. Em outras palavras, a adoção da taxa de carbono manteria uma neutralidade fiscal, apenas deslocando a tributação sobre o trabalho assalariado para a queima dos combustíveis fósseis, de acordo com o seu nível de emissão de GEE em cada uso. Vale lembrar que nesta hipótese, a mesma taxa de carbono seria aplicada nos demais países, de forma que a produção nacional de bens intensivos em energia não seria penalizada, graças à sua pegada de carbono inferior ao de seus competidores no mercado mundial.

## 3.2. Análise dos Resultados

Apenas para facilitar a compreensão, separamos a apresentação e análise dos resultados da modelagem macroeconômica em duas partes, uma econômica e outra social, embora haja uma relação indissociável entre estes dois aspectos.

### 3.2.1. Implicações Econômicas

A tabela a seguir apresenta os resultados obtidos pelo IES-Brasil para o cenário macroeconômico brasileiro em 2030, considerando as premissas e as hipóteses estabelecidas pelo CEC e CPM. A relação de todas as medidas de mitigação adotadas para cada setor e que permitiram a construção destes cenários está em Perspectivas Setoriais.

Tabela 4 – Resultados Obtidos para o Cenário Macroeconômico Brasileiro em 2030

|  | Ano-base 2005 | CPG    | MA1    | MA1+T  | MA2    | MA2+T  |
|--|---------------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Hipótese de população (milhões)                                    | 185           | 223    | 223    | 223    | 223    | 223    |
| PIB (trilhões de R\$ 2005)   | 2,14          | 5,55   | 5,59   | 5,54   | 5,68   | 5,46   |
| Taxa média anual de crescimento do PIB até 2030                    | –             | 3,88%  | 3,91%  | 3,87%  | 3,98%  | 3,81%  |
| Varição do PIB em relação ao CPG em 2030                           | –             | –      | 0,77%  | –0,17% | 2,46%  | –1,48% |
| PIB per capita (R\$ 2005)  | 11.570        | 24.868 | 25.060 | 24.826 | 25.480 | 24.500 |
| Taxa de desemprego (%)   | 9,90%         | 4,35%  | 4,08%  | 4,20%  | 3,50%  | 3,81%  |
| Aumento do nível geral de preços reais em relação a 2005 (%)       | –             | 16,1%  | 22,5%  | 20,4%  | 28,4%  | 17,4%  |
| Saldo da balança comercial (% PIB)                                 | 3,70%         | 0,72%  | 0,44%  | 0,70%  | 0,23%  | 1,43%  |
| Investimento total (bilhões R\$ 2005)                              | 332           | 1.152  | 1.100  | 1.120  | 1.039  | 1.139  |
| Taxa de Investimento (% do PIB)                                    | 15,5%         | 20,8%  | 19,7%  | 20,2%  | 18,3%  | 20,8%  |
| Investimentos em mitigação adicional no período (bilhões R\$ 2005) | –             | –      | 99     | 99     | 372    | 372    |
| Varição do nível de emissões de GEE em relação ao CPG, em 2030     | –             | –      | –21,7% | –21,4% | –38,5% | –38,1% |

## PIB

As medidas de mitigação adicionais às já em andamento podem contribuir para um maior crescimento econômico, dependendo da forma como são implementadas.

Se forem implementadas apenas com o conjunto de instrumentos microeconômicos e mecanismos de comando e controle adotados **nos cenários sem taxa de carbono, o PIB tende a crescer mais que no CPG**, sendo o cenário de maior crescimento o que adota as medidas de mitigação mais ambiciosas, o MA2. Neste caso, o PIB é cerca de **2,5% maior** que no CPG. Mesmo no cenário MA1, o PIB ainda é um pouco maior (0,77%) que no CPG.

Nestes casos, o maior crescimento do PIB se dá em razão da adoção de medidas de mitigação de melhor custo benefício e que produzem um efeito macroeconômico positivo, como por exemplo a expansão do etanol que tem um custo baixo por tonelada evitada, mas gera um grande número de empregos.

Mas se as medidas forem implementadas considerando-se, além dos mecanismos utilizados nos cenários MA1 e MA2, **a introdução da taxa de carbono, seu impacto sobre o PIB depende do nível da taxa**: até US\$ 20t/CO<sub>2</sub>e, o PIB não é inferior ao do CPG, como mostra o resultado do cenário MA1+T; mas com a taxa de US\$ 100/tCO<sub>2</sub>e, usada no cenário MA2+T, o PIB seria inferior ao do CPG, em razão de uma queda na atividade econômica como um todo, gerada pela imposição da taxa a todos os países.

### PIB per Capita

Da mesma forma que ocorre com o PIB, **as medidas de mitigação adicionais também podem fazer aumentar o PIB per capita**, em relação ao nível de R\$ 24.868,00 (reais de 2005) no CPG, sendo maior o crescimento no cenário mais ambicioso (MA2), quando o PIB per capita chega a R\$ 25.480,00. Já no cenário MA2+T, onde a economia tende a crescer menos, o PIB per capita chega a R\$ 24.500,00.

### Taxa de Desemprego

Em relação ao CPG, cuja taxa de desemprego foi de 4,35%, **o desemprego cai em todos os cenários de mitigação adicional**, mesmo com a adoção de uma taxa de carbono, sendo o setor energético o que cria o maior número de vagas. As razões para esta queda no desemprego, no entanto, são diferentes nos cenários com e sem taxa.

No caso dos cenários MA1 e MA2, em que as referidas taxas foram respectivamente de 4,08% e 3,50%, a queda ocorre porque o emprego acompanha o maior nível de atividade da economia, sendo o ganho de empregos mais importante no MA2.



Já nos cenários MA1+T e MA2+T, cujas taxas de desemprego foram de 4,20% e 3,81%, a queda ocorre porque, mesmo com um PIB menor que no CPG, foi adotada a hipótese de realocar toda a receita arrecadada com a taxa sobre a queima de combustíveis fósseis na desoneração da folha de pagamento. Essa escolha buscou estimular o nível de empregos mesmo com a redução da atividade econômica global e nacional gerada pela imposição da taxa.

### Nível Geral de Preços

Nos cenários de mitigação adicional, verifica-se um **aumento do nível geral de preços em relação ao CPG**, sendo que no cenário MA2 o aumento é maior, de 28,4% contra 16,1% no CPG.

Este aumento se dá em razão do enfoque metodológico adotado na modelagem do mercado de trabalho, que usa uma curva de salários. Nessa abordagem, quanto menor a taxa de desemprego – que cai em todos os cenários de mitigação adicional –, maior o poder de barganha do trabalhador, maior o salário, maior o custo de produção e maior o nível de preços.

Nos cenários com taxa de carbono, o aumento do nível de preços é menor que nos cenários de mitigação adicional sem a taxa, pois a taxa é utilizada para reduzir os encargos trabalhistas, contribuindo para reduzir o custo de produção em diversos setores, mesmo com um mercado de trabalho relativamente aquecido, sendo este efeito maior do que o aumento de custos dos setores atingidos pela taxa, resultando assim em aumento mais moderado do nível geral de preços.

### Saldo da Balança Comercial

**O saldo da balança comercial brasileira cai em relação ao CPG nos cenários de mitigação adicional sem taxa de carbono**, principalmente devido ao aumento do nível geral de preços que diminui a competitividade da indústria brasileira.

**Já nos cenários com taxa, o comportamento é diferente.** Como a competitividade da indústria brasileira cresce graças à menor pegada de carbono na produção de bens intensivos em energia (aço, metais não ferrosos, papel e celulose, dentre outros) decorrente de uma matriz energética mais limpa que a de seus concorrentes, a produção nacional dessas indústrias aumenta, reduzindo as importações de alguns produtos (metais não ferrosos, por exemplo) e aumentando as exportações de outros (papel e celulose, por exemplo). Assim, no cenário MA1+T, o saldo da balança comercial brasileira é de US\$ 39 bilhões, quase igual ao do CPG, que é de US\$ 40 bilhões. **E no MA2+T, o saldo quase dobra em relação ao CPG**, alcançando US\$ 78 bilhões.

## Investimento Total

Nos cenários de mitigação adicional, verifica-se uma **ligeira queda no investimento total e na taxa de investimento em relação ao CPG**, por razões distintas nos cenários com e sem taxa de carbono. Nos cenários sem taxa, essa queda é consequência da perda de competitividade da indústria, que se retrai nestes cenários, reduzindo seus investimentos. No cenário MA2, os investimentos totais somaram R\$ 1,04 trilhão, enquanto no CPG é de R\$ 1,15 trilhão.

Já nos cenários com taxa, os investimentos totais se aproximam dos do CPG, R\$ 1,14 trilhão, já que competitividade da indústria nacional cresce, melhorando o saldo da balança comercial e aumentando o volume de investimentos, apesar da perda no PIB em relação ao CPG e aos cenários sem taxa.

O mesmo comportamento é observado nas taxas de investimento em relação ao PIB.

## Investimento em Mitigação Adicional

Para os cenários de mitigação adicional MA1 e MA1+T seriam necessários investimentos de R\$ 99 bilhões no período 2015-2030, e para os cenários de mitigação adicional mais ambiciosa (MA2 e MA2+T), de R\$ 372 bilhões (reais de 2005).

### 3.2.2. Implicações Sociais

#### Postos de Trabalho

**Os cenários de mitigação adicional tendem a gerar mais postos de trabalho que o cenário base (CPG)**, ainda que por razões distintas.

Tabela 5 – Postos de Trabalho por Setor Econômico (milhares)

|                        | Ano-base 2005 | CPG            | MA1            | MA1+T          | MA2            | MA2+T          |
|------------------------|---------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| Agropecuária           | 19.000        | 14.547         | 14.468         | 14.464         | 14.505         | 14.544         |
| Indústria              | 9.783         | 20.458         | 20.125         | 20.236         | 19.728         | 20.278         |
| Setor energético       | 2.755         | 6.380          | 7.080          | 7.120          | 7.484          | 7.620          |
| Transportes e Serviços | 59.674        | 85.912         | 85.978         | 85.680         | 86.732         | 85.572         |
| <b>Total</b>           | <b>91.212</b> | <b>127.297</b> | <b>127.652</b> | <b>127.499</b> | <b>128.449</b> | <b>128.014</b> |

Nos cenários MA1 e MA2, o número é maior em razão do maior nível de atividade da economia, sendo que o cenário MA1 gera 355 mil vagas a mais que o CPG e o cenário mais ambicioso (MA2), 1,152 milhão de vagas adicionais.

Já nos cenários com taxa, MA1+T e MA2+T, apesar do nível de atividade da economia ser mais baixo, verifica-se a manutenção dos postos de trabalho. Isso acontece graças à hipótese adotada pelo CEC de reciclagem da taxa de carbono, ou seja, o uso de toda a receita obtida com a taxa de carbono na redução de encargos trabalhistas, permitindo a manutenção de postos de trabalho. No cenário MA1+T o ganho é de 202 mil empregos em relação ao CPG, e no cenário MA2+T, o ganho é de 717 mil postos de trabalho adicionais.

**O setor onde foram criadas mais vagas, em todos os cenários, foi o energético**, em razão do aumento da participação de energias renováveis na matriz energética – especialmente a produção de biomassa e biocombustíveis, que são mais intensivas em mão de obra. Destaca-se ainda que nos cenários com taxa de carbono, a criação destas vagas é ainda mais significativa.

### Renda Anual Média Familiar

Em relação à renda anual média das famílias, verifica-se que **as medidas de mitigação adicional selecionadas podem contribuir para o aumento da renda anual média das famílias** em todos os cenários de mitigação adicional, com ganhos maiores no cenário MA2.

Tabela 6 – Renda Anual Média Familiar (R\$ de 2005)

|   | Ano-base 2005 | CPG    | MA1    | MA1+T  | MA2    | MA2+T  |
|---|---------------|--------|--------|--------|--------|--------|
| <b>Classe 1</b><br>(16% mais pobres)<br>(R\$ de 2005)<br>Comparação com CPG em 2030 | 1.169         | 3.689  | 3.956  | 3.850  | 4.300  | 3.803  |
|   | –             | –      | 7,2%   | 4,4%   | 16,5%  | 3,1%   |
| <b>Classe 2</b><br>(60% seguintes)<br>(R\$ de 2005)<br>Comparação com CPG em 2030   | 4.421         | 12.306 | 13.173 | 12.825 | 14.248 | 12.614 |
|   | –             | –      | 7,0%   | 4,2%   | 15,8%  | 2,5%   |
| <b>Classe 3</b><br>(24% mais ricos)<br>(R\$ de 2005)<br>Comparação com CPG em 2030  | 26.360        | 53.882 | 57.556 | 56.105 | 61.832 | 54.947 |
|   | –             | –      | 6,8%   | 4,1%   | 14,8%  | 2,0%   |

Em todos os cenários, **o maior ganho verificado é o da classe 1, das famílias mais pobres**, para a qual o salário é mais relevante na composição da renda que nas classes mais ricas, que têm outras fontes de renda, como a derivada de investimentos e de aluguéis, não afetadas pelas políticas de mitigação. Desta forma, o menor ganho verificado nos cenários de mitigação adicional é o das famílias mais ricas.

No caso dos cenários com taxa, onde o PIB é menor que no CPG, o mercado de trabalho se mantém aquecido em razão da redução dos encargos trabalhistas e a renda também cresce.

Estes fatos conjugados apontam que as políticas de mitigação adicional apresentadas neste estudo **tendem a contribuir para uma ligeira melhora na distribuição de renda** no país no período. No entanto, esta melhora é pequena demais para ser captada pelo Índice de Gini, que é de 0,42 em 2030, para todos os cenários (a grande melhora se dá já no CPG, com a hipótese de manutenção da política governamental que permitiu a evolução de 0,57 em 2005 para 0,53 em 2013).

### Poder de Compra

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 7 – Poder de Compra das Famílias (base 2005 = 1)

|                 | Ano-base<br>(2005=1) | CPG  | MA1  | MA1+T | MA2  | MA2+T |
|-----------------|----------------------|------|------|-------|------|-------|
| Renda classe 1  | 1                    | 3,16 | 3,38 | 3,29  | 3,68 | 3,25  |
| Poder de compra | 1                    | 2,60 | 2,68 | 2,64  | 2,87 | 2,71  |
| Renda classe 2  | 1                    | 2,78 | 2,98 | 2,90  | 3,22 | 2,85  |
| Poder de compra | 1                    | 2,22 | 2,27 | 2,23  | 2,38 | 2,25  |
| Renda classe 3  | 1                    | 2,04 | 2,18 | 2,13  | 2,35 | 2,08  |
| Poder de compra | 1                    | 1,62 | 1,64 | 1,61  | 1,66 | 1,58  |

Nos cenários de mitigação adicional, uma parte dos ganhos de renda familiar em relação ao CPG é absorvida por um aumento do nível de preços maior do que no CPG, conforme apresentado anteriormente. 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, em relação ao CPG:

- O poder de compra aumenta em todos os cenários de forma significativa para a classe 1, a mais pobre
- O poder de compra também aumenta para a classe 2, a classe intermediária
- O poder de compra aumenta marginalmente para a classe 3, a mais abastada, nos cenários de mitigação adicional sem taxa, mas diminui, em relação ao CPG, nos cenários com taxa

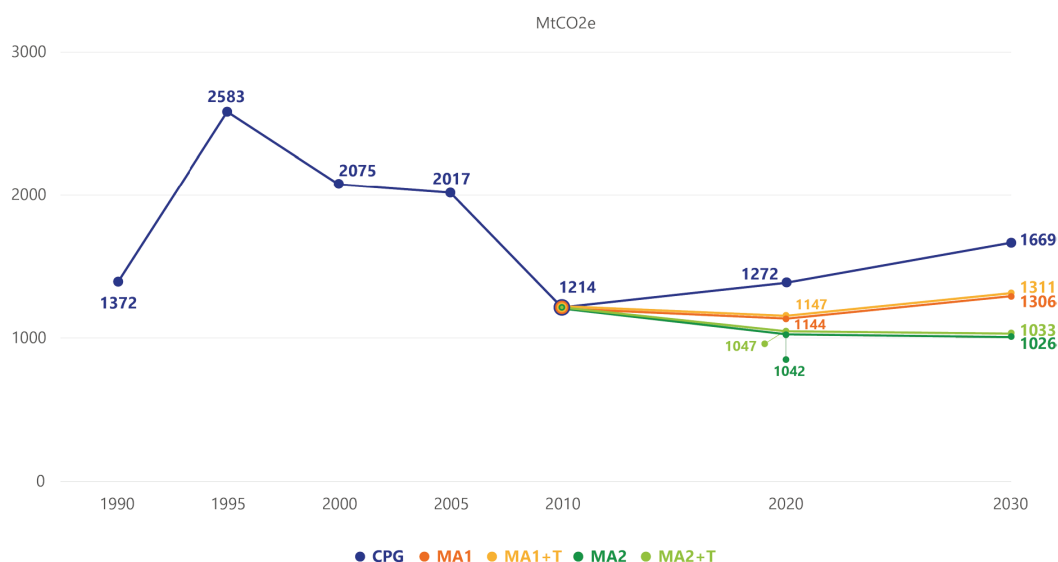


Capítulo 4

**ANÁLISE COMPARATIVA  
DAS EMISSÕES**

## 4. ANÁLISE COMPARATIVA DAS EMISSÕES<sup>7</sup>

Gráfico 1 – Evolução das Emissões 1990 a 2030 nos Cinco Cenários



No CPG, o país deve chegar a 2020 com suas emissões de GEE em 1,27 bilhão de tCO<sub>2</sub>e, bem abaixo do objetivo voluntário de cerca de 2 bilhões de tCO<sub>2</sub>e, assumido em Copenhague e registrado na Lei 12.187, que instituiu a Política Nacional sobre Mudança do Clima. Para alcançar esse nível, que é similar ao de 2010, o país vem se valendo de diversos programas governamentais de mitigação nos quais se destacam os resultados obtidos com o esforço de controle do desmatamento.

Sem a adoção de novas medidas de mitigação, as emissões no CPG tendem a crescer a partir de 2020, principalmente em razão do ritmo de crescimento da queima de combustíveis fósseis e da agropecuária, podendo alcançar 1,67 bilhão de tCO<sub>2</sub>e em 2030, 22% acima do nível de 1990 mas ainda 17% abaixo do de 2005. As medidas de mitigação adicional selecionadas geram uma redução significativa das emissões de 2030, em 22% no caso de MA1 e MA1+T, e de 39% no caso de MA2 e MA2+T, na comparação com o CPG. Isto faria com que as emissões ainda cresçam a partir de 2020 nos cenários MA1 e MA1+T, mas cheguem a 2030 em patamar 5% inferior ao de

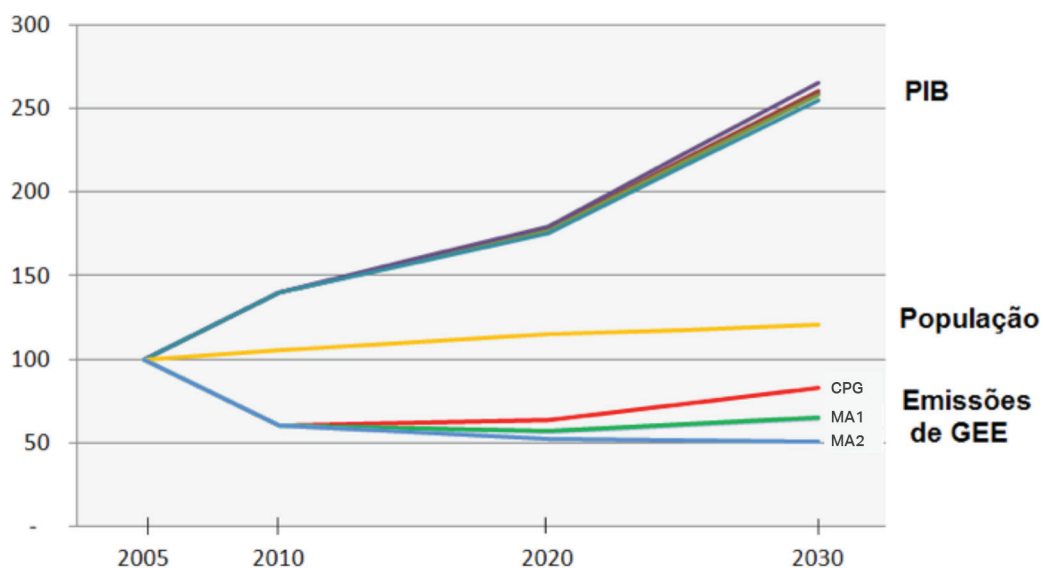
<sup>7</sup>Relatório completo em [www.centroclima.coppe.ufrj.br](http://www.centroclima.coppe.ufrj.br): Wills e Grottera (2015)

1990 e 35% abaixo das de 2005. Já nos cenários MA2 e MA2+T seria possível estabilizar as emissões a partir de 2020, atingindo em 2030 um nível 25% abaixo do de 1990 e 49% menor do que em 2005.

Essas medidas representam um amplo espectro de opções que variam de acordo com o setor e com os recursos financeiros disponíveis, mas boa parte destas ações têm baixo custo e uma capacidade de mitigação significativa (ver capítulos 6. *Análise Comparativa das Emissões por Setor* e 7. *Curva de Custo Marginal de Abatimento*).

Vale lembrar ainda que nos cenários com taxa global de carbono há uma redução nas emissões em relação ao CPG e um aumento em relação aos cenários sem taxa, mas nestes casos, o PIB é menor em razão da diminuição da atividade econômica provocada pela implementação da taxa global.

Gráfico 2 – População, PIB e Emissões de GEE nos Cenários 2005 – 2030 (base: 2005 = 100)



Os cenários ilustram a dinâmica futura de uma dissociação parcial entre o crescimento econômico e a evolução das emissões de GEE do país. Com a queda na taxa de crescimento da população brasileira em sua trajetória rumo a uma estabilização em torno de 2040, mesmo em um cenário de alto crescimento econômico as medidas de mitigação já em andamento no CPG devem permitir a estabilização das emissões entre 2010 e 2020 e um aumento moderado de 2020 a 2030, bem abaixo da taxa de crescimento da economia.

Medidas adicionais de mitigação podem fazer o país chegar a 2030 com um nível de 51% das emissões de 2005, apesar de a renda média per capita se multiplicar por um fator de 2,12 no MA2+T e 2,20 no MA2. A relação entre emissões e PIB (medida em toneladas de CO<sub>2</sub>e por milhão de US\$ de 2005) caiu pela metade, de 2 para 1, entre 2005 e 2010; e em 2030, seria de 0,66 no CPG, 0,5 no MA1 e 0,4 no MA2 (ver Gráfico 2).





Capítulo 5

**PERSPECTIVAS SETORIAIS**

## 5. PERSPECTIVAS SETORIAIS

Este capítulo traz a relação das medidas de mitigação adicional selecionadas pelo Comitê de Elaboração de Cenários (CEC) para cada setor e alguns dos principais resultados da modelagem.



## 5.1. AFOLU

## 5.1. AFOLU<sup>8</sup>

### 5.1.1. Medidas de Mitigação

As medidas de mitigação introduzidas nas simulações para o setor de Agricultura, Florestas e Uso da Terra (AFOLU, na sigla em inglês) são basicamente aquelas constantes do Plano ABC ou dos demais planos setoriais da Política Nacional sobre Mudança do Clima (PNMC), que nos cenários de mitigação adicional foram simuladas com maior penetração, quando consideradas viáveis.

As emissões provenientes do consumo de combustíveis do setor agrícola estão contabilizadas no setor de Energia, de modo a evitar a dupla contagem.

1. Quanto às **práticas agrícolas**, as medidas de mitigação consideradas foram:
  - a) **Sistema de Plantio Direto (SPD)** que consiste no revolvimento mínimo possível do solo, formação e manutenção de palhada e rotação de cultura, acumulando-se assim carbono no solo
  - b) **Fixação Biológica de Nitrogênio (FBN)** por meio de bactérias inoculantes, o que possibilita redução significativa da aplicação de fertilizantes nitrogenados, principalmente nas culturas de soja e milho
  - c) **Manejo (tratamento) de dejetos animais** para evitar a formação de metano;
  - d) **Recuperação de pastagens degradadas**, o que evita as emissões do pasto degradado, absorve carbono e aumenta a lotação (animais/ha)
  - e) **Sistemas agroflorestais**, onde ocorre a integração lavoura-pecuária com capacidade de evitar as emissões do pasto degradado, absorver carbono e aumentar a lotação
  - f) **Florestas plantadas comerciais** que têm a capacidade de fixar estoques de carbono (88 tC/ha com Pinus e 49 tC/ha com Eucalipto)
2. Quanto **aos estoques florestais**, cuja manutenção limita a expansão da área disponível para a agropecuária, as **medidas consideradas** foram:
  - a) No CPG, manutenção dos estoques inferidos da redução das taxas de desmatamento estabelecidas pelo Plano Nacional sobre Mudança do Clima (PNMC), que nas simulações demonstraram ser maiores que as necessárias para a atividade agropecuária, já que os ganhos de produtividade de pastagens, entre outras ações, reduzem o ritmo de expansão da fronteira agrícola
  - b) No MA1, os níveis de manutenção dos estoques florestais foram ampliados, disponibilizando para as atividades agropecuárias apenas a área efetivamente necessária

<sup>8</sup>Relatório completo em [www.centroclima.coppe.ufrj.br](http://www.centroclima.coppe.ufrj.br): Moreira et al. (2015)

- c) No MA2, o percentual dos estoques florestais originais por bioma foi estabelecido conforme abaixo, segundo as sugestões do CEC:
- **80% na Amazônia** – pela necessidade de manter grande maciço florestal para manter a bomba biótica que alimenta as chuvas no Centro Sul
  - **33% na Mata Atlântica e 35% no Cerrado** – para manter ou recuperar cerca de um terço de cobertura florestal
  - **50% na Caatinga** – para manter cobertura florestal num ambiente muito sujeito a processos de desertificação
  - **20% no Pampa e 60% no Pantanal** – para preservar basicamente a formação existente
3. No setor Sucroenergético, a área de cana é estimada em função da demanda por etanol (consumo doméstico e exportações) e pela penetração do etanol 2G no MA2. Já para a produção de biodiesel, considerou-se que a participação do óleo de soja no biodiesel total passe dos atuais 75% para 76% no CPG, 68% no MA1 e para 61% no MA2, sendo complementada por outras matérias primas residuais, como gorduras animais, óleo de algodão e óleo de fritura, e no MA1 e MA2 por óleo de palma.

Tabela 8 – Medidas de Mitigação para AFOLU nos Cenários

| Medida   | CPGem 2030                               | MA1 em 2030                              | MA2 em 2030                              |
|--|--|--|--|
|  | –  | Valores adicionais ao CPG                | Valores adicionais ao CPG                |
| Sistema plantio direto <sup>I</sup>  | 100% área soja + milho 1ª safra          | 0%                                       | 0%                                       |
| Fixação biológica de nitrogênio (FBN) <sup>II</sup>  | 2,0 milhões de ha                        | 100% da área milho 1ª safra              | 100% da área milho 1ª safra              |
| Manejo de dejetos suínos <sup>III</sup>  | 4,4 milhões de m <sup>3</sup> de dejetos | 4,4 milhões de m <sup>3</sup> de dejetos | 4,4 milhões de m <sup>3</sup> de dejetos |
| Recuperação de pastagem  | 15,5 milhões de ha                       | 4,5 milhões de ha                        | 4,5 milhões de ha                        |
| Florestas plantadas <sup>IV</sup>  | 11,5 milhões de ha                       | 0,2 milhão de ha                         | 2,4 milhões de ha                        |
| Sistemas agroflorestais  | 4,2 milhões de ha                        | 1,8 milhão de ha (IPF)                   | 1,8 milhão de ha (IPF)                   |
| Área ocupada pela agropecuária <sup>V</sup> (235,9 milhões de ha em 2010)                    | 242,2 milhões de ha                      | – 0,8 milhão de ha                       | – 7,8 milhões de ha                      |
| Restauração florestal da mata atlântica <sup>VI</sup> (floresta nativa para fins ecológicos) | –  | –  | 9,7 milhões de ha                        |

| Medida   | CPGem2030  | MA1 em 2030   | MA2 em 2030  |
|--|--|---|--|
|  | –  | Valores adicionais ao CPG   | Valores adicionais ao CPG  |
| Produção de etanol de cana (produção, inclusive exportação constante de 5 bilhões de litros)               | 62 bilhões de litros em 7,5 milhões de ha  | +10 bilhões de litros em + 1 milhão de ha   | +17 bilhões de litros em +1 milhão de ha (7 bilhões de 2G)   |
| Produção de biodiesel (inclui exportação de 1,9 bilhão de litros no MA1 e de 3,5 bilhões de litros no MA2) | 6,5 bilhões de litros (4,9 bi a partir do óleo de soja e 1,6 bi a partir de outras fontes) | +3,0 bilhões de litros (+1,5 bi a partir do óleo de soja e + 1,5 a partir de outras fontes) | +5,4 bilhões de litros (+2,4 a partir do óleo de soja e + 3,0 a partir de óleo de dendê e outras fontes) |

I. Área de expansão de soja e milho verão.

II. Inoculante para milho. A área equivale a 3,8 milhões de ha no MA1 e 2,6 milhões de ha no MA2.

III. 2.245 propriedades (CPG) e 4.490 propriedades (MA1 e MA2).

IV. Florestas de espécies de crescimento rápido para fins comerciais com área incluída nos valores totais de agropecuária. Nos MA1 e MA2 devem-se somar às áreas de florestas dos sistemas agroflorestais para obter a área adicional total.

V. A área ocupada é um resultado do modelo de demanda por área agrícola.

VI. Restauro da Mata Atlântica, em face das metas de manutenção dos estoques florestais.

É importante notar que a área ocupada pela agricultura (235,9 milhões e ha em 2010) difere da área disponível para agricultura. Em face das restrições edafoclimáticas ou legais, ainda haveria uma disponibilidade de acréscimo de 43,5 milhões de hectares para a atividade agrícola, no CPG, em 2030.

Em comparação, a iNDC<sup>7</sup> enviada pelo Governo Brasileiro à Convenção do Clima no final de setembro de 2015 menciona as seguintes medidas de mitigação a serem adotadas pelo Brasil até 2030, no setor de AFOLU:

- Implantação do Código Florestal, assegurando o fim do desmatamento ilegal na Amazônia e a compensação das emissões causadas pelo desmatamento legal, através da restauração e reflorestamento de 12 Mha (milhões de hectares), dentro da faixa entre o CPG (11,5 Mha), o MA1 (11,7 Mha) e o MA2 (13,9 Mha);
- Restauração de 15 Mha de pastagens degradadas, um pouco abaixo da faixa de 15,5 Mha no CPG a 20 Mha no MA1 e no MA2;
- Aumento de 5 Mha na área de sistemas integrados de lavoura/pecuária/ florestas, dentro da faixa entre o CPG (4,2 Mha) e o MA1 e o MA2 (6 Mha).

### 5.1.2. Resultados da Modelagem – Produção Agropecuária

A introdução das medidas adicionais de mitigação tende a aumentar a produção agrícola em 2030. Apenas a produção de açúcar e a de carnes se mantém estáveis. O tamanho do rebanho bovino permanece igual ao do CPG até 2020, e apresenta uma pequena queda na comparação com o CPG em 2030, graças aos ganhos de produtividade.

<sup>7</sup> iNDC (Intended Nationally Determined Contribution) é a contribuição brasileira para atingir o objetivo da Convenção do Clima, apresentada à COP21 da UNFCCC.

Tabela 9 – Produção Agropecuária (Milhões de toneladas)

| Produção<br>(Milhões de toneladas) | 2010 | CPG  |       | MA1   | MA2   |
|------------------------------------|------|------|-------|-------|-------|
|                                    |      | 2020 | 2030  | 2030  | 2030  |
| Grãos                              | 148  | 230  | 312   | 315   | 316   |
| Farelo de soja                     | 27   | 34   | 43    | 44    | 45    |
| Óleo de soja                       | 7    | 8    | 10    | 11    | 11    |
| Etanol*                            | 27   | 46   | 62    | 72    | 79?   |
| Açúcar                             | 38   | 44   | 54    | 54    | 54    |
| Moagem de cana                     | 620  | 896  | 1.119 | 1.240 | 1.241 |
| Madeira de florestas comerciais**  | –    | 390  | 460   | 510   | 600   |
| Carnes                             | 25   | 31   | 37    | 37    | 37    |
| Rebanho bovino***                  | 210  | 216  | 220   | 215   | 216   |

\*Bilhões de litros . \*\*mil m3 . \*\*\*Milhões de cabeças

### 5.1.3. Emissões

Em relação às emissões de GEE, a adoção das medidas de mitigação adicional para AFOLU resulta em uma redução de 28% nas emissões do MA1 e de 56% nas do MA2 em 2030, na comparação com o CPG.

Tabela 10 – Emissões Líquidas (Milhões de tCO<sub>2</sub>e)

| Atividades/Medidas de<br>Mitigação (Milhões de<br>tCO <sub>2</sub> e) | 1990  | 2010 | CPG  |      | MA1  | CMA2 |
|---|-------|------|------|------|------|------|
|   |       |      | 2020 | 2030 | 2030 | 2030 |
| Emissões médias anuais de<br>MUT                                      | 1.156 | 586  | 175  | 170  | 126  | 115  |
| Remoções médias anuais de<br>MUT                                      | –345  | –317 | –1   | –1   | –3   | –7   |
| Calcário/queima de cana/<br>arroz irrigado                            | 17    | 25   | 20   | 20   | 21   | 20   |
| Fermentação entérica de<br>bovinos                                    | 173   | 237  | 246  | 253  | 247  | 248  |
| Manejo de dejetos   | 16    | 21   | 11   | 13   | 6    | 6    |
| Solos agrícolas   | 91    | 142  | 162  | 178  | 179  | 181  |
| Sistema de plantio direto   | 0     | 0    | –22  | –23  | –25  | –24  |
| Recuperação de pastagem   | 0     | 0    | –48  | –5   | –48  | –48  |
| Sistemas agroflorestais   | 0     | 0    | –26  | –4   | –39  | –39  |
| Florestas plantadas não<br>consorciadas                               | *     | *    | –60  | –31  | –53  | –93  |

| Atividades/Medidas de Mitigação (Milhões de tCO <sub>2</sub> e) | 1990         | 2010       | CPG        |            | MA1        | CMA2       |
|---|--------------|------------|------------|------------|------------|------------|
|   |              |            | 2020       | 2030       | 2030       | 2030       |
| Restauro da Mata Atlântica                                      | 0            | 0          | 0          | 0          | 0          | -111       |
| Emissões  | 1.453        | 1.011      | 614        | 634        | 579        | 570        |
| Remoções  | -345         | -317       | -157       | -64        | -168       | -322       |
| <b>Total de Emissões Líquidas AFOLU</b>                         | <b>1.108</b> | <b>694</b> | <b>456</b> | <b>570</b> | <b>410</b> | <b>249</b> |

\*Consideradas dentro de Remoções Médias de MUT.

Notas: (1) MUT, Mudança de Uso da Terra, corresponde a desmatamento, florestamento e reflorestamento;

(2) valores de calcário, queima de cana e arroz irrigado variam conforme varia o tamanho da área cultivada

(3) valores de fermentação entérica variam conforme varia o tamanho do rebanho; (4) valores negativos correspondem a sequestro de carbono da atmosfera.

**Estoques de carbono** – Boa parte da mitigação adicional está relacionada à variação de estoques de carbono no solo e na biomassa (mudança de uso da terra, recuperação de pastagem, sistemas agroflorestais, florestas plantadas e restauro da Mata Atlântica). As florestas plantadas são a principal atividade responsável pelo acúmulo de estoques de carbono no MA1. No MA2 a principal variação de estoque está relacionada ao restauro da Mata Atlântica.

**Emissões da agropecuária** – Observa-se uma redução ou manutenção das emissões ao longo do tempo em todos os cenários, com exceção do ano 2030 no CPG, indicando a necessidade de se renovar e aprofundar as políticas de mitigação voltadas ao setor. O MA1 mostra que a manutenção e a extensão das medidas em implementação no CPG possibilitam preservar a produção agropecuária sem gerar mais emissões. O MA2 mostra que é possível manter a tendência de queda de emissões mesmo com demandas adicionais por insumos agrícolas para produção de biocombustíveis líquidos e sólidos (que geram mitigação em outros setores). Para isso é necessário combinar tecnologias de biocombustíveis com alta eficiência e expansão dos estoques florestais.

**Florestas comerciais** – O aumento de demanda por produtos madeireiros nos diferentes cenários, combinado à gradual eliminação do consumo de madeira de origem não sustentável, levou a um aumento nos estoques de carbono acumulado nas florestas de rápido crescimento. Tal aumento equivale a uma absorção de 31 MtCO<sub>2</sub>/ano no CPG, e cresce para atingir 53 MtCO<sub>2</sub>/ano no MA1 e 93 milhões de tCO<sub>2</sub>/ano no MA2.

**Cobenefícios** – Além da redução de emissões de GEE, as medidas de mitigação adicional introduzidas no setor de AFOLU geram outros grandes benefícios ambientais, particularmente a provisão de serviços ecossistêmicos, como oferta de recursos hídricos, controle do microclima, ciclagem de nutrientes, polinização, conservação de solo, entre outros.





## 5.2. ENERGIA

## 5.2. Energia<sup>9</sup>

O sistema energético contempla o conjunto de atividades emissoras de GEE associadas à produção e consumo de energia no país. Apesar da modelagem dividir setores de Oferta e Demanda de Energia, este item traz um resumo agregado das medidas de mitigação adotadas em ambos, com exceção das emissões do uso de energia nos setores de Indústria e Transportes, que por sua relevância são analisadas em itens específicos mais adiante.

### 5.2.1. Medidas de Mitigação

Tabela 11 – Medidas de Mitigação na Oferta e Demanda de Energia

| Medidas de Mitigação pelo Lado da Oferta de Energia                | Nível CPG em 2030  | Nível MA1 em 2030  | Nível MA2 em 2030  |
|--|--|--|--|
| Redução da expansão de usinas termelétricas a combustíveis fósseis | Carvão Mineral: CapInst = 4.705 MW<br>Gás Natural: CapInst = 24.330 MW | Carvão Mineral: CapInst = 3.705 MW<br>Gás Natural: CapInst = 19.300 MW | Carvão Mineral: CapInst = 3.705 MW<br>Gás Natural: CapInst = 14.134 MW           |
| Expansão da geração a bagaço de cana                               | Capacidade instalada: 17.170 MW  | Capacidade instalada: 27.170 MW  | Capacidade instalada: 27.170 MW  |
| Expansão da geração eólica   | Capacidade instalada: 24.325 MW  | Capacidade instalada: 31.325 MW  | Capacidade instalada: 29.325 MW  |
| Expansão da geração solar PV concentrada                           | Capacidade instalada: 6.500 MW   | Capacidade instalada: 6.500 MW   | Capacidade instalada: 8.500 MW   |
| PV em geração distribuída  | 10.000 MW  | 10.000 MW  | 10.000 MW  |
| Expansão da geração hidrelétrica                                   | Capacidade instalada: 134.086 MW                                       | Capacidade instalada: 134.086 MW                                       | Capacidade instalada: 144.086 MW   |
| Melhorias em refinarias  | Óleo processado: 2,68 Mbbl/dia   | Mantém CPG   | Ganhos de eficiência energética de 3% em todas as refinarias existentes até 2025 |

<sup>9</sup>Relatórios completos em [www.centroclima.coppe.ufrj.br](http://www.centroclima.coppe.ufrj.br): Pereira et al. (2015)

| Medidas de Mitigação pelo Lado da Demanda de Energia  | Nível CPG em 2030             | Nível MA1 em 2030   | Nível MA2 em 2030  |
|---|-------------------------------|---|--|
| Aumento da eficiência energética no setor residencial | Consumo energético: 33,7 Mtep | Maior eficiência nos queimadores dos fogões a GLP   | Maior penetração de aquecedores termossolares e substituição de lâmpadas fluorescentes por LED |
| Aumento da eficiência energética no setor de serviços | Consumo energético: 24,0 Mtep | Substituição de lâmpadas fluorescentes tubulares de 40 W pelas lâmpadas fluorescentes tubulares de 32 W | Igual ao MA1   |
| Uso de biocombustíveis no setor agropecuário          | Consumo energético: 14,6 Mtep | Uso de 10% de biodiesel misturado ao óleo diesel a partir de 2020.                                      | Mistura de biodiesel aumentaria para 15% a partir de 2020                                      |

Com relação à **capacidade instalada de geração**, conforme mostrado na Tabela 11, o CPG prevê um moderado acréscimo das usinas a carvão mineral, e significativa expansão das usinas a gás natural. Nos cenários de mitigação adicional, são mantidas apenas as termoeletricas a carvão com implantação já em andamento, e reduz-se significativamente a instalação de termoeletricas a gás natural, principalmente no MA2. Nestes cenários, a hidroeletricidade, o bagaço de cana, a energia eólica e a solar aumentam sua expansão, revertendo a tendência da redução da participação de energias renováveis no CPG.

A **oferta de petróleo bruto** se caracteriza por uma extraordinária expansão da extração de óleo bruto no país, apresentando um crescimento de 167% entre 2010 e 2030, atingindo a expressiva marca de 5,5 milhões de barris por dia (Mbbbl/dia), devido principalmente à exploração das grandes reservas do Pré-Sal. Uma hipótese fundamental do estudo é a execução da decisão do Congresso Nacional de tornar o país um grande exportador de petróleo bruto, para financiar os investimentos públicos em educação e saúde, atingindo o nível de 3,16 Mbbbl/dia em 2030, nível superior ao do Iraque em 2013 (quinto maior exportador mundial).

Com relação à **extração de Petróleo e Gás Natural**, não houve variação da produção entre os três cenários, apenas nos seus níveis de exportação. No cenário MA2, foram introduzidas algumas medidas de efficientização energética nas refinarias existentes, o que permitiu uma redução de 3% na demanda de petróleo para produção de derivados.

## 5.2.2. Geração Elétrica

Tabela 12 – Geração Elétrica (MWmed)

| <b>Geração Elétrica por Fonte (MWmed) Rede Elétrica (Sistema Interligado)</b> | <b>2010</b>   | <b>2030 – CPG</b> | <b>2030 – MA1</b> | <b>2030 – MA2</b> |
|---|---------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| Nuclear   | 1.692         | 3.225             | 3.225             | 3.225             |
| Gás natural   | 3.445         | 8.272             | 7.016             | 4.806             |
| Carvão mineral  | 706           | 3.268             | 906               | 906               |
| Óleo combustível  | 0             | 2.448             | –                 | 81                |
| Outras não renováveis   | 275           | 618               | 618               | 618               |
| Hidrelétricas   | 49.485        | 73.797            | 73.753            | 75.621            |
| PCH   | 2.069         | 6.274             | 6.274             | 6.274             |
| Derivados de cana (bagaço + palha)  | 3.710         | 9.959             | 10.868            | 10.868            |
| Eólica  | 514           | 9.601             | 12.638            | 11.273            |
| Solar   | 0             | 1.300             | 1.300             | 1.700             |
| <b>Subtotal Rede Elétrica</b>   | <b>61.896</b> | <b>118.762</b>    | <b>116.598</b>    | <b>115.372</b>    |
| Autoprodução e geração distribuída  |               |                   |                   |                   |
| Gás natural   | 2.890         | 5.862             | 5.756             | 5.695             |
| Óleo combustível  | 317           | 642               | 630               | 624               |
| Óleo diesel   | 456           | 925               | 908               | 898               |
| Derivados de cana (autoprodução)  | 2.520         | 4.170             | 4.187             | 4.187             |
| Lixívia   | 818           | 1.570             | 1.548             | 1.538             |
| Solar fotovoltaica (geração distribuída)                                      | 0             | 1.752             | 1.752             | 1.752             |
| <b>Subtotal Autoprodução e Geração Distribuída</b>                            | <b>7.001</b>  | <b>14.921</b>     | <b>14.782</b>     | <b>14.694</b>     |
| Geração elétrica total  | 68.897        | 133.683           | 131.380           | 130.066           |
| % de geração elétrica de fontes renováveis                                    | 86%           | 81%               | 85%               | 87%               |
| % de hidroelétricas + PCH   | 75%           | 60%               | 61%               | 63%               |
| % de derivados de cana + outras renováveis                                    | 11%           | 21%               | 25%               | 24%               |
| <b>Geração Elétrica Total/PIB (MWmed/bilhão R\$ 2005)</b>                     | <b>25,3</b>   | <b>24</b>         | <b>23,7</b>       | <b>23</b>         |
| % de 2010   | 100           | 95                | 94                | 91                |
| Ganho de eficiência elétrica sobre 2010                                       | –             | 5%                | 6%                | 9%                |

A **geração elétrica total**, incluindo a rede elétrica, os autoprodutores e a geração distribuída, cresce significativamente, porém a uma taxa inferior à do PIB, graças aos ganhos de eficiência no setor elétrico (que podem incluir a redução de perdas na geração, transmissão e distribuição, e também no uso final da eletricidade). Estes ganhos são maiores nos cenários de mitigação adicional: em 2030, a geração elétrica total por R\$ de PIB cai 5% no CPG, 6% no MA1 e 9% no MA2, em relação a 2010.

No CPG, verifica-se uma redução na **participação das fontes renováveis na geração elétrica total**, pois a expansão do uso de derivados de cana e outras fontes renováveis para geração elétrica não compensa a queda de participação da hidroeletricidade, que registra um crescimento significativo, mas menor do que a geração total. Já no cenário MA1, as renováveis atingem em 2030 o mesmo nível de participação na geração total que o de 2010, graças principalmente à geração eólica e a partir de derivados da cana, e no MA2, chegam a superar o nível de 2010, graças a um aumento da geração hidroelétrica.

Verifica-se um **aumento do custo médio da energia elétrica** de 28% de 2010 para 2030 no CPG, refletindo principalmente o custo mais elevado dos aproveitamentos hidroelétricos a serem construídos. A mitigação adicional encarece a eletricidade um pouco mais, cerca de 4% no MA1 e 8% no MA2, em relação ao CPG, devido à penetração de fontes renováveis de maior custo.

As medidas de mitigação consideradas no MA1 e MA2 proporcionam também uma importante redução com relação ao CPG do **Fator de Emissão Médio (FE)** do Sistema Interligado Nacional (SIN), que mostra quanto emite em média o consumo de cada GWh da rede interligada nacional. Enquanto no CPG o FE aumenta significativamente entre 2010 e 2030, de 57,1 para 96,2 tCO<sub>2</sub>e / GWh, no MA1 ele se reduz para 52,9 e no MA2 para 41,2 tCO<sub>2</sub>e / GWh, graças à substituição de geração termoeleétrica a combustíveis fósseis por fontes renováveis.

Em comparação, a *iNDC (intended Nationally Determined Contribution)* brasileira para a COP21 inclui as seguintes medidas de mitigação no setor de energia elétrica, até 2030:

- Participação de 23% ou mais de fontes renováveis na geração elétrica, sem contar a contribuição da hidroeletricidade, inclusive pelo aumento da geração eólica, a biomassa e solar. Este objetivo se situa na faixa entre o CPG (21%) e os cenários MA1 (25%) e MA2 (24%)
- Ganhos de 10% de eficiência no setor elétrico. Não foi especificado o conceito de “ganhos de eficiência” na iNDC. No entanto, para fins ilustrativos, pode-se ver na Tabela 12 a variação do coeficiente de geração elétrica por unidade de PIB, que em 2030, cai 5% no CPG, 6% no MA1 e 9% no MA2, em relação a 2010

Em seu discurso na Assembleia Geral da ONU em 27 de setembro de 2015, a presidente Dilma Rousseff, ao apresentar a posição brasileira para a COP21, mencionou também um outro objetivo para o setor elétrico brasileiro, que não consta da iNDC submetida à UNFCCC:

- Participação de pelo menos 66% de hidroeletricidade na geração elétrica. Este nível só é atingido em 2030, em todos os cenários, com relação à geração elétrica conectada à rede do Sistema Interligado Nacional. Já com relação à geração elétrica total, incluindo os autoprodutores e a geração distribuída, este nível não seria atingido em nenhum dos cenários para 2030

### 5.2.3. Oferta Interna Bruta de Energia (OIE)

Tabela 13 – Oferta Interna Bruta de Energia-OIE (Mtep)

| Fontes                                    | 2010         | 2030 – CPG   | 2030 – MA1   | 2030 – MA2   |
|---|--------------|--------------|--------------|--------------|
| Petróleo e derivados                      | 101,7        | 233,6        | 173,2        | 173,8        |
| Gás natural                               | 27,5         | 98,9         | 81,7         | 73,0         |
| Carvão mineral e coque                    | 13,7         | 22,1         | 20,4         | 18,3         |
| Nuclear e outras não renováveis           | 4,6          | 7,7          | 7,7          | 7,7          |
| Hidrelétricas e PCH                       | 34,7         | 55,6         | 56,8         | 60,5         |
| Derivados de cana                         | 47,1         | 103,5        | 109,4        | 113,1        |
| Fontes primárias do biodiesel             | 1,9          | 5,2          | 6,0          | 4,2          |
| Outras biomassas                          | 24,1         | 25,5         | 34,7         | 56,6         |
| Outras renováveis                         | 13,6         | 38,5         | 31,0         | 26,5         |
| <b>TOTAL</b>                              | <b>268,8</b> | <b>590,6</b> | <b>520,8</b> | <b>533,6</b> |
| % Fontes renováveis                       | 45%          | 39%          | 46%          | 49%          |
| % Fontes renováveis sem hidroeletricidade | 32%          | 30%          | 35%          | 38%          |
| % Derivados de cana                       | 18%          | 18%          | 21%          | 21%          |
| % Cana + biodiesel                        | 18%          | 18%          | 22%          | 22%          |

O CPG prevê um substancial **incremento da OIE entre 2010 e 2030**, de 120%, em razão do alto crescimento do consumo final e por uma expansão da oferta que considera apenas as tecnologias tradicionais já disponíveis no país. O MA1, graças a um significativo esforço de implantação de medidas de aumento da eficiência energética, prevê um crescimento menor, de 94% com relação a 2010, com reduções tanto na oferta de eletricidade quanto na de combustíveis. Já o MA2 prevê um crescimento da OIE de 99%, devido ao acréscimo na oferta de combustíveis de biomassa renovável.

Nota-se um aumento da **participação de fontes renováveis na OIE** nos cenários de mitigação adicional e uma queda no CPG em relação a 2010. Essa participação, que era de 49% em 1990, caiu para 41% em 2000 e voltou a subir, chegando a 45% em 2010. Na presente década, voltou a ser observada uma queda, mas em ritmo mais acelerado, chegando novamente a 41% já em 2013 e a 39% em 2014. A participação de renováveis se estabiliza no CPG, permanecendo no nível de 39% em 2030. Já

no MA1, as renováveis voltam a elevar sua participação relativa, chegando a 46% em 2030, pouco acima do nível de 2010, e no MA2 atingem 49%, retornando ao mesmo nível de 1990. Em comparação, a iNDC apresentada pelo Brasil à UN-FCCC inclui as seguintes **medidas de mitigação no setor de Energia**, até 2030:

- Alcançar o nível de 45% de fontes renováveis na oferta interna de energia, dentro da faixa entre o CPG (39%) e os cenários MA1 (46%) e MA2 (49%)
- Expandir o uso de fontes renováveis, exclusive hidroeletricidade, de 28% para 33% da oferta interna de energia, abaixo do nível atingido no MA1 (35%) e no MA2 (38%), enquanto o CPG se situa dentro desta faixa (30%)
- Aumentar a participação de bioenergia sustentável para 18% da matriz energética, incluindo a expansão da produção de etanol, de biocombustíveis avançados (de segunda geração) e da mistura de biodiesel ao óleo diesel. Considerando-se a soma de derivados de cana e biodiesel, este nível de 18%, o mesmo de 2010, é atingido no CPG e superado no MA1 e MA2, em que chega a 22%

Em seu discurso na ONU em 27 de setembro de 2015, a presidente Dilma Rousseff mencionou ainda um objetivo (que não consta da iNDC) de 16% para a participação dos derivados da cana de açúcar na oferta interna de energia em 2030. Este nível seria superado em todos os cenários, pois no CPG, a participação dos derivados de cana se mantém no mesmo nível de 2010 (18%), chegando a 21% no MA1 e no MA2.

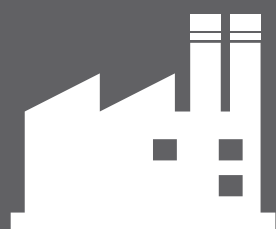
#### 5.2.4. Emissões de GEE da Oferta de Energia

Estima-se em todos os cenários **um aumento considerável na produção brasileira de petróleo e gás natural** em razão da exploração do Pré-Sal. Assumiu-se que a maior parte do volume extraído (57% em 2030, no CPG) seja destinado à exportação, mas há um aumento importante das emissões fugitivas (*venting* e *flaring*) das plataformas de produção de petróleo e gás. A elas foram agregadas as emissões fugitivas da exploração de carvão mineral, das carvoarias, do consumo final do setor energético e das centrais elétricas autoprodutoras, além das emissões da queima de biomassa para a geração de energia elétrica, para totalizar as emissões de GEE do setor de Oferta de Energia. Os resultados obtidos são apresentados separadamente das emissões do consumo final de energia dos setores residencial, serviços e agropecuário, na Tabela 14.

Tabela 14 – Emissões da Oferta de Energia e do Consumo de Energia nos Setores Residencial, Serviços e Agropecuário (MtCO<sub>2</sub>e)

| Emissões do Setor   | 2010       | CPG 2030   | MA1 2030   | MA2 2030   |
|---|------------|------------|------------|------------|
| Emissões fugitivas da produção de óleo e gás                  | 21,5       | 63,1       | 62,3       | 60,5       |
| Emissões fugitivas da produção de carvão mineral              | 2,5        | 5,3        | 3,3        | 3,3        |
| Carvoarias  | 0,7        | 1,0        | 1,8        | 3,4        |
| Geração termoelétrica (centrais elétricas do serviço público) | 26,9       | 86,3       | 45,2       | 32,6       |
| Geração própria de eletricidade (autoprodutores)              | 10,1       | 55,5       | 45,7       | 39,9       |
| Consumo do setor energético                                   | 26,3       | 61,9       | 61,9       | 61,9       |
| Subtotal oferta de energia                                    | 88         | 273        | 220        | 202        |
| Consumo de energia – residências                              | 24,9       | 28,2       | 26,7       | 26,7       |
| Consumo de energia – serviços                                 | 2,7        | 5,1        | 5,1        | 5,1        |
| Consumo de energia – agropecuária                             | 18,2       | 26,1       | 25,3       | 24,1       |
| Subtotal – consumo de residências, serviços e agropecuária    | 46         | 59         | 57         | 56         |
| <b>Subtotal Energia (Sem Indústria e Transportes)</b>         | <b>134</b> | <b>332</b> | <b>277</b> | <b>258</b> |





## **5.3. INDÚSTRIA**

### 5.3. Indústria<sup>10</sup>

A análise do setor industrial agrega emissões do uso de energia e de processos industriais no país. O IES-Brasil analisou em maior detalhe os subsetores de Cimento e Siderurgia, que são os maiores responsáveis pelas emissões do setor, com medidas de mitigação específicas para cada um.

Os outros subsetores industriais estão destacados na análise do comportamento da indústria brasileira diante dos cenários com taxa de carbono sobre o consumo de combustíveis fósseis.

#### 5.3.1. Cimento

No CPG, assume-se que não há mudança tecnológica que altere as emissões advindas das reações de calcinação. Assim, **as emissões de processo são projetadas em função da produção de clínquer**, cujo teor também não se altera ao longo do período. Adicionalmente, seguindo as premissas adotadas no PNE 2050, considerou-se que:

- O crescimento da economia implica no aumento da demanda de cimento
- Há uma correlação positiva com crescimento dos setores de infraestrutura e habitação
- A demanda interna é totalmente suprida pela produção nacional
- E em termos de eficiência, há uma menor intensidade do uso de cimento no longo prazo (pré-moldados e avanço do uso de outros materiais, redução da importância do consumo formiga)

Especificamente **em relação à demanda de energia**, também assumindo as premissas do PNE 2050, considerou-se que:

- A participação do coque de petróleo na matriz energética do setor permanece constante (em torno de 70%, ao longo de todo o período)

O coprocessamento também permanece constante (7%<sup>4</sup> ao longo do período)<sup>11</sup>

- E a eficiência energética permite reduzir a energia térmica em 17% (de 0,077 para 0,064 tep/t de cimento até 2050). No caso dos cenários de mitigação adicional, há aumento da eficiência térmica e de coprocessamento

<sup>10</sup> Relatório completo em [www.centroclima.coppe.ufrj.br](http://www.centroclima.coppe.ufrj.br): Watanabe, Kishiname e Toni (2015)

<sup>11</sup> Eletricidade responde por 12% e os 11% restantes incluem carvão vegetal, carvão vapor e outros.

Tabela 15 – Medidas de Mitigação para a Indústria de Cimento

| Medida                        | CPG   | MA1   | MA2  |
|-------------------------------|---|---|--|
| Aumento de eficiência térmica | Redução do indicador global de 0,077 para 0,064 tep/t de cimento até 2050 | Redução da energia térmica para calcinação de 3,8 para 3,56 GJ/t clínquer até 2030                      | Redução da energia térmica para calcinação de 3,8 para 3,35 GJ/t clínquer até 2030                     |
| Aumento de coprocessamento    | O coprocessamento permanece em 7% da demanda de energia do setor          | Aumento do coprocessamento em 50% até 2030 ficando responsável por 10,5% da demanda de energia do setor | Aumento do coprocessamento em 100% até 2030 ficando responsável por 14% da demanda de energia do setor |

**Emissões** – Nas simulações, **as emissões crescem constantemente** e o comportamento nos cenários é condizente com as premissas onde as emissões no CPG são sempre as mais altas, nos cenários MA1 são intermediárias e nos MA2 são as mais baixas. As emissões nos cenários com taxa de carbono são ligeiramente menores do que nos cenários com medidas apenas de comando e controle devido à redução de atividade que a taxa provoca na economia. Em 2030, em relação ao CPG, a redução obtida no MA1 é de 4,8%, no MA1+T de 5,2%, no MA2 de 8,5% e no MA2+T de 10,2%.

### 5.3.2. Siderurgia

Adotou-se, neste subsetor, a premissa do PNE 2050 de que não há quase variação na participação relativa das fontes de energia ao longo do período de cenários, mas que ganhos de eficiência permitem reduzir o consumo específico de energia (de 0,48 para 0,39 tep por tonelada de aço bruto) entre 2013 e 2050 (EPE, 2014). Adicionalmente, adotou-se que **a relação entre sínter e aço bruto permanece constante e igual a 90,1%** (média entre 2000 e 2006).

Nos cenários de mitigação adicional, considera-se:

- Um aumento da reciclagem de sucata – a intensidade de emissões no aço é em torno de 1 tCO<sub>2</sub>e/t aço bruto de sucata, contra 2 tCO<sub>2</sub>e/t aço bruto de minério virgem com coque de carvão mineral
- A recuperação de calor de escória
- Um aumento na utilização de resíduos combustíveis
- A utilização de queimadores recuperativos
- O controle melhorado da combustão na fornalha do alto forno

No MA2 e no MA2+T, também se projetou um **crescimento linear de área plantada de eucalipto destinado a produzir carvão vegetal renovável**, até atingir o nível de 1,8 milhão de hectares em 2030. Isto permitiria um grande aumento do consumo energético de carvão vegetal no setor, em relação ao CPG (12,4Mtep em vez de 5,4Mtep, em 2030) e de sua contribuição para a matriz energética do setor, representando 44,5% no MA2 e no MA2+T, em 2030.

Tabela 16 – Medidas de Mitigação para a Indústria Siderúrgica

| Medida                                       | CPG   | MA1   | MA2  |
|--|---|---|--|
| Aumento de eficiência energética             | Redução do indicador global deste segmento de 0,48 para 0,414 em 2030 e 0,39 tep/t aço bruto até 2050 | Redução adicional de 2% até 2030: de 0,414 para 0,406 tep/t aço bruto em 2030 | Igual a MA1  |
| Substituir carvão mineral por carvão vegetal |   |   | 1,8 Mha de eucalipto para produção de carvão vegetal |

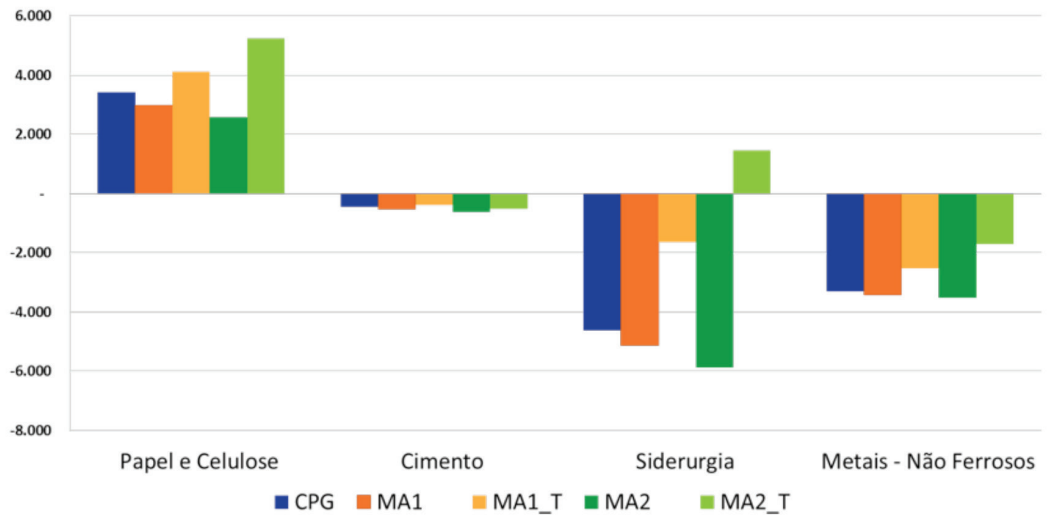
**Emissões** – O resultado das simulações mostra que, **apesar dos ganhos de eficiência apresentados pelo setor já no CPG, as emissões crescem** 26% em 2020 e 59% em 2030, relativamente a 2010, em função do crescimento da demanda por produtos siderúrgicos. Os resultados dos cenários de mitigação adicional MA1 e MA2 são bem diferentes em função da natureza distinta das ações (MA1 = eficiência energética e MA2 = eficiência energética + carvão vegetal deslocando mineral). Em 2030, em relação ao CPG, a redução obtida no MA1 é de 4,4% e no MA2 de 41,1%.

### 5.3.3. Comportamento da indústria nos cenários com taxa de carbono

**Nos cenários com taxa de carbono, o aço nacional torna-se mais competitivo no mercado internacional**, graças à sua menor emissão de CO<sub>2</sub> por tonelada produzida. Portanto, o setor cresce relativamente mais do que no CPG, no MA1 e no MA2, permitindo reduzir o nível de importações líquidas de aço e até transformando o país em exportador líquido de aço em 2030, no MA2+T, como se vê no gráfico 3.

O **efeito do aumento da produção de aço supera o dos ganhos de eficiência energética** e assim, em 2030, as emissões no MA1+T são 1,9% maiores do que no CPG. No MA2+T, o aumento das emissões devido a uma maior produção de aço em relação ao CPG atenua a redução de emissões propiciada pelo maior uso de carvão vegetal no MA2. Ainda assim, em 2030 o nível de emissões no MA2+T é 31,9% inferior ao do CPG, em razão da queda da atividade econômica gerada pela taxa, conforme explicado no capítulo **Análise dos Resultados**.

Gráfico 3 – Exportações Líquidas – Bens Industriais Intensivos em Energia (mil t)





## 5.4. RESÍDUOS

## 5.4. Resíduos<sup>12</sup>

Este setor se divide em dois subsetores:

### 1. Resíduos sólidos (não perigosos e não inertes), incluindo:

- Resíduos urbanos (RSU)
- Industriais (RSI)
- De serviços de saúde (RSS)

### 2. Efluentes, em que foram pesquisados:

- Esgotos domésticos
- Esgotos comerciais
- Efluentes industriais orgânicos

Para verificar os impactos das medidas de mitigação no setor, foi necessário estimar a produção dos dois subsetores: resíduos sólidos e esgotos e efluentes. **No caso da origem dos resíduos ser industrial**, a estimativa variou conforme a hipótese adotada para a evolução do PIB. Nos demais casos, a estimativa foi feita de acordo com a evolução da população atendida. Especificamente para os **esgotos industriais**, a estimativa reflete aumentos das atividades mais produtoras de carga orgânica, como a produção de cerveja e de leite cru, por exemplo.

Nas discussões com o CEC, foram definidas as parcelas destinadas a cada opção de tratamento de **resíduos sólidos** e efluentes, determinantes para a formação de GEE. No caso de resíduos sólidos, foram examinadas as seguintes destinações e GEE: aterramento ( $\text{CH}_4$ ), compostagem ou tratamento biológico ( $\text{CH}_4$  e  $\text{N}_2\text{O}$ ) e incineração ou tratamento térmico ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$  e  $\text{N}_2\text{O}$ ). Para **efluentes**, foram considerados: lançamento in natura ( $\text{CH}_4$  e  $\text{N}_2\text{O}$ ); fossas sépticas e latrinas ( $\text{CH}_4$ ) e estações de tratamento de esgotos (ETE) primárias, aeróbias e anaeróbias e tratamento de lodos ( $\text{CH}_4$  e  $\text{N}_2\text{O}$ ).

### 5.4.1. Medidas de Mitigação

As medidas de mitigação propostas neste setor consideram não só a **redução de emissões de GEE**, mas também uma **antecipação das metas de universalização do provimento dos serviços relativos a resíduos sólidos, e aumento das metas no que se refere a esgotamento sanitário**, como forma de associar a mitigação de GEE à melhoria da qualidade de vida da população. As metas governamentais constam dos planos nacionais de Resíduos Sólidos e de Saneamento Básico.

<sup>12</sup>Relatório completo em [www.centroclima.coppe.ufrj.br](http://www.centroclima.coppe.ufrj.br): Loureiro, Zveibil e Dubeux (2015)

**PNRS** – Há um esforço muito importante de redução de emissões em todos os cenários em razão da implementação da **Política Nacional de Resíduos Sólidos** e as hipóteses de captura e queima de metano do biogás dos aterros sanitários e das Estações de Tratamento de Esgoto (ETEs).

Nos cenários MA1 e MA2, a **redução mais substancial das emissões ocorre até 2020**, devido ao maior potencial de mitigação em cidades grandes, onde as metas de mitigação devem ser atingidas em prazos mais curtos do que nas cidades pequenas. Isto também resulta em diferenças muito pequenas entre os resultados de MA1 e MA2, que acabam sendo iguais em valores arredondados.

Tabela 17 – Premissas e Medidas de Mitigação para o Setor de Resíduos

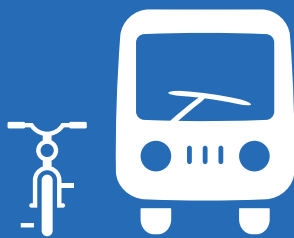
| Premissas |  | CPG          | MA1          | MA2          |
|-----------|--|--------------|--------------|--------------|
| 1         | Eficiência da coleta                         | 100% em 2030 | 100% em 2025 | 100% em 2020 |
| 2         | Disposição final em aterros sanitários       | 100% em 2030 | 100% em 2025 | 100% em 2020 |
| 3         | Encerramento de lixões e aterros controlados | 100% em 2030 | 100% em 2025 | 100% em 2020 |

| Medidas de Mitigação  |  | CPG          | MA1          | MA2          |
|---|--|--------------|--------------|--------------|
| <b>Sistemas de destruição de metano em aterros sanitários (eficiência de 70%)</b> |  |              |              |              |
|   | Cidades pequenas (<100 mil hab.)                                 | 50% em 2030  | 60% em 2030  | 70% em 2030  |
| 1   | Cidades médias (100 a 500 mil hab.)                              | 100% em 2030 | 100% em 2025 | 100% em 2020 |
|   | Cidades grandes (> 500 mil hab.)                                 | 100% em 2020 | 100% em 2018 | 100% em 2016 |
| 2   | Sistemas de destruição de metano em lixões e aterros controlados | –            | 10% em 2030  | 30% em 2030  |
| <b>Ampliação do tratamento de esgotos em ETEs com flares (eficiência de 50%)</b>  |  |              |              |              |
|   | Cidades pequenas (<100 mil hab.)                                 | 40% em 2030  | 50% em 2030  | 60% em 2030  |
| 3   | Cidades médias (100 à 500 mil hab.)                              | 40% em 2030  | 50% em 2030  | 70% em 2030  |
|   | Cidades grandes (> 500 mil hab.)                                 | 60% em 2030  | 70% em 2030  | 85% em 2030  |



**Emissões** – o setor de resíduos apresenta uma participação modesta, entre 2 e 5%, no total das emissões nacionais, no período 1990-2010. Em função do aumento da cobertura dos serviços de saneamento básico, que quanto maior, mais metano produz, verifica-se que **no CPG as emissões aumentam em 49% em 2030, com relação a 2010, sendo que 39% aumentariam já em 2020**, em função da implantação de políticas de saneamento primeiramente em grandes cidades. **Já nos cenários de mitigação**, onde há uma antecipação das metas de coleta (portanto, com maior produção de metano) mas paralelamente um aumento da destruição de metano, em relação ao CPG, **as reduções de emissão mais expressivas ocorrem também até 2020**. A partir de então, não há um aumento substancial na mitigação das emissões de CO<sub>2</sub>e em qualquer dos cenários, pois o impacto das medidas testadas é pequeno nas projeções das pequenas e médias cidades. Assim, observa-se que em 2030, as emissões serão 36,4% menores no MA2 do que no CPG, embora já em 2020 fossem 32,1% menores.



## 5.5. TRANSPORTES

## 5.5. Transportes<sup>13</sup>

As medidas de mitigação introduzidas nas simulações são basicamente aquelas constantes em diversos estudos oficiais como o **Plano Setorial de Transporte e Mobilidade (PNLT)**, já mencionado, o Plano Decenal de Energia 2023 (PDE) e a Nota Técnica de Demanda relativa ao Plano Nacional de Energia (PNE 2050), os dois últimos elaborados pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE).

Tabela 18 – Medidas de Mitigação para o Setor de Transportes

| Medida                                    | Transporte   |  |
|---|--|--|
|   | MA1  | MA2  |
| Expansão do consumo de etanol             | 67 bilhões de litros em 2030<br>25% anidro na gasolina + hidratado nos motores flex fuel   | 74 bilhões de litros em 2030<br>25% anidro na gasolina + hidratado nos motores flex fuel                               |
| Expansão das ciclovias                    | Construção de 3.825 km de ciclovias entre 2015 e 2030  | Sem variação com relação ao MA1  |
| Eficiência energética em veículos leves   | Meta da União Europeia (melhoria da eficiência de 1,82 MJ/km para 1,22 MJ/km) com defasagem de 5 anos: entrada em 2026 e pleno alcance em 2030 | Meta da União Europeia (melhoria da eficiência de 1,82 MJ/km para 1,22 MJ/km): entrada em 2021 e pleno alcance em 2025 |
| Otimização de tráfego                     | Redução do número de viagens urbanas em 3,45% com relação ao CPG a partir de medidas de gerenciamento da demanda urbana em grandes cidades     | Sem variação com relação ao MA1  |
| Investimentos em BRT                      | Construção de 1.149 km de BRT entre 2015 e 2030  | Sem variação com relação ao MA1  |
| Eficiência energética em veículos pesados | Ganho de eficiência de 12% para os novos ônibus e caminhões, com entrada em 2017 e pleno alcance em 2030                                       | Sem variação com relação ao MA1  |
| Expansão da demanda de biodiesel          | Utilização de 10% de biodiesel na mistura do dieselB a partir de 2020  | Utilização de 15% de biodiesel na mistura do dieselB em 2030   |
| Veículos elétricos                        | N/A  | Introdução de ônibus elétricos a partir de 2020, chegando-se à participação de 8% em 2030                              |

<sup>13</sup>Relatório completo em [www.centroclima.coppe.ufrj.br](http://www.centroclima.coppe.ufrj.br): Pereira Jr., Santos e Oliveira (2015)

| Transporte                            |     |   |
|---------------------------------------|-----|---|
| Medida                                | MA1 | MA2   |
| Investimentos em VLT                  | N/A | Construção de 269 km de VLT entre 2015 e 2030   |
| Investimento em ferrovias e hidrovias | N/A | Transferência de modal dos outros meios de transportes para ferrovias e hidrovias, chegando à participação de 36% e 20% do transporte de carga total em 2030, respectivamente |
| Investimentos em metrô                | N/A | Construção de 194,9 km de metrô entre 2015 e 2030   |

**Transporte de passageiros** – A demanda por viagens por passageiro entre os cenários em 2030 não variou de forma muito significativa.

Ao se olhar para a intensidade de energia do segmento de transporte de passageiros, verifica-se uma forte variação em relação ao CPG, caindo cerca de 20% no cenário MA1 e 29% no cenário MA2. Esta queda foi possível devido aos investimentos em transporte público de massa e modais mais eficientes, assim como a introdução de programas de eficiência energética.

Em termos de intensidade de emissões, observa-se novamente uma queda bastante significativa nos cenários de mitigação adicional em relação ao CPG. O cenário MA1 teve uma queda na intensidade de emissões de 30%, e o MA2 de 47%. Além dos investimentos em transporte público mencionados anteriormente, a maior utilização do etanol e biodiesel contribuiu de forma importante.

**Transporte de carga** – A demanda por transporte de cargas variou conforme o PIB. Dessa forma, a demanda total por t.km entre os cenários em 2030 não variou de forma muito significativa, já que as variações no PIB também não foram de grande magnitude.

A intensidade de energia do segmento de transporte cargas caiu cerca de 14% no cenário MA1 e 29% no cenário MA2. Esta queda foi possível devido aos investimentos em modais mais eficientes, especialmente ferrovias e hidrovias, assim como a introdução de programas de eficiência energética para veículos pesados.

**Intensidade de emissões** – observa-se novamente uma queda bastante significativa nos cenários de mitigação adicional em relação ao CPG. O cenário MA1 teve uma queda na intensidade de emissões de 25%, e o MA2 de 45%. Além dos investimentos mencionados anteriormente, a maior utilização do biodiesel (mistura B10 no MA1 e B15 no MA2) contribuiu de forma importante.

**Emissões de GEE nos segmentos de transportes de passageiros e de cargas** – avança rapidamente no CPG, passando de 175 MtCO<sub>2</sub>e em 2010 para 280 MtCO<sub>2</sub>e em 2020 e 383 MtCO<sub>2</sub>e em 2030. No cenário MA1, com um investimento moderado em transporte público, e programas de eficiência energética para veículos leves e pesados, as emissões chegam em 2020 em 236 MtCO<sub>2</sub>e, e em 2030 em 277 MtCO<sub>2</sub>e, representando uma redução de 28% nas emissões em 2030, em relação ao CPG.

No cenário MA2, com pesados investimentos em transporte público, ampliação dos programas de eficiência energética para veículos leves e pesados, e importantes investimentos em ferrovias e hidrovias para o transporte de cargas, as emissões em 2020 chegam a 202 MtCO<sub>2</sub>e e em 2030 são reduzidas a 210 MtCO<sub>2</sub>e, uma queda de 45% em relação ao CPG.



Capítulo 6

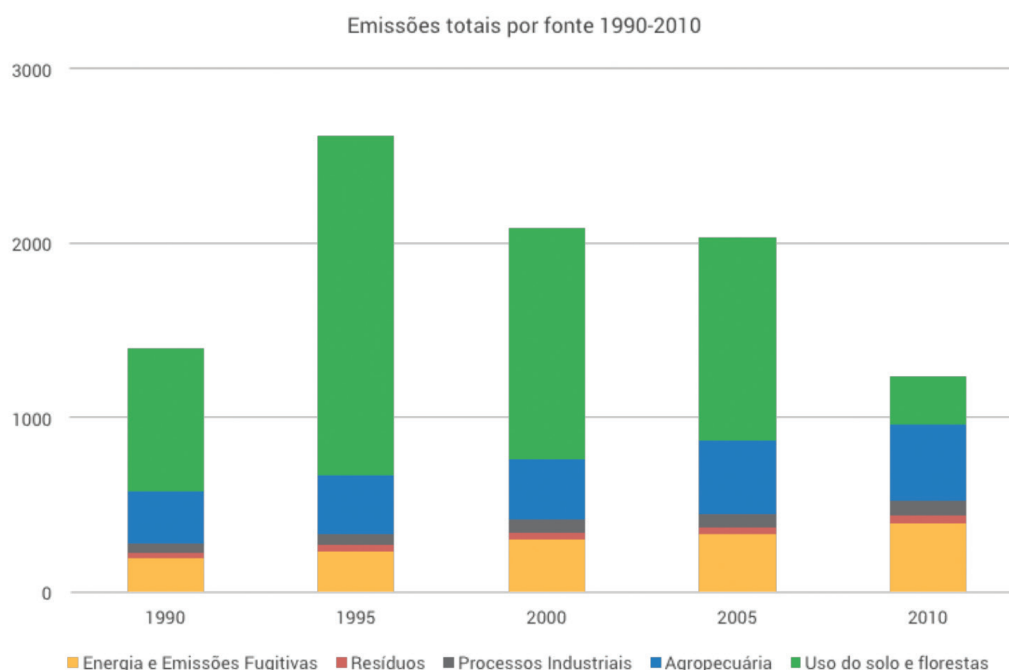
**ANÁLISE COMPARATIVA  
DAS EMISSÕES SETORIAIS**

## 6. ANÁLISE COMPARATIVA DAS EMISSÕES SETORIAIS<sup>14</sup>

### 6.1. Histórico das Emissões por Setor

Entre 1990 e 2004, as emissões de GEE no Brasil aumentaram de 1,4 para 2,5 bilhões GtCO<sub>2</sub>e e em seguida caíram substancialmente, atingindo 1,25 GtCO<sub>2</sub>e em 2010, graças a uma forte **redução do desmatamento**. Essa redução fez a parcela de CO<sub>2</sub> no mix de emissões de GEE diminuir acentuadamente, de 73% para 57%, entre 2005 e 2010. O recente crescimento das emissões de GEE tem sido impulsionado por **emissões de metano** a partir da fermentação entérica do grande rebanho de gado do país (213 milhões de cabeças, em 2012) e da **queima de combustíveis fósseis**, cuja parcela de participação nas emissões totais subiu de 16% para 32% entre 2005 e 2010, ficando com o segundo lugar no *ranking* dos principais emissores de 2010, abaixo apenas da **agropecuária**, como mostra o Gráfico 4.

Gráfico 4 – Histórico das Emissões de GEE no Brasil por Setor, 1990 – 2010 (em MtCO<sub>2</sub>e)



<sup>14</sup>Relatório completo em [www.centroclima.coppe.ufrj.br](http://www.centroclima.coppe.ufrj.br)

Entre os combustíveis fósseis, o **petróleo** é, de longe, a principal fonte de emissões, seguido por **gás natural e carvão**. O crescimento populacional e o econômico impulsionaram o aumento das emissões de CO<sub>2</sub> ligadas à energia, ao passo que a intensidade de CO<sub>2</sub> da energia por unidade de PIB aumentou de 1990 a 2000, mas diminuiu de 2000 a 2010. O **transporte** é hoje a maior fonte de emissões relacionadas à energia, seguido pela **indústria, geração de eletricidade e edifícios**.

## 6.2. Evolução Futura das Emissões por Setor

Os diversos conjuntos de medidas de mitigação testadas nos diferentes setores demonstram que há **enorme potencial de abatimento de emissões de GEE** no país, através da implantação de um amplo espectro de opções que vão desde eficiência energética, ampliação do uso de fontes renováveis de energia e de técnicas para uma agropecuária de baixo carbono até mudança de modais de transporte, captura de metano em projetos de saneamento básico (aterros sanitários e estações de tratamento de esgoto) e reflorestamento com espécies nativas e de crescimento rápido.

Observa-se ainda que boa parte das medidas de mitigação adicional selecionadas tem **baixo custo**, como por exemplo as do **setor agropecuário**, as que preveem uma maior eficiência energética ou um maior aproveitamento de energias renováveis como a hidroelétrica e o etanol de cana. A adoção destas medidas pode fornecer um nível significativo de mitigação adicional à extensão do esforço já em andamento no Cenário do Plano Governamental (CPG), como ilustrado nos resultados dos cenários Mitigação Adicional 1 (MA1) e Mitigação Adicional 1 mais Taxa de Carbono (MA1+T).

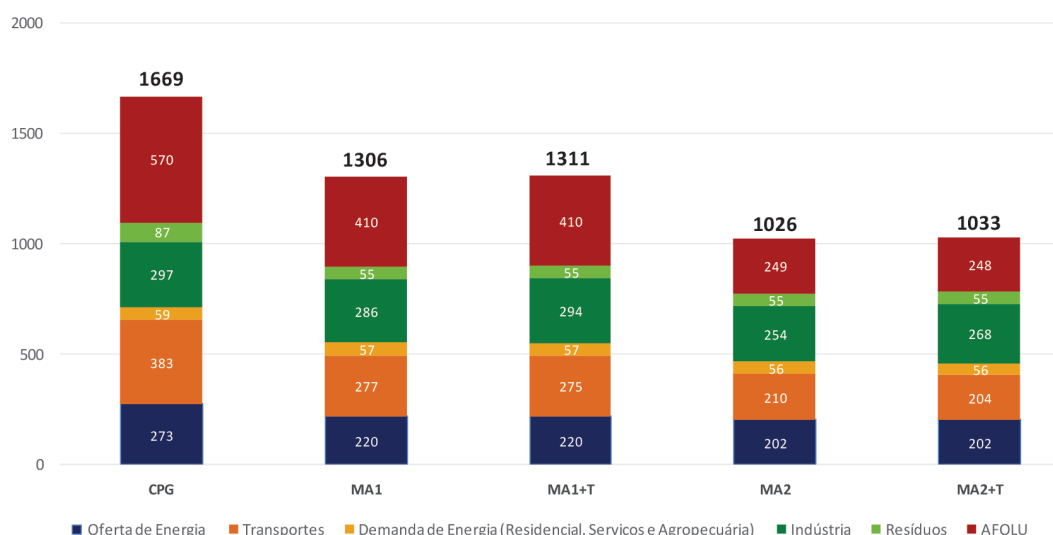
Caso venham a ser viabilizadas outras **medidas de maior custo**, como por exemplo a restauração da Mata Atlântica, a produção em larga escala de carvão vegetal de florestas plantadas, o aumento substancial do transporte interurbano de cargas e urbano de passageiros sobre trilhos, incluídas nos cenários Mitigação Adicional 2 (MA2) e Mitigação Adicional 2 mais Taxa de Carbono (MA2+T), pode-se atingir um nível ainda mais ambicioso de mitigação adicional.

Vale dizer ainda que **há diversas barreiras**, econômico-financeiras e não econômicas (legais, regulatórias, institucionais) para a implementação das medidas de mitigação adicional selecionadas, e diferentes formas para superá-las, seja através de instrumentos de política microeconômica e de comando/controlado (cenários MA1 e MA2), como por meio de uma taxa global sobre a queima de combustíveis fósseis (cenários MA1+T e MA2+T).

O Gráfico 5 permite uma visão das emissões de GEE em 2030 nos cinco cenários do IES-Brasil, desagregadas pelos principais setores de emissão.



Gráfico 5 – Composição das Emissões de GEE em 2030 por Setor (em MtCO<sub>2</sub>e)



O maior potencial de redução de emissões de GEE em 2030 nos cenários de mitigação adicional, na comparação com o CPG, **ainda é proveniente de ações no setor de AFOLU** (Agropecuária, Florestas e Outros Usos da Terra, na sigla em inglês), que permitiriam eliminar 10% das emissões totais do CPG no MA1 e 19% no MA2.

Em segundo lugar, aparecem as medidas de **redução do consumo de energia fóssil** no setor de Transportes, que evitariam 6% das emissões totais do CPG no MA1 e 10% no MA2. Seguem, em ordem de importância, as reduções de emissões de GEE obtidas por ações adicionais de mitigação nos setores de Oferta de Energia e de Resíduos.

O **setor industrial** apresentaria apenas uma pequena redução de emissões de GEE no MA1, com uma contribuição mais significativa para a redução de emissões no MA2, sendo que nos cenários MA1+T e MA2+T o nível de emissões é maior do que no MA1 e MA2, devido ao aumento da competitividade internacional e da produção nacional de bens intensivos em energia, graças à sua menor pegada de carbono (ver Gráfico 3 na seção Indústria das Perspectivas Setoriais, item 5.3.3).

Tabela 19 – Emissões Evitadas de 2010 a 2030, Agrupadas por Grandes Grupos (MtCO<sub>2</sub>e)

| Medidas de Mitigação/Setores                                       | CMA1         | CMA2           |
|--|--------------|----------------|
| <b>AFOLU</b>   | <b>657,4</b> | <b>1.995,5</b> |
| Agropecuária   | 260,3        | 259,2          |
| Florestas plantadas  | 29,6         | 427,3          |
| Sistemas agroflorestais  | 367,47       | 367,5          |
| Restauração da Mata Atlântica                                      |              | 941,6          |
| <b>EFICIÊNCIA ENERGÉTICA</b>                                       | <b>445,9</b> | <b>812,2</b>   |
| Residencial, comércio e serviços (inclui aquecimento solar)        | 16,8         | 19,9           |
| Indústria (siderurgia e cimento) e refinarias                      | 38,7         | 382,7          |
| Transportes otimização de tráfego                                  | 42,2         | 42,2           |
| Veículos leves   | 115,1        | 134,2          |
| Veículos pesados   | 233,2        | 233,2          |
| <b>MODAIS DE TRANSPORTE</b>  | <b>84,5</b>  | <b>506,9</b>   |
| Transporte urbano sobre rodas (BRTs, ciclovias e ônibus elétricos) | 84,5         | 125,4          |
| Transporte urbano sobre trilhos (metrô e VLT)                      |              | 234,4          |
| Transporte de carga (ferrovias e hidrovias)                        |              | 147,2          |
| <b>ENERGIAS RENOVÁVEIS</b>   | <b>505,0</b> | <b>727,4</b>   |
| Etanol (transportes)   | 301,3        | 278,7          |
| Biodiesel (transportes)  | 103,3        | 206,5          |
| Geração elétrica (eólica, biomassa, hidroelétrica, solar)          | 100,4        | 242,2          |
| <b>RESÍDUOS</b>  | <b>597,0</b> | <b>608,5</b>   |
| <b>TOTAL</b>   | <b>2.290</b> | <b>4.650</b>   |

A Tabela 19 traz as emissões evitadas entre 2010 e 2030 com as medidas de mitigação desagregadas de uma outra forma: **Eficiência Energética em diversos setores, Energias Renováveis** e mudanças nos modais de **Transporte**. Assim, destaca-se o potencial de redução de emissões da **Oferta de Renováveis** (505,0 MtCO<sub>2</sub>e no MA1 e 727,4 MtCO<sub>2</sub>e no MA2) e da **Eficiência Energética** (445,9 MtCO<sub>2</sub>e no MA1 e 812,2 MtCO<sub>2</sub>e no MA2).

Dessa forma, somando-se **Eficiência Energética e Energias Renováveis**, pode-se alcançar no acumulado de 2010 a 2030 uma redução de 1.540 MtCO<sub>2</sub> no cenário MA2, mais de dois terços de todo o potencial de mitigação de **AFOLU**, que é de 1995,5 MtCO<sub>2</sub> e no mesmo cenário MA2. No cenário MA1, o subtotal de Eficiência energética + Energias Renováveis passa ao primeiro lugar no potencial de redução de emissões com capacidade para mitigar até 951,0 MtCO<sub>2</sub> contra 657,4 de AFOLU. Isso porque a restauração da Mata Atlântica e o incremento das florestas plantadas, por serem medidas de custo de abatimento maior, estão apenas no MA2.

Outra constatação da análise da tabela 19 é que o potencial de mitigação do setor de **Transporte** tanto no cenário MA1 (84,5 MtCO<sub>2</sub>) quanto no MA2 (506,9 MtCO<sub>2</sub>) é maior que o da **Indústria**, que pode mitigar até 38,7 MtCO<sub>2</sub> no MA1 e 382,7 MtCO<sub>2</sub> no MA2.



Capítulo 7

**CURVA DE CUSTO  
MARGINAL DE ABATIMENTO**

## 7. CURVA DE CUSTO MARGINAL DE ABATIMENTO<sup>15</sup>

A curva de custo marginal de abatimento para o cenário MA2, que contempla todas as 31 medidas de mitigação adicional testadas, permite uma visão geral do custo de cada medida individualmente (eixo y) – considerando que o cenário foi criado por meio de um modelo de equilíbrio geral em que a mudança de cada variável interfere nas demais – e o potencial de abatimento de cada medida de mitigação entre 2010 e 2030 (eixo x).

As medidas que ficam abaixo do eixo x são consideradas medidas de custo negativo, ou seja, têm atratividade econômica por gerar economia financeira ao longo do tempo, mas ainda não foram implantadas em razão de barreiras microeconômicas, financeiras (alto investimento inicial, por exemplo) e/ou institucionais, como a falta de informação sobre o custo-benefício.

As medidas mais caras, situadas mais à direita do gráfico 6, se referem principalmente à mudança de modais de transporte, eficiência energética de veículos pesados, mudança da frota para uso do biodiesel 10%, entre outras.

Para se ter uma ideia da variação do potencial de redução de emissões com o nível de custo de mitigação, a Tabela 20 traz o agrupamento das medidas testadas no MA2 por faixas de custo unitário.

---

<sup>15</sup>Relatório completo em [www.centroclima.coppe.ufrj.br](http://www.centroclima.coppe.ufrj.br)

Gráfico 6 – Curva de Custo Marginal de Abatimento no Cenário MA1

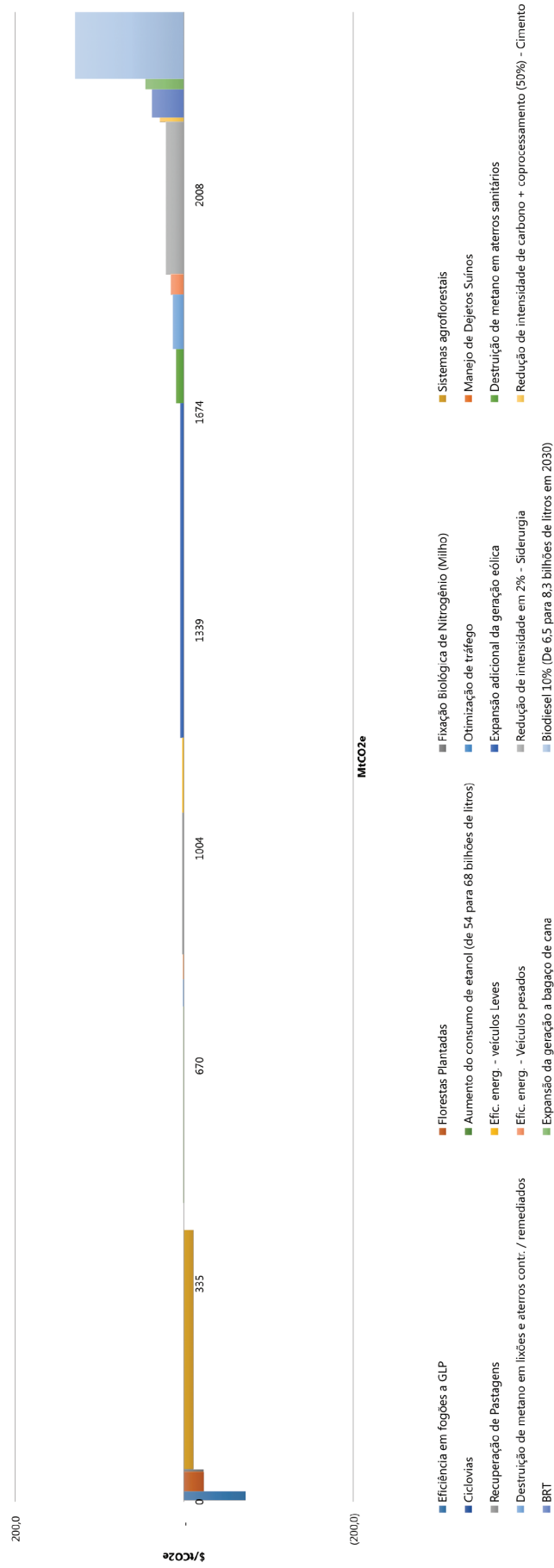


Gráfico 6.1 – Curva de Custo Marginal de Abatimento no Cenário MA2



Tabela 20 – Faixas de Custo e Emissões Evitadas por Medidas de Mitigação Adicional no MA2 (US\$/t CO<sub>2</sub>e)

| % do Total de Emissões Evitadas no período 2010 – 2030 (100% = 4,7 bilhões de tCO <sub>2</sub> e) | Redução de emissões no período 2010 – 2030 (bilhões de tCO <sub>2</sub> e) | Custo máximo de abatimento das medidas incluídas (US\$/tCO <sub>2</sub> e)             |
|---|--|--|
| 18%   | 0,8  | < 0 (medidas de custo negativo)  |
| 49%   | 2,3  | até 10 US\$/t CO <sub>2</sub> e  |
| 72%   | 3,3  | até 20 US\$/t CO <sub>2</sub> e  |
| 81%   | 3,8  | até 40 US\$/t CO <sub>2</sub> e  |
| 92%   | 4,3  | até 100 US\$/t CO <sub>2</sub> e   |
| 100%  | 4,7  | até 340 US\$/t CO <sub>2</sub> e (custo médio ponderado = 16 US\$/t CO <sub>2</sub> e) |

Nota-se que as medidas que têm o chamado **custo negativo** respondem por 18% do total de emissões evitadas no período. Quase metade das emissões evitadas (49%) tem origem em medidas com custo máximo de abatimento de até 10 US\$/tCO<sub>2</sub>e e 72% das emissões derivam de medidas com custo de até 20 US\$/tCO<sub>2</sub>e.

As tabelas a seguir detalham **os aspectos mais importantes** (redução de emissões no período 2010 – 2030 e custo unitário de abatimento) **de cada medida individual de mitigação adicional**, listadas em ordem crescente de custo, para o cenário MA2.

Tabela 21 – Medidas de Mitigação Adicional no MA2, Redução de Emissões e Custos (US\$/t CO<sub>2</sub>e)

| Medida   | Redução de Emissões no Período 2010 – 2030 (Mt CO <sub>2</sub> e) | Custo Unitário de Abatimento (US\$/tCO <sub>2</sub> e) |
|--|---|--|
| Eficiência em lâmpadas (serviços)                            | 3,8   | -676,8   |
| Eficiência em fogões a GLP                                   | 13,7  | -72,8  |
| Florestas plantadas  | 427,3   | -23,3  |
| Fixação biológica de nitrogênio (Milho)                      | 3,3   | -23,1  |
| Sistemas agroflorestais                                      | 367,5   | -11,0  |
| Ciclovias  | 41,6  | 0,2  |
| Aumento do consumo de etanol de 58 para 75 bilhões de litros | 278,7   | 0,6  |
| Otimização de tráfego  | 42,2  | 1,0  |
| Manejo de dejetos suínos                                     | 38,5  | 1,1  |
| Recuperação de pastagens                                     | 217,3   | 2,1  |



| Medida  | Redução de Emissões no Período 2010 – 2030 (Mt CO <sub>2</sub> e) | Custo Unitário de Abatimento (US\$/t CO <sub>2</sub> e) |
|---|---|---|
| Eficiência energética – veículos leves                          | 134,2   | 3,0   |
| Expansão adicional da geração hidrelétrica                      | 142,9   | 5,8   |
| Expansão adicional da geração eólica                            | 66,2  | 5,9   |
| Destruição de metano em aterros sanitários                      | 517,6   | 9,8   |
| Destruição de metano em lixões e aterros controlados/remediados | 90,9  | 11,9  |
| Aquecimento de água – termosolar                                | 1,9   | 15,2  |
| Restauração da mata atlântica                                   | 941,6   | 16,0  |
| Expansão da geração solar fotovoltaica                          | 10,3  | 18,6  |
| Eficiência energética – veículos pesados                        | 233,2   | 21,5  |
| Aumento da eficiência energética em 2% – siderurgia             | 7,4   | 28,7  |

| Medida  | Redução de Emissões no Período 2010 – 2030 (Mt CO <sub>2</sub> e) | Custo Unitário de Abatimento (\$/t CO <sub>2</sub> e) |
|---|---|---|
| Ônibus elétricos  | 40,8  | 27,8  |
| Expansão da geração a bagaço de cana  | 22,8  | 33,8  |
| BRT   | 43,0  | 37,8  |
| VLT   | 78,5  | 38,8  |
| Redução da int. energ. para 3,35 GJ/t clínquer e aumento de 100% no coprocessamento no setor de cimento | 56,3  | 46,9  |
| Incorporação de carvão vegetal de eucalipto na siderurgia   | 275,72  | 47,7  |
| Investimento em ferrovias e hidrovias   | 147,2   | 62,4  |
| Melhorias em refinarias – integração energética e redução de calor                                      | 43,3  | 84,8  |
| Troca de lâmpadas fluorescentes por LED   | 0,5   | 89,0  |
| Biodiesel 15% (consumo de 5,1 bilhões de litros)  | 206,5   | 132,7   |
| Metrô   | 155,9   | 336,5   |



Capítulo 8

**LIMITAÇÕES E RECOMENDAÇÕES  
PARA ESTUDOS FUTUROS**

## 8. LIMITAÇÕES E RECOMENDAÇÕES PARA ESTUDOS FUTUROS<sup>16</sup>

O estudo IES-Brasil avançou metodologicamente em diversos pontos, como a utilização de um modelo de equilíbrio geral computável para a análise das implicações econômicas e sociais da introdução das medidas de mitigação selecionadas para cada cenário, e na ligação entre o modelo IMACLIM-BR e os diversos modelos setoriais. Entretanto, por se tratar de um estudo de natureza inovadora, o presente trabalho apresenta algumas restrições e limitações, que serão apresentadas a seguir, juntamente com recomendações e próximos passos para estudos futuros.

Uma das mais importantes limitações desta versão estática do modelo IMACLIM-BR é o fato dele não descrever a trajetória da economia nos anos intermediários entre o ano base (2005) e o ano final estudado (2030). Este problema foi em parte remediado pelo acoplamento do modelo com o MESSAGE e os demais modelos setoriais, que passaram a fornecer, a cada 5 anos, resultados detalhados de seus respectivos setores: níveis de produção, capacidades instaladas, investimentos totais, etc. Entretanto, para se ter realmente uma descrição da economia nos anos intermediários é necessário o desenvolvimento de uma versão dinâmica do modelo. Este será um dos principais desenvolvimentos visando a realização da segunda fase do projeto IES-Brasil, com horizonte de estudo 2050.

Para inferir o impacto social das políticas climáticas no Brasil, é necessário desagregar as famílias em classes de renda, e assim poder analisar as consequências da política em questão sobre a desigualdade social, ponto extremamente importante no caso do Brasil, um dos países mais desiguais do mundo. Na versão utilizada neste estudo, as famílias foram desagregadas em 3 faixas de renda, o que é um bom começo, mas não é suficiente para calcular o índice de GINI e desenhar curvas de Lorenz para cada um dos cenários simulados. A futura extração dos microdados da POF e PNAD possibilitará desagregar as famílias em decis, além de permitir o mapeamento das qualificações da mão de obra, e a modelagem de um mercado de trabalho para cada tipo de qualificação (baixa, média, alta). O desenvolvimento deste novo módulo de distribuição de renda encontra-se em andamento, e a ideia é que ele esteja pronto para utilização na segunda fase do projeto IES-Brasil.

<sup>16</sup>Relatório completo em [www.centroclima.coppe.ufrj.br](http://www.centroclima.coppe.ufrj.br): Wills e Grottera (2015)

Outra limitação importante decorrente da natureza estática do modelo envolve a representação dos investimentos em mitigação identificados pelos modelos setoriais. Simplificações do fluxo de investimentos e dos fluxos de caixa foram feitas de modo a representar da melhor forma possível o conjunto de medidas de mitigação selecionado para cada cenário. A elaboração da versão dinâmica do modelo IMACLIM-BR ajudará a superar esta limitação.

Outro ponto importante, especialmente para a elaboração de análises de sensibilidade, é o desenvolvimento de um *hard link* (ligação automatizada) entre o IMACLIM-BR e o modelo de oferta de energia (MESSAGE), de forma a facilitar e possibilitar um número maior de simulações e cenários, que também deve ser desenvolvido no futuro. Desse modo, espera-se que seja possível a realização de simulações robustas até 2050.

Outro ponto interessante que deve ser estudado mais a fundo no futuro diz respeito à competitividade do Brasil frente o resto do mundo. O modelo IMACLIM-BR tem como foco o Brasil, e assim não consegue simular políticas climáticas no restante do mundo e consecutivas variações nos preços relativos. Como o Brasil é um país em desenvolvimento, é plausível a hipótese de que o Brasil está implementando a política climática em questão devido a um acordo internacional hipotético, onde outros países estarão da mesma forma, obrigados a reduzir as emissões. Desse modo surgem duas possibilidades de tratamento desta questão (i) verificar a relação entre o conteúdo de carbono dos principais bens exportados pelo Brasil e o conteúdo de carbono da produção dos mesmos produtos no resto do mundo: a hipótese aqui é que esta relação seria uma boa proxy da variação de preços destes produtos no resto do mundo em relação à variação de preços no Brasil devido à política climática – Esta foi a metodologia utilizada neste estudo; e (ii) avaliar o impacto deste acordo sobre os preços internacionais através uma simulação com o IMACLIM-R, a versão global da plataforma, e assim ter um feedback consistente da evolução dos preços do resto do mundo.

No que diz respeito aos modelos setoriais, é importante lembrar que estes modelos trabalham sob equilíbrio parcial, e contabilizam apenas custos microeconômicos, muitas vezes negativos devido a diversos fatores, descritos extensivamente por Seroa da Motta (2012), como por barreiras técnicas, barreiras de mercado e barreiras de financiamento não identificadas inicialmente. Outra questão importante é que estes modelos setoriais muitas vezes não levam em conta custos relativos a impostos, como é o caso do MESSAGE (modelo de otimização de energia), o que também requer um trabalho de compatibilização para que a troca de informações entre os modelos setoriais e o modelo de equilíbrio geral seja feita de forma robusta.



Capítulo 9

## **RESUMO DAS CONCLUSÕES**

## 9. RESUMO DAS CONCLUSÕES<sup>17</sup>

O IES-Brasil analisou as implicações econômicas e sociais da adoção de diferentes conjuntos de medidas de mitigação de emissões de GEE no Brasil até 2030. Além deste foco, outro diferencial do IES-Brasil em relação a exercícios anteriores foi a utilização de um Comitê de Elaboração de Cenários (CEC), composto por especialistas do governo, do setor produtivo e da sociedade civil.

Este grupo formulou as hipóteses de dois cenários selecionando medidas de mitigação adicionais à extensão dos planos governamentais em andamento, com custos abaixo de US\$20/tCO<sub>2</sub>e (cenário MA1) e US\$100/tCO<sub>2</sub>e (cenário MA2). O estudo também avaliou os impactos macroeconômicos e sociais no Brasil da adoção de uma taxa global de carbono sobre a queima de combustíveis fósseis, com esses mesmos valores (cenários MA1+T e MA2+T).

Algumas de suas conclusões confirmam estudos anteriores. Outras são inovadoras, devido à natureza pioneira do estudo. Os quadros a seguir trazem um resumo das principais conclusões do IES-Brasil, agrupadas nestas duas categorias.

O IES-Brasil conclui, à semelhança de estudos anteriores, que:

1. O esforço de **controle do desmatamento é o principal fator que deve permitir ao país cumprir os objetivos** de redução das emissões em 2020, conforme compromisso assumido em Copenhague e registrado na Lei 12.187, que instituiu a Política Nacional sobre Mudança do Clima. Os diversos programas governamentais de mitigação já em andamento devem manter em 2020 as emissões de GEE do país em 1,3 bilhão de tCO<sub>2</sub>e, nível similar ao de 2010, bem abaixo do objetivo voluntário de cerca de 2 bilhões de tCO<sub>2</sub>e em 2020.
2. Se não houver um esforço adicional de mitigação, **a tendência entre 2020 e 2030 é de aumento das emissões**, principalmente devido ao ritmo de crescimento da queima de combustíveis fósseis e da agropecuária.
3. Há **enorme potencial de abatimento** de emissões de GEE no país, através da implantação de um **amplo espectro de opções de medidas adicionais** de mitigação: eficiência energética, uso de fontes renováveis de energia e de técnicas para uma agropecuária de baixo carbono, mudança de modais de transporte, captura de metano em projetos de saneamento básico (aterros sani-

<sup>17</sup>Relatório completo em [www.centroclima.coppe.ufrj.br](http://www.centroclima.coppe.ufrj.br)

tários e estações de tratamento de esgoto) e reflorestamento com espécies nativas e de crescimento rápido.

4. **Boa parte das medidas de mitigação adicional selecionadas tem baixo custo**, como por exemplo as do setor agropecuário, uma maior eficiência energética e um maior aproveitamento de energias renováveis como a hidroelétrica e o etanol de cana. Sua adoção pode fornecer um nível significativo de mitigação adicional à extensão do esforço já em andamento no cenário do Plano Governamental (CPG), como ilustrado nos resultados dos cenários Mitigação Adicional 1 (MA1) e Mitigação Adicional 1 mais Taxa de Carbono (MA1+T).
  - a) Caso venham a ser viabilizadas outras medidas, como por exemplo a restauração da Mata Atlântica, a produção em larga escala de carvão vegetal de florestas plantadas, o aumento substancial do transporte interurbano de cargas e urbano de passageiros sobre trilhos, incluídas nos cenários Mitigação Adicional 2 (MA2) e Mitigação Adicional 2 mais Taxa de Carbono (MA2+T), pode-se atingir um nível mais ambicioso de mitigação adicional.
5. **Há diversas barreiras, econômico-financeiras e não econômicas** (legais, regulatórias, institucionais) **para a implementação das medidas de mitigação adicional selecionadas**, e diferentes formas para superá-las, seja através de instrumentos de política microeconômica e de comando/controle (cenários MA1 e MA2), seja por meio de uma taxa global sobre a queima de combustíveis fósseis (cenários MA1+T e MA2+T).

**Considerando as premissas** adotadas nos modelos econômicos utilizados no estudo IES-Brasil, **incluindo uma vigorosa retomada do crescimento econômico do país até 2030**, e as hipóteses e **medidas de mitigação selecionadas** pelo Comitê de Elaboração de Cenários (CEC), o IES-Brasil aponta as seguintes **implicações macroeconômicas e sociais de cenários de mitigação adicional ao prolongamento dos planos de governo em andamento (CPG)**:

1. Ações de mitigação adicionais às já em andamento **podem contribuir para um maior crescimento econômico**, dependendo da forma como são implementadas.

Se as medidas selecionadas forem implementadas apenas com os instrumentos microeconômicos e mecanismos de comando e controle dos **cenários sem taxa de carbono, o PIB tende a crescer mais que no CPG**. Mas se as medidas selecionadas forem implementadas também **com a taxa de carbono, seu impacto sobre o PIB depende do nível necessário para a taxa**: até US\$20/tCO<sub>2</sub>e, o PIB não é inferior ao do CPG, como mostra o resultado do cenário MA1+T; mas com a taxa de US\$100/tCO<sub>2</sub>e, usada no cenário MA2+T, o PIB seria inferior ao do CPG, em razão de uma queda na atividade econômica como um todo, gerada pela imposição da taxa a todos os países.

2. **A taxa de desemprego cai em todos os cenários de mitigação adicional**, mesmo com a adoção de uma taxa de carbono, sendo o setor energético o que cria o maior número de vagas. Isto ocorre porque no caso dos cenários com taxa, foi adotada a opção de realocar toda a receita arrecadada com a taxa sobre a queima de combustíveis fósseis na desoneração da folha de pagamento, de modo a estimular o nível de empregos mesmo com a redução da atividade econômica global e nacional gerada pela imposição da taxa.
3. As medidas de mitigação adicional selecionadas podem contribuir para o **aumento da renda anual média das famílias** em todos os cenários de mitigação adicional, com maior ganho para as famílias mais pobres, contribuindo para pequena **melhora na distribuição de renda**.
4. Nos cenários de mitigação adicional, verifica-se um **aumento do nível geral de preços** em relação ao CPG, porque o bom nível de empregos garante melhores salários, maiores custos de produção e, ao final, preços mais altos.
5. As medidas de mitigação adicional selecionadas podem ter um **reflexo positivo no poder de compra** da população, apesar do aumento do nível de preços. Nos cenários com taxa, apenas a classe de mais alta renda apresentaria um poder de compra menor que no CPG, **com as classes de renda baixa e média mantendo um poder de compra maior que no CPG**. Já nos cenários de mitigação adicional sem taxa, os ganhos são maiores, em todas as classes de renda.
6. Nos cenários de mitigação adicional, verifica-se uma ligeira **queda em relação ao CPG no investimento total e na taxa de investimento**, por razões distintas nos cenários com e sem taxa. Nos cenários sem taxa, essa queda é consequência da perda da competitividade da indústria, em razão do aumento do nível de preços; e nos cenários com taxa, a queda na comparação com o CPG se dá em razão da redução da atividade econômica global e nacional.
7. **O saldo da balança comercial brasileira cai em relação ao CPG nos cenários de mitigação adicional sem taxa de carbono**, principalmente devido ao aumento do nível geral de preços que diminui a competitividade da indústria brasileira.

No cenário MA1+T, o saldo da balança comercial brasileira é quase igual ao do CPG. Já **no cenário de mitigação adicional mais ambiciosa com taxação (MA2+T), o saldo quase dobra em relação ao CPG**. Neste caso, isto se dá em razão do **crescimento da competitividade da indústria nacional graças à menor pegada de carbono na produção de bens intensivos em energia** (aço, metais não ferrosos, papel e celulose, produtos químicos, dentre outros), reduzindo a importação de alguns produtos (metais não ferrosos, por exemplo) e aumentando as exportações de outros (papel e celulose, por exemplo).



8. Para os cenários de mitigação adicional significativa (**MA1 e MA1+T**), **seriam necessários investimentos totais em ações adicionais de mitigação de R\$ 99 bilhões no período 2015 – 2030** e para os cenários de mitigação mais ambiciosa (**MA2 e MA2+T**), **de R\$ 372 bilhões (reais de 2005)**. O ganho do PIB acumulado no mesmo período seria de R\$ 182 bilhões no cenário MA1 e de R\$ 609 bilhões no MA2 (reais de 2005).
9. As medidas de mitigação adicional selecionadas geram uma **redução significativa das emissões de 2030, em 21,7% no caso de MA1 e MA1+T, e de 38,5% no caso de MA2 e MA2+T**, na comparação com o CPG (ver Gráfico 7).

Sem a adoção de novas medidas de redução de emissões, as emissões no CPG crescem a partir de 2020, com o aumento das emissões dos setores de Energia e Agropecuária, principalmente, podendo alcançar **1,67 bilhão de tCO<sub>2</sub>e em 2030, acima do nível de 1990 mas ainda abaixo do de 2005**.

Nos cenários **MA1 e MA1+T**, com a implementação de um conjunto de ações de mitigação adicional significativa, as emissões em 2030 seriam da ordem de **1,3 bilhão de tCO<sub>2</sub>e**, mantendo as emissões do país **5% abaixo do patamar de 1990**.

Nos cenários **MA2 e MA2+T**, verifica-se que a implementação de um conjunto de ações de mitigação mais ambiciosas permitiria que o país continuasse numa trajetória de redução de emissões, que chegariam **em 2030 a cerca de 1,0 bilhão de tCO<sub>2</sub>e, nível 25% inferior ao de 1990**.

10. **Os cenários ilustram a dinâmica futura de uma dissociação parcial entre o crescimento econômico e a evolução das emissões de GEE do país.** Com a queda na taxa de crescimento da população brasileira em sua trajetória rumo a uma estabilização em torno de 2040, mesmo em um cenário de alto crescimento econômico as medidas de mitigação já em andamento no CPG devem permitir a estabilização das emissões entre 2010 e 2020 e um aumento moderado de 2020 a 2030, bem abaixo da taxa de crescimento da economia.

**Medidas adicionais de mitigação podem fazer o país chegar a 2030 com um nível de 51% das emissões de 2005.** A relação entre emissões e PIB (medida em toneladas de CO<sub>2</sub>e por milhão de US\$ de 2005) **caiu pela metade, de 2 para 1, entre 2005 e 2010; e em 2030, seria de 0,66 no CPG, 0,5 no MA1 e 0,4 no MA2** (ver Gráfico 2).

Gráfico 1 – IES-Brasil – Evolução das Emissões de GEE nos Cenários 1990 – 2030

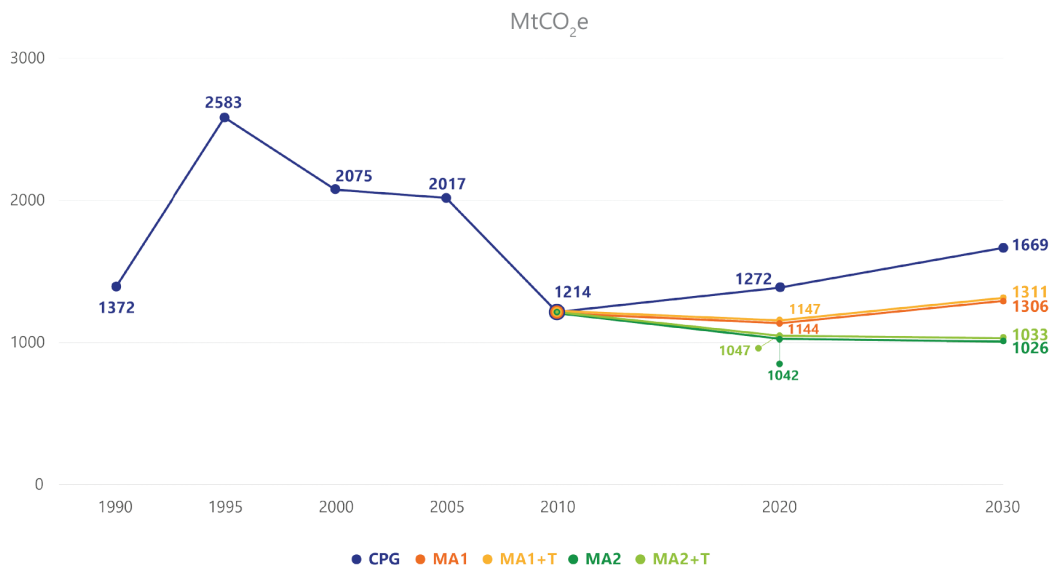
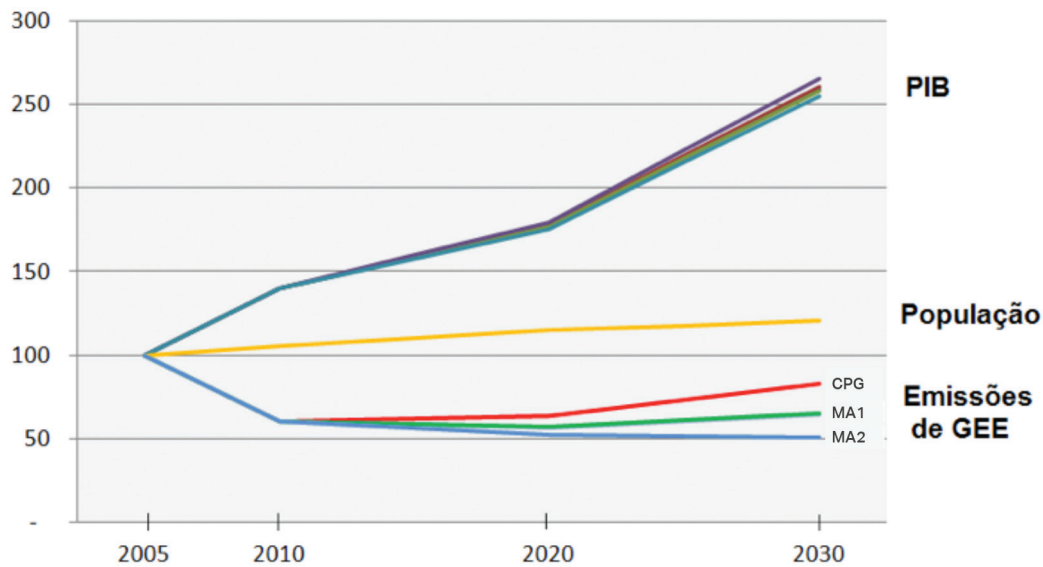


Gráfico 2 – IES-Brasil – População, PIB e Emissões de GEE nos Cenários 2005 – 2030 (base: 2005 = 100)





# REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

## Referências Principais

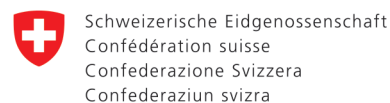
1. Agroicone (2015). BLUM – Modelo de Uso da Terra para a Agropecuária Brasileira. [www.iconebrasil.com.br/publicacoes/estudos/detalhes/677](http://www.iconebrasil.com.br/publicacoes/estudos/detalhes/677).
2. BRASIL (2008) – Plano Nacional sobre Mudança do Clima – PNMC, 2008.
3. BRASIL (2009) – Política Nacional Sobre Mudança do Clima – PNMC. Lei nº 12187 de 2009.
4. Brasil (2010) – Política Nacional Sobre Mudança do Clima – PNMC. Decreto nº 7.390 de 2010.
5. \_\_\_\_\_ – Política Nacional de Resíduos Sólidos – PNRS. Lei nº 12305, de 02 de agosto de 2010.
6. Brasil (2012) – Código Florestal Brasileiro. Lei Nº 12651 de 2012
7. BRASIL. MMA (2012). Plano Nacional de Resíduos Sólidos – *PLANARES*. Brasília, DF, 2012.
8. BRASIL. MMA (2013) – Planos Setoriais de Mitigação e Adaptação à Mudança do Clima. [www.mma.gov.br/clima/politica-nacional-sobre-mudanca-do-clima/planos-setoriais-de-mitigacao-e-adaptacao](http://www.mma.gov.br/clima/politica-nacional-sobre-mudanca-do-clima/planos-setoriais-de-mitigacao-e-adaptacao)
9. BRASIL. MINISTÉRIO DAS CIDADES (2013). *Plano Nacional de Saneamento Básico – PLANSAB*. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. Brasília, DF, 2013.
10. BRASIL. MAPA (2014). *Projeções do Agronegócio: Brasil 2013/2014 a 2023/2024*. Brasília: MAPA/ACS, 2014. 100 p. ISBN 978-85-7991-086-9.
11. BRASIL. MCTI (2014). Terceiro Inventário Brasileiro de Emissões e Remoções Antrópicas de Gases de Efeito Estufa. Relatórios de Referência em Consulta Pública [mct.gov.br/index.php/content/view/360078/Documentos\\_Consulta\\_Publica.html](http://mct.gov.br/index.php/content/view/360078/Documentos_Consulta_Publica.html)
12. BRASIL. MME (2015) – Pretendida Contribuição Nacionalmente Determinada para Consecução do Objetivo da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança Do Clima, 2015. [www.itamaraty.gov.br/images/ed\\_desenvsust/BRASIL-iNDC-portugues.pdf](http://www.itamaraty.gov.br/images/ed_desenvsust/BRASIL-iNDC-portugues.pdf).
13. BRASIL. MAPA (2015). Balança Comercial Brasileira e Balança Comercial do Agronegócio: 1989 a 2014. [www.agricultura.gov.br/internacional/indicadores-e-estatisticas/balanca-comercial](http://www.agricultura.gov.br/internacional/indicadores-e-estatisticas/balanca-comercial).
14. DE GOUVELLO, C. (2010) – *Brazil Low-Carbon Country Study* – Banco Mundial. Washington, DC, 2010.
15. EPE (2015) – Balanço Energético Nacional – BEN 2014. [www.epe.gov.br/Estudos/Paginas/default.aspx?CategorialD=347](http://www.epe.gov.br/Estudos/Paginas/default.aspx?CategorialD=347)
16. \_\_\_\_\_ – Plano Decenal de Energia – PDE 2023. [www.epe.gov.br/Estudos/Paginas/default.aspx?CategorialD=345](http://www.epe.gov.br/Estudos/Paginas/default.aspx?CategorialD=345)
17. \_\_\_\_\_ Plano Nacional de Energia – PNE 2050. [www.epe.gov.br/Estudos/Paginas/default.aspx?CategorialD=346](http://www.epe.gov.br/Estudos/Paginas/default.aspx?CategorialD=346)
18. GREENPEACE & CENTROCLIMA. Eficiência Energética – Emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE): Estimativas de Redução de Emissões de GEE até 2030, a Partir de Cenários de Eficiência Energética para Veículos Leves no Brasil, 2014. [http://www.greenpeace.org/brasil/Global/brasil/report/2014/Estudo%20Cope\\_Eficiencia%20e%20Emissoes.pdf](http://www.greenpeace.org/brasil/Global/brasil/report/2014/Estudo%20Cope_Eficiencia%20e%20Emissoes.pdf)
19. IBGE (2010) – Sistema de Contas Nacionais – Brasil 2004-2008. Contas Nacionais número 31. ISBN 978-85-240-4153-2
20. IBGE (2008) – Projeção da População do Brasil: 1980-2050. Revisão de 2013. [www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/projecao\\_da\\_populacao/International Institute for Applied Systems Analysis – IIASA \(2015\) – Modelo MESSAGE \(Model for Energy Supply System Alternatives and their General Environmental Impacts\)](http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/projecao_da_populacao/International%20Institute%20for%20Applied%20Systems%20Analysis%20-%20IIASA%20(2015)%20-%20Modelo%20MESSAGE%20(Model%20for%20Energy%20Supply%20System%20Alternatives%20and%20their%20General%20Environmental%20Impacts).). [www.iiasa.ac.at/web/home/research/researchPrograms/Energy/MESSAGE.en.html](http://www.iiasa.ac.at/web/home/research/researchPrograms/Energy/MESSAGE.en.html)
21. IPCC (2006) – *2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*. [www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/vol2.html](http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/vol2.html)
22. LOUREIRO, S.M.; ZVEIBIL, V.; e DUBEUX, C.B.S. (2015). Cenários do Setor de Resíduos. In: ROVERE, E. L. L. – Implicações Econômicas e Sociais de Cenários de Mitigação de Gases de Efeito Estufa no Brasil até 2030: Projeto IES-Brasil, Forum Brasileiro de Mudanças Climáticas – FBMC. COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, 2016.
23. MAPS International – *Mitigation Action Plans and Scenarios*. [www.mapsprogramme.org](http://www.mapsprogramme.org)
24. MCTI (2013) – Estimativas anuais de emissões de gases de efeito estufa no Brasil, 2013. Disponível em [www.mct.gov.br/upd\\_blob/0226/226591.pdf](http://www.mct.gov.br/upd_blob/0226/226591.pdf)

25. MCTI (2014) – Estimativas anuais de emissões de gases de efeito estufa no Brasil, 2014 Disponível em [www.mcti.gov.br/upd\\_blob/0235/235580.pdf](http://www.mcti.gov.br/upd_blob/0235/235580.pdf)
26. MOREIRA, M.M.R.; HARFUCH, L.; KIMURA,W.; BACHION, L.C.; LIMA,R.; ZAMBIANCO,W.; NASSAR, A.; DUBEUX, C.B.S.; e WALTER, M.K.C..(2015). Cenários de AFOLU. In: ROVERE, E. L .L.- Implicações Econômicas e Sociais de Cenários de Mitigação de Gases de Efeito Estufa no Brasil até 2030: Projeto IES-Brasil, Forum Brasileiro de Mudanças Climáticas – FBMC. COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, 2016.
27. Ministério do Meio Ambiente – MMA (2010). *1ª Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas por Veículos Automotores Rodoviários*. Relatório Final. Janeiro, 2010.
28. OLIVEIRA, B.C.P. e MOREIRA, L.S.S.C. (2015). O Projeto IES-Brasil como um Processo Participativo. In: ROVERE, E. L .L. – Implicações Econômicas e Sociais de Cenários de Mitigação de Gases de Efeito Estufa no Brasil até 2030: Projeto IES-Brasil, Forum Brasileiro de Mudanças Climáticas – FBMC. COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, 2016.
29. PEREIRA JR, A.O. e CARVALHO, P.T. (2015). Cenários do Setor Agrícola – demanda de energia. In: ROVERE, E. L .L. – Implicações Econômicas e Sociais de Cenários de Mitigação de Gases de Efeito Estufa no Brasil até 2030: Projeto IES-Brasil, Forum Brasileiro de Mudanças Climáticas – FBMC. COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, 2016.
30. PEREIRA JR, A.O.; CUNHA, S.H.F.; e SANTOS, T. (2015). Cenários do Setor de Oferta de Energia. In: ROVERE, E. L .L. – Implicações Econômicas e Sociais de Cenários de Mitigação de Gases de Efeito Estufa no Brasil até 2030: Projeto IES-Brasil, Forum Brasileiro de Mudanças Climáticas – FBMC. COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, 2016.
31. PEREIRA JR, A.O. e SANTOS, L.A.S. (2015). Cenários do Setor de Serviços . In: ROVERE, E. L .L. – Implicações Econômicas e Sociais de Cenários de Mitigação de Gases de Efeito Estufa no Brasil até 2030: Projeto IES-Brasil, Forum Brasileiro de Mudanças Climáticas – FBMC. COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, 2016.
32. PEREIRA JR, A.O.; e WEISS, M. (2015). Cenários do Setor Residencial . In: ROVERE, E. L .L. – Implicações Econômicas e Sociais de Cenários de Mitigação de Gases de Efeito Estufa no Brasil até 2030: Projeto IES-Brasil, Forum Brasileiro de Mudanças Climáticas – FBMC. COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, 2016.
33. PEREIRA JR, A.O.; SANTOS, L.; e OLIVEIRA, L.D.B (2015). Cenários do Setor de Transporte. In: ROVERE, E. L .L. – Implicações Econômicas e Sociais de Cenários de Mitigação de Gases de Efeito Estufa no Brasil até 2030: Projeto IES-Brasil, Forum Brasileiro de Mudanças Climáticas – FBMC. COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, 2016.
34. ROVERE, E.L.L.; DUBEUX, C.B.S; PEREIRA JR., A.O; SANTOS, A.M.; CARLONI, F.B.B.A.; CARVALHO, P.T.; ARAGÃO, R.M.; SOLARI, R.; WILLS, W.; HASHIMURA, L.M.; BURGI, A.S.; FIORINI, A.C.O. (2011) – Estudo Comparativo entre Três Cenários de Emissão de Gases de Efeito Estufa no Brasil e uma Análise de Custo-Benefício. Ministério do Meio Ambiente. PNUD. 2011. [www.centroclima.coppe.ufrj.br](http://www.centroclima.coppe.ufrj.br)
35. SEROA DA MOTTA, R. ; COUTO, L.C; CASTRO, L. (2012). Curvas de Custos Marginais de Abatimento de Gases de Efeito Estufa no Brasil: Resenha e Oportunidades de Mitigação, 2012. IPEA. [www.ipea.gov.br/portal/index.php?option=com\\_content&view=article&id=15950](http://www.ipea.gov.br/portal/index.php?option=com_content&view=article&id=15950)
36. *Stockholm Environment Institute* (2014) – *LEAP- Long-range Energy Alternatives Planning System*. [www.sei-us.org/leap](http://www.sei-us.org/leap)
37. WATANABE JR, S.; KISHINAMI, R.; e TONI, A. (2015). Cenários do Setor Industrial. In: ROVERE, E. L .L. – Implicações Econômicas e Sociais de Cenários de Mitigação de Gases de Efeito Estufa no Brasil até 2030: Projeto IES-Brasil, Forum Brasileiro de Mudanças Climáticas – FBMC. COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, 2016.
38. WILLS, W. e GROTTERA, C. (2015). Cenários Econômicos e Sociais. In: ROVERE, E. L .L. – Implicações Econômicas e Sociais de Cenários de Mitigação de Gases de Efeito Estufa no Brasil até 2030: Projeto IES-Brasil, Forum Brasileiro de Mudanças Climáticas – FBMC. COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, 2016.
39. 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 (PPE/COPPE/UFR), 2013. [www.ppe.ufrj.br](http://www.ppe.ufrj.br)
40. WILLS, W.; LEFEVRE, J. (2012) – The Impact of a Carbon Tax Over the Brazilian Economy in 2030 – IMA-CLIM: 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.



## Patrocinadores

---



**Swiss Agency for Development and Cooperation SDC**

## Apoiadores

---



## Produção

---

