



BRASIL CARBONO ZERO EM 2060

Relatório do Fórum Brasileiro de Mudança do Clima (FBMC)
para a Presidência da República



Brasília, 10 de Agosto de 2018

A Sua Excelência o Senhor
Alfredo Sirkis
Coordenador-Executivo do Fórum Brasileiro de Mudança do Clima

Senhor Coordenador-Executivo,

Considerando o disposto no Acordo de Paris, quanto à meta definida no artigo 2º, parágrafo 1º, alínea "a", em *"Manter o aumento da temperatura média global bem abaixo de 2°C em relação aos níveis pré-industriais, e evitar esforços para limitar esse aumento da temperatura a 1,5°C em relação aos níveis pré-industriais, reconhecendo que isso reduziria significativamente os riscos e os impactos da mudança do clima."*

Considerando que estudos científicos apontam que o cumprimento dessa meta exigirá a neutralização das emissões líquidas de gases de efeito estufa - GEE na segunda metade deste século; e

Considerando que vários países já definiram estratégias a longo prazo para esse objetivo e que o Brasil apresentou uma das Contribuições Nacionalmente Determinadas - NDC mais avançadas e que necessita agora ser complementada com uma estratégia de logo prazo que também promova o desenvolvimento econômico e social,

Solicito ao Fórum Brasileiro de Mudança do Clima - FBMC dias, a elaboração de uma proposta que trate do que seria necessário para o atingimento por parte do Brasil de uma meta de emissões líquidas zero no horizonte de 2060, baseada em estudos e debates entre os diversos setores da sociedade civil, do terceiro setor e da academia, no prazo de cento e vinte dias.

Atenciosamente,

Michel Temer

Em agosto de 2018, durante a cerimônia de entrega ao Exmo. Sr. Presidente da República do documento Proposta Inicial para a Implementação da NDC Brasileira, desenvolvida pelo Fórum Brasileiro de Mudança do Clima (FBMC), o mesmo solicitou ao FBMC a elaboração de uma proposta avaliando o que seria necessário para o Brasil se tornar um país carbono neutro –isto é com emissões líquidas zero de gases efeito estufa (GEE)-- no horizonte de 2060.

A questão de uma estratégia de longo prazo já vinha sendo tratada no FBMC pela sua Câmara Temática 8 de *Visão de Longo Prazo*. Ela prepara um estudo mais abrangente que vai além de mitigação de emissões e inclui a adaptação e visões de sociedade. A demanda presidencial se focou, especificamente, numa avaliação capaz de situar o nosso país em relação às iniciativas que vem sendo anunciadas de países que anunciam a disposição de se tornar carbono neutros. É o caso recente de Portugal e Espanha que apontaram para o horizonte 2050.

A urgência desse tipo de avaliação foi ressaltada pelo recente relatório do IPCC tratando do limite de 1,5 °C e do que seria necessário como ação coletiva internacional para tanto. Mesmo a meta tradicional de 2 graus depende de um planeta carbono neutro em algum ponto entre 2055 e 2070. O desafio técnico para a realização, no curtíssimo espaço de tempo disponível, num prazo de 120 dias, ficou nas mãos da equipe do professor Emílio La Rovere, do Centro Clima da COPPE/UFRJ, que já havia desenvolvido um trabalho avaliando a possibilidade do Brasil alcançar, em 2050, emissões per capita numa média compatível com um cenário de 1,5 °C.

Esse estudo serviu de base ao se utilizar boa parte de sua metodologia e pressupostos. Porque optou-se por 2060? O estudo mencionado, para 2050, ainda apresentava um saldo residual de emissões líquidas naquele ano. Por outro lado, essa era a primeira vez que o governo brasileiro entrava na discussão do tema e no seu interior havia diferentes opiniões a respeito da pertinência do país apresentar metas de longo prazo e que influência isso poderia ter sobre nossa posição negociadora. Buscando dar maior conforto político aos tomadores de decisão optou-se por esse ano. Também abandonou-se a ideia inicial de um decreto presidencial criando um

grupo de trabalho nesse sentido em prol de uma proposta com base num estudo preliminar do Fórum que poderá evoluir com o tempo. O importante é que, pela primeira vez, o governo brasileiro sinalizou, por meio de um pedido do Presidente da República, interesse em considerar a meta de nos tornarmos país carbono neutro em termos de emissões líquidas de GEE. É uma situação onde GEE continuarão a ser emitidos, mas serão totalmente compensadas por uma absorção de carbono equivalente. O sentido desse estudo é formular e traçar, para o presente e futuros governos, os grandes contornos de como poderia ser implementado esse objetivo.

A estratégia aqui proposta para o horizonte 2060 não só permite ao Brasil cumprir sua parte em relação à contenção das mudanças climáticas em um nível não-catastrófico como sugere oportunidades econômicas importantes na medida em que nosso país está singularmente bem posicionado para enfrentar, com vantagens competitivas, o desafio da descarbonização das economias no âmbito global.

Alfredo Sirkis

Coordenador Executivo
Fórum Brasileiro de Mudança do Clima

Rio de Janeiro, 30 de Novembro de 2018

Equipe técnica:

Centro de Estudos Integrados sobre Meio Ambiente e Mudanças Climáticas do Instituto de Pesquisas e Pós-graduação de Engenharia da Universidade Federal do Rio de Janeiro

Centro Clima / COPPE / UFRJ

COORDENAÇÃO GERAL: Emilio Lèbre La Rovere

CENÁRIO MACROECONÔMICO: William Wills

AGRICULTURA, FLORESTA E OUTROS USOS DA TERRA (AFOLU): Michele Karina Cotta Walter e Carolina Burle Schmidt Dubeux.

SETORES DE TRANSPORTES, INDÚSTRIA, OFERTA DE ENERGIA, RESÍDUOS E OUTROS SETORES: Carolina Grottera e Carolina B.S. Dubeux.

APOIO: Carmen Brandão Reis

EDITORAÇÃO: Elza Maria da Silveira Ramos

Sumário

Apresentação	1
1. Cenário Macroeconômico	3
1.1. Descrição das Premissas do Cenário Econômico	3
1.1.1. Atividade econômica mundial.....	4
1.1.2. Preço internacional do petróleo.....	5
1.1.3. População nacional.....	5
1.1.4. Evolução da produtividade do trabalho.....	6
1.1.5. Taxa de crescimento do PIB do Brasil no horizonte estudado.....	6
1.1.6. Premissas setoriais.....	9
1.2. Resumo das Premissas do Cenário Econômico.....	10
2. Setor de Agricultura, Florestas e Outros Usos da Terra (AFOLU).....	12
2.1. Hipóteses	12
2.2. Aplicação das Medidas de Mitigação.....	13
2.3. Emissões e remoções de GEE.....	14
3. Setor de Transportes.....	17
3.1. Hipóteses	17
3.2. Emissões de GEE.....	18
4. Setor Industrial.....	20
4.1. Hipóteses	20
4.2. Emissões de GEE.....	21
5. Oferta de Energia	23
5.1. Hipóteses	23
5.2. Emissões de GEE.....	24
6. Setor de Resíduos	25
6.1. Hipóteses	25
6.2. Emissões de GEE.....	26
7. Evolução das Emissões de Gases de Efeito Estufa até 2060.....	27
8. Considerações Finais.....	28
9. Bibliografia.....	29

Tabelas

Tabela 1.	Crescimento médio anual do PIB (variação real anual) – Média histórica e projeção	7
Tabela 2.	Crescimento do PIB dos grandes setores da economia (variação real anual – % ao ano) – Média histórica e projeção	10
Tabela 3.	Medidas de mitigação e sua aplicação no setor de AFOLU.....	14
Tabela 4.	Evolução das áreas ocupadas pela agricultura (Mha = milhões de hectares) 14	
Tabela 5.	Emissões totais e dos subsetores do setor de AFOLU no período 2010-2060 (Mt CO ₂ e) 16	
Tabela 6.	Emissões totais e dos subsetores do setor de Transportes no período 2010-2060 (Mt CO ₂ e)	19
Tabela 7.	Emissões totais e dos subsetores do setor de Indústria no período 2010-2060 (Mt CO ₂ e)	21
Tabela 8.	Emissões totais e dos subsetores do Setor Energético no período 2010-2060 (Mt CO ₂ e)	24
Tabela 9.	Emissões totais e dos subsetores do Setor de Resíduos no período 2010-2060 (Mt CO ₂ e)	26

Figuras

Figura 1.	Taxa média anual de crescimento do PIB mundial.....	5
Figura 2.	População nacional (total de habitantes).....	6
Figura 3.	Crescimento do PIB (variação real anual – % ao ano) – Média histórica e projeção	8
Figura 4.	Evolução da População, PIB e PIB per capita no Brasil 2005-2060 (Base 2005 = 1) nos cenários dos estudos IES-Brasil 2050 e Brasil 2060.....	8
Figura 5.	Emissões totais do setor de AFOLU no período 2010-2060 (Mt CO ₂ e)	16
Figura 6.	Evolução das emissões totais e setoriais no período 2005-2060.....	27

Apresentação

Em junho de 2018, a Presidência da República solicitou ao Fórum Brasileiro de Mudança do Clima (FBMC) “no prazo de 120 dias, a elaboração de uma proposta, baseada em estudos e debates com governo, iniciativa privada, terceiro setor e academia, que trate do que seria necessário para o atingimento por parte do Brasil de uma meta de emissões líquidas zero no horizonte de 2060”. O FBMC solicitou então ao Centro Clima da COPPE/UFRJ este estudo e promoveu a sua discussão, através de sua Câmara Técnica de Longo Prazo (CTLP).

Tendo em vista o exíguo prazo disponível para a realização do trabalho, a equipe do Centro Clima se baseou em um conjunto de estudos sobre o tema já realizados anteriormente (ver Bibliografia). Em particular, o Projeto IES-Brasil 2030 (La Rovere et al, 2015), coordenado pelo Centro Clima da COPPE/UFRJ, no âmbito do Fórum Brasileiro de Mudanças Climáticas – FBMC, com apoio do governo brasileiro através do Ministério do Meio Ambiente – MMA, e do projeto internacional Mitigation Actions, Plans and Scenarios - MAPS, usou um processo participativo para elaborar cenários de mitigação das emissões de gases de efeito estufa (GEE) do Brasil até 2030 e avaliar suas Implicações Econômicas e Sociais. Este projeto, realizado de 2013 a 2015, constituiu-se numa experiência bem-sucedida de estabelecer um diálogo transparente e construtivo entre cerca de 70 membros de instituições de governo, setor produtivo, ONGs e comunidade científica atuantes na área de mudanças climáticas, reunidos na Comissão de Elaboração de Cenários – CEC. Na quantificação dos cenários, além de modelos técnico-econômicos setoriais para AFOLU, Energia, Transportes e outros setores, foi utilizado um modelo macroeconômico de equilíbrio geral, o IMACLIM-BR, especialmente desenvolvido pela equipe do Centro Clima para simular as implicações econômicas e sociais da redução de emissões de GEE do país. A CEC discutiu e validou as hipóteses mais pertinentes para serem testadas nos cenários elaborados, analisando as barreiras para adoção das medidas de mitigação propostas e instrumentos de política pública para superá-los. O produto final do IES-Brasil 2030, um relatório com a síntese da análise comparativa dos três cenários elaborados, mostrou a viabilidade de uma redução significativa das emissões do Brasil até 2030 sem comprometer o crescimento econômico e a qualidade de vida da população. Seus resultados foram apresentados ao MMA e outros ministérios, e à plenária do FBMC, fornecendo elementos valiosos para a preparação da NDC brasileira (a Contribuição Nacionalmente Determinada) apresentada à Convenção do Clima – UNFCCC e ratificada pelo Congresso Nacional.

A NDC brasileira é uma das mais ambiciosas dentre os países em desenvolvimento, visando uma redução de GEE de 37% em 2025 e sinalizando uma redução de 43% em 2030 no nível absoluto de emissões em relação a 2005. O desenvolvimento de novos cenários de

descarbonização no Brasil até meados do século é fundamental para conceber estratégias revisadas e mais ambiciosas que mantenham a trajetória das emissões de GEE do país em linha com o objetivo do acordo de Paris, mantendo o aquecimento global bem abaixo de 2°C, idealmente abaixo de 1,5°C.

O presente estudo permitiu a continuidade desses esforços, permitindo a definição de medidas de mitigação adicionais às já em andamento no país para viabilizar um cenário compatível com a meta de redução a zero das emissões líquidas de GEE do país até 2060. Seus resultados preliminares foram apresentados e discutidos em reunião da Câmara Temática de Longo Prazo (CTLP) do FBMC. Este relatório vem fornecer insumos para a elaboração de uma estratégia brasileira de desenvolvimento de baixa emissão de GEE no longo prazo, contribuindo para a sua definição, prevista para 2020 no âmbito da Convenção do Clima (UNFCCC).

1. Cenário Macroeconômico

De acordo com a abordagem da metodologia de cenários, as projeções não são previsões, ou seja, seu objetivo não é o de fornecer o futuro que se julga o mais provável. O Brasil enfrentou recentemente uma das recessões mais graves de sua história. Conseqüentemente, era fundamental atualizar as projeções de crescimento econômico a esta nova realidade, reduzindo as altas taxas de crescimento econômico adotadas pelo governo na elaboração dos objetivos da NDC brasileira até 2030. Mesmo com a revisão das taxas de crescimento para baixo, este cenário se baseia em taxas elevadas de crescimento econômico mundial e dentro do potencial de crescimento de longo prazo da economia brasileira, de acordo com OCDE (2017) e PWC (2015). Assim, o atingimento do objetivo de zerar as emissões líquidas de GEE do país até 2060 não se daria em detrimento do desenvolvimento econômico e social. Ao contrário, o cenário busca garantir a consecução desta meta mesmo na eventualidade de ocorrência de um ritmo sustentado de crescimento econômico.

Em 2017, por demanda do Instituto Clima e Sociedade - iCS e da WWF-Brasil, o Centro Clima elaborou um cenário de mitigação adicional das emissões de GEE do país até 2050, em trajetórias compatíveis com a estabilização da temperatura global limitada a um aumento de 1,5°C acima do nível pré-Revolução Industrial. Em 2017, foram realizadas duas reuniões com cerca de 70 membros de instituições de governo, setor produtivo, ONGs e comunidade científica atuantes na área de mudanças climáticas, para discutir e validar as hipóteses de um Cenário 1,5°C para o Brasil, baseado em tecnologias já disponíveis e para avaliar os resultados obtidos a partir da modelagem quantitativa desse cenário realizada pela equipe do Centro Clima.

O cenário econômico do presente estudo se baseia naquele descrito nesse estudo IES-Brasil 2050 (La Rovere et al, 2017), que narra uma história de futuro plausível e pertinente, a partir de hipóteses sobre a evolução da economia brasileira. Entretanto, para o presente estudo Brasil Carbono Zero, as taxas de crescimento econômico foram novamente atualizadas de acordo com os dados mais recentes. O cenário macroeconômico de base adotou premissas bem semelhantes às do estudo IES-Brasil 2050 quanto à estrutura econômica, entretanto, considerou taxas de crescimento menores após 2030. Assim, neste estudo Brasil Carbono Zero, o PIB em 2060 é equivalente àquele observado no IES-Brasil em 2050.

1.1. Descrição das Premissas do Cenário Econômico

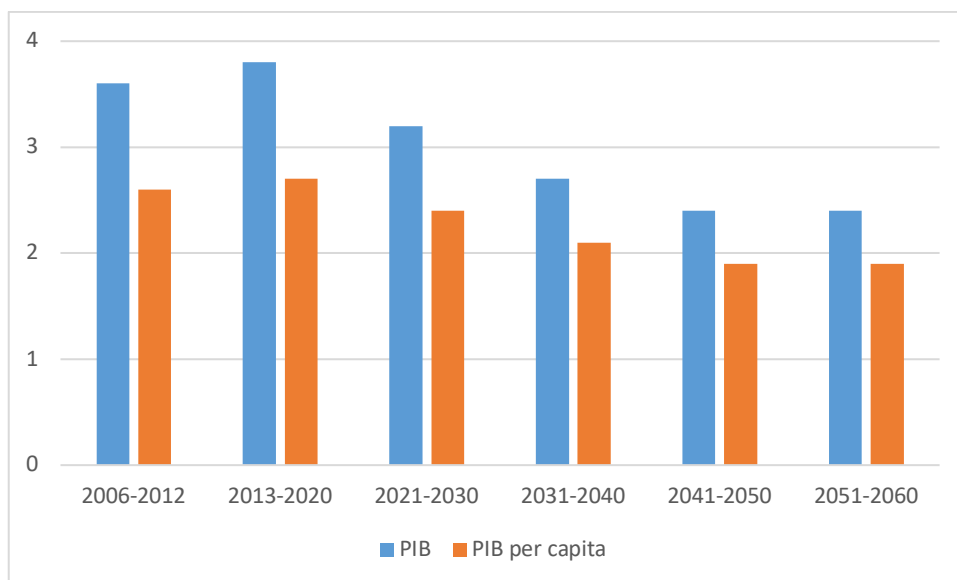
Esta seção apresenta o conjunto de premissas utilizadas na calibração do cenário econômico, que foi validado por debates com governo, iniciativa privada, terceiro setor e academia, no âmbito do estudo IES-Brasil 2050 (La Rovere *et al*, 2017).

O PIB caiu aproximadamente 7% entre 2014 e 2016. Em 2017, o PIB brasileiro aumentou apenas 1%, mesmo depois desta severa crise. A taxa de desemprego no final de novembro de

2018, embora registrando ligeira queda, ainda foi de 11,7%, representando cerca de 12 milhões de trabalhadores sem ocupação, segundo dados do IBGE. É necessário um grande rearranjo da economia para retomar o crescimento econômico sustentado, projetado em nosso cenário só a partir de 2021. Este cenário tem como pressuposto o sucesso das políticas públicas aplicadas para superar a crise econômica no curto prazo. A taxa média anual de crescimento do PIB assumida para o período 2018-2020 é de 2,5%, e para o período 2021-2030, de 3,2%. Considerando todo o período de projeção (2018-2030), a taxa média anual de crescimento do PIB ficou em 3,0%, inferior à média de 3,2% observada entre 1994, ano de criação do Plano Real, e 2014, último ano com crescimento positivo antes desta crise econômica. No longo prazo, entre 2031 e 2060, foi considerada uma redução da taxa média anual de crescimento do PIB em relação ao simulado no estudo IES-Brasil 2050 (2,0% ao invés de 3,1%). Desta forma, no presente estudo, a taxa média anual de crescimento do PIB entre 2021 e 2060 é de 2,0%, contra 2,7% no estudo IES-Brasil 2050 entre 2021 e 2050. Como base de comparação para estas hipóteses de crescimento, em 2030, o PIB per capita brasileiro chegaria ao nível atual de países de maior renda média da América Latina e Europa Oriental, como Argentina, Hungria e Polônia e, até 2060, alcançaria os níveis atuais de Portugal e da República Tcheca.

1.1.1. Atividade econômica mundial

O cenário proposto assume que o nível de atividade econômica mundial deve evoluir de forma acelerada no período entre 2013 e 2020, a uma taxa média anual de 3,8%, puxado pelo crescimento das economias emergentes, ao passo que os países desenvolvidos se recuperam da crise econômica iniciada em 2008/2009. Após 2020, verifica-se uma desaceleração do crescimento, em função do arrefecimento nas taxas de crescimento da China e de outros países emergentes. Durante o período 2021-2030, estima-se que o PIB mundial cresça em média 3,2% ao ano. Entre 2031 e 2060 a expectativa é que o crescimento médio anual do PIB mundial fique em torno dos 2,4%.



Fonte: Elaboração própria a partir de EPE (2015)

Figura 1. Taxa média anual de crescimento do PIB mundial

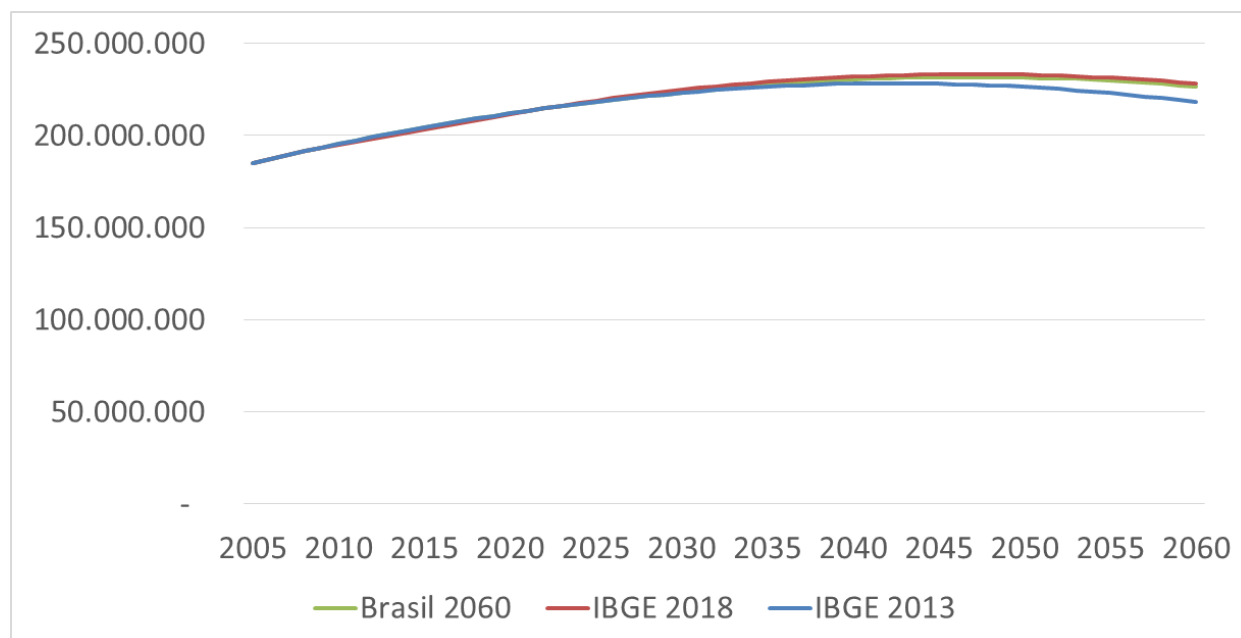
1.1.2. Preço internacional do petróleo

A hipótese do preço internacional do petróleo está lastreada no cenário de preços baixos do World Energy Outlook, da Agência Internacional de Energia, que estima o preço do barril de petróleo abaixo de 80 USD por barril até 2030, em linha com as projeções recentes da EPE. Durante todo o período 2016-2050, o preço do barril de petróleo (Brent) gira em torno de 80 US\$/barril. Este nível médio foi o considerado no nosso cenário até 2060. Dentre os seus determinantes, destacam-se: i) recuperação do crescimento econômico mundial; ii) maturação de projetos de E&P de petróleo e gás (particularmente com recursos não-convencionais); iii) pico de produção do *shale/tight oil* norte-americano, estimado em torno de 2020; iv) aumento da competitividade de outras fontes substitutas (incluindo fontes renováveis e o gás natural não convencional, sobretudo *shale/tight gas*); v) redução da participação do papel do petróleo como ativo financeiro especulativo e vi) gradual elevação da eficiência energética e da substituição por outras fontes.

1.1.3. População nacional

Estima-se uma intensificação da tendência de desaceleração da taxa de crescimento populacional brasileira, função de menores taxas de fecundidade, que já vem sendo observada nas últimas décadas. Em 2030, a população atinge o patamar de 223 milhões de pessoas (IBGE, 2014). Para 2060 foi feito um ajuste na estimativa da população nacional para compatibilizar a nova

projeção do IBGE (2018) com a população considerada no IES-Brasil 2050 (baseada em IBGE 2013). Os resultados podem ser observados no gráfico abaixo.



Fonte: Elaboração própria a partir de IBGE (2013) e IBGE (2018)

Figura 2. População nacional (total de habitantes)

A população brasileira atinge um pico de 231,6 milhões em 2047 e depois entra em queda lenta até atingir 226,3 milhões em 2060.

1.1.4. Evolução da produtividade do trabalho

Este cenário econômico possui como uma de suas premissas que o Brasil continuará a diminuir a desigualdade entre as diferentes classes de renda, por meio do aumento de investimentos em educação, de forma a aumentar a produtividade do trabalhador e por consequência, a competitividade brasileira – o aumento de renda e o maior investimento em educação contribuem para tornar a mão-de-obra mais qualificada e, portanto, mais produtiva. A hipótese de evolução da produtividade média do trabalhador por setor é condizente com o crescimento da produção setorial apresentada no estudo IES-Brasil 2050, corrigido, porém, para taxas de crescimento mais baixas, como já explicado.

1.1.5. Taxa de crescimento do PIB do Brasil no horizonte estudado

O cenário macroeconômico doméstico é caracterizado, no médio prazo, pela redução do "Custo Brasil" a partir da melhoria da infraestrutura, contribuindo para a redução de custos de transporte e aumento da competitividade dos setores produtivos. Esperam-se também avanços

no âmbito educacional, com maiores investimentos nesta área, parte deles oriunda das receitas de exploração de petróleo na camada do Pré-Sal, além de uma reforma da previdência, de modo a estabilizar os gastos em relação ao PIB nos padrões de 2005. Estas políticas contribuem para uma maior produtividade geral da economia brasileira.

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

Desta forma, estima-se que o Brasil crescerá a taxas mais baixas do que a média mundial até 2020, quando sairia da atual crise. Entre 2021 e 2030, colhendo os frutos das reformas iniciadas no final da década anterior, o Brasil cresceria na média do resto do mundo: 3,2% a.a.. No longo prazo, entre 2031 e 2060, o Brasil teria sua taxa de crescimento um pouco reduzida, influenciada, entre outras coisas pela estabilização da população e redução da população em idade ativa a partir de meados da década de 2040. A tabela a seguir apresenta as taxas médias anuais de crescimento do PIB por período.

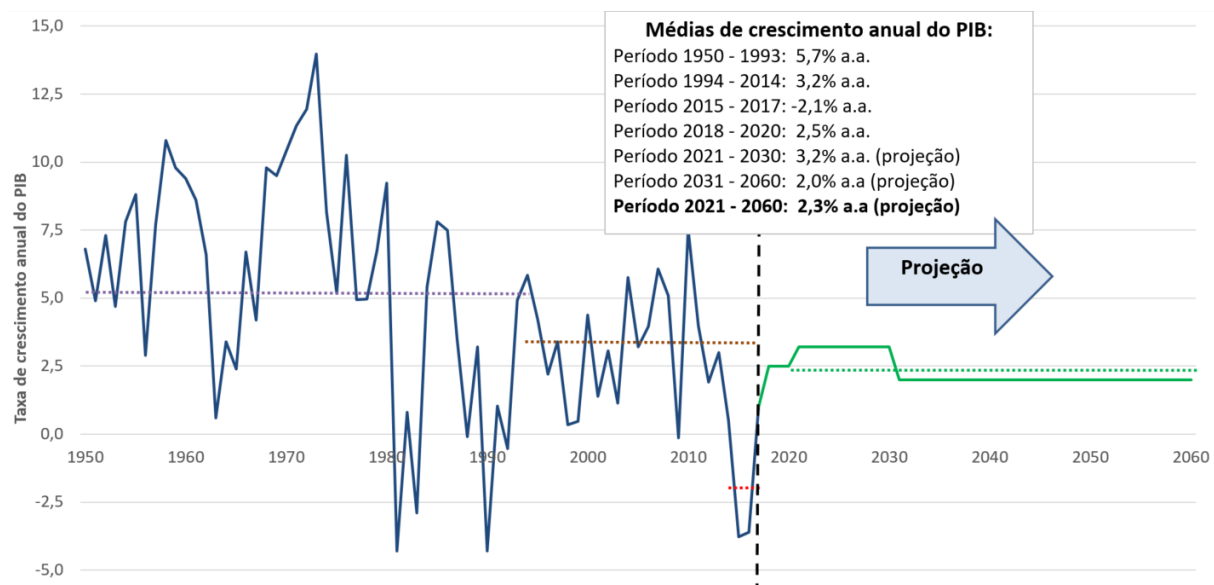
Tabela 1. Crescimento médio anual do PIB (variação real anual) – Média histórica e projeção

Período	Crescimento médio anual do PIB
1950-1993	5,7%
1994-2014	3,2%
2015	-3,8%
2016	-3,6%
2017	1,0%
2018-2020*	2,5%
2021-2030*	3,2%
2031-2060*	2,0%
2021-2060*	2,3%

Fonte: Elaboração própria a partir de IPEADATA (2018) e BACEN (2018).

* Projeção

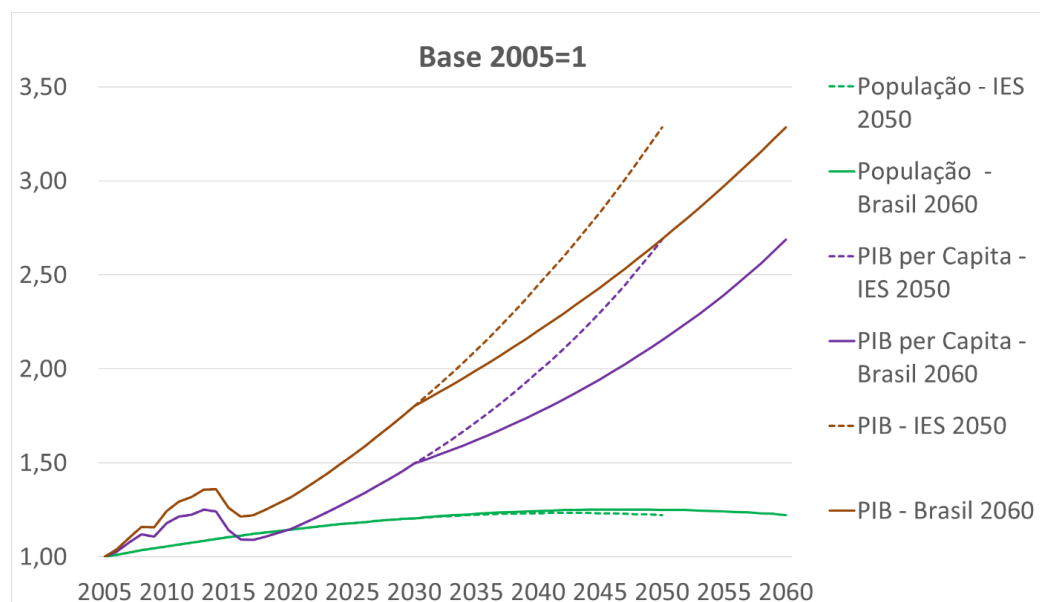
A Figura 3 apresenta a taxa de crescimento real do PIB entre 1950 e 2017 e a projeção de crescimento entre 2018 e 2060.



Fonte: Elaboração própria a partir de IPEADATA (2018) e BACEN (2018).

Figura 3. Crescimento do PIB (variação real anual – % ao ano) – Média histórica e projeção

A Figura 4, a seguir, apresenta uma comparação entre indicadores selecionados dos estudos Brasil 2060 e IES-Brasil 2050, como o PIB, PIB per capita e a população brasileira entre 2005 e 2060, utilizando a base 2005 = 1.



Fonte: Elaboração própria.

Figura 4. Evolução da População, PIB e PIB per capita no Brasil 2005-2060 (Base 2005 = 1) nos cenários dos estudos IES-Brasil 2050 e Brasil 2060.

Como pode ser observado, devido à grande recessão dos últimos anos, o PIB brasileiro só voltaria aos níveis de 2014 (pico) em 2022. Já o PIB per capita seria ainda mais afetado devido ao aumento da população, e só voltaria ao nível de 2013 (pico) em 2024. Conforme mencionado anteriormente, por construção, o PIB do Brasil em 2060 no presente estudo é idêntico ao PIB brasileiro em 2050 no estudo IES-Brasil 2050.

O nível de desigualdade de renda, que caiu entre 2000 e 2010, volta a subir entre 2015 e 2020, fruto da crise econômica bastante profunda, embora não chegue aos níveis observados no começo dos anos 2000. A partir de 2021, com um crescimento econômico mais elevado, a melhoria progressiva do nível educacional da população, e a tendência de formalização do trabalho, a desigualdade no país vai se reduzindo lentamente até o final do horizonte estudado, chegando em 2050 a um coeficiente de Gini de 0,45, aproximando-se do nível observado em 2005 em alguns países europeus menos ricos, como Portugal.

Assim como no projeto IES-Brasil 2050, considerou-se neste estudo uma taxa de câmbio de 3,15 R\$/US\$ constante durante o período analisado (ambas as moedas em valores de 2015).

1.1.6. Premissas setoriais

A composição da economia foi projetada em linha com as hipóteses já adotadas no estudo IES-Brasil 2050. A solução de gargalos, a redução das desigualdades sociais e o aumento na produtividade dos fatores (trabalho, capital, terra), além da maior renda per capita, contribuem para alterar o perfil de participação dos setores na economia.

Há continuidade da perda de participação da indústria de base na economia, porém de forma mais lenta que a descrita no PNE 2050, adotando-se uma premissa mais alinhada com a do PDE 2026. Tendo em conta a alta vantagem comparativa da agropecuária brasileira frente ao resto do mundo e a manutenção da alta no preço das *commodities* agrícolas, este setor aumenta sua participação na economia brasileira no período analisado. Além do setor agropecuário, os setores de Petróleo, Gás Natural, Eletricidade, Biomassa para energia, Papel e Celulose e Mineração crescem mais do que o restante da economia, por terem vantagens competitivas naturais frente ao resto do mundo.

A Tabela 2, a seguir, apresenta a evolução da participação dos grandes setores na economia brasileira.

Tabela 2. Crescimento do PIB dos grandes setores da economia (variação real anual – % ao ano) – Média histórica e projeção

	Agropecuária	Indústria	Serviços
2005	5,2%	29,0%	65,8%
2010	5,3%	28,1%	66,6%
2020	5,8%	25,9%	68,3%
2030	5,8%	25,7%	68,5%
2040	5,8%	25,4%	68,8%
2050	6,1%	24,3%	69,6%
2060	6,1%	24,3%	69,6%

Fonte: Elaboração própria

Mais detalhes sobre as hipóteses setoriais podem ser encontradas em La Rovere *et al* (2017).

1.2. Resumo das Premissas do Cenário Econômico

➤ Demografia:

- Projeção da população ajustada para melhor acompanhar a nova projeção do IBGE (2018)
- Pico de 231,6 milhões em 2047 e depois queda lenta até atingir 226,3 milhões em 2060
- População total em idade ativa atinge pico de 152,9 milhões em 2037

➤ Petróleo:

- Alinhado com cenário de preços baixos da Agência Internacional de Energia
- Preço do barril de petróleo: cresce quase linearmente até 80 US\$/barril em 2020 e permanece constante até 2060.
- Viabiliza o pré-sal, mas contabiliza suas receitas de modo conservador.

➤ Macroeconomia:

- Divisas originadas das exportações do pré-sal utilizadas para importação de bens de capital
 - Aumento da produtividade da economia brasileira
 - Balança comercial equilibrada (saldo próximo de zero)
 - Taxa de câmbio constante em 3,15 R\$/US\$ (valores de 2015)
- Taxa média anual de crescimento do PIB:
 - 2018-2020: 2,5% a.a.
 - 2021-2030: 3,2% a.a.

- 2031-2060: 2,0% a.a.
- 2021-2060: 2,3% a.a.
- Evolução da participação dos grandes setores no PIB Brasileiro: a estrutura econômica vai se alterando lentamente ao longo do horizonte do estudo:
 - Agropecuária - sua participação aumenta de 5,2% do PIB em 2005 para 6,1% do PIB em 2060
 - Indústria - sua participação diminui de 29,0% do PIB em 2005 para 24,3% do PIB em 2060
 - Serviços - sua participação aumenta de 65,8% do PIB em 2005 para 69,6% do PIB em 2060.

2. Setor de Agricultura, Florestas e Outros Usos da Terra (AFOLU)

O setor de Agricultura, Florestas e Outros Usos da Terra (AFOLU) é o principal emissor de gases de efeito estufa do país. Por outro lado, é o que apresenta maior potencial de mitigação de suas emissões brutas e de sequestro de carbono para chegar em 2060 com emissões líquidas negativas.

A estratégia de mitigação de longo prazo do setor de AFOLU visando a descarbonização da economia até 2060 é caracterizada pela adoção em maior grau de medidas de mitigação contidas nas políticas climáticas brasileiras (Decreto 7.390/2010 e Plano Agricultura de Baixo Carbono – Plano ABC) e nos compromissos governamentais previstos até 2030 (NAMAs e NDC). Algumas medidas foram adotadas com flexibilização dos prazos para seu cumprimento, em função do atraso já observado. Medidas adicionais como conservação florestal em áreas privadas desmatáveis legalmente e aumento de áreas protegidas foram também consideradas.

2.1. Hipóteses

A produção agrícola, pecuária e florestal ao longo do período foi projetada a partir de dados técnicos e econômicos do projeto IES-Brasil 2050 (La Rovere et al., 2017) ajustados às perspectivas de crescimento econômico consideradas nesse trabalho (PIB doméstico e mundial) e às demandas por produtos agropecuários (matéria prima para biocombustíveis) e florestais (biomassa para fins industriais e energéticos) estimadas para os setores de oferta e demanda de energia (transporte, indústria, comercial/residencial e do próprio setor agropecuário).

As medidas de mitigação adotadas nos setores de transporte, indústria e energia implicam em um aumento na demanda de biomassa florestal e de biodiesel e na redução do uso de etanol (pelo aumento da frota elétrica), sendo essas hipóteses incorporadas às projeções do setor AFOLU, refletindo-se diretamente na ocupação das áreas com agricultura e florestas.

As hipóteses consideradas na modelagem estão a seguir:

- **Floresta econômica:** plantio homogêneo de espécies de crescimento rápido (Eucalipto e Pinus) para fins comerciais. A área modelada é função da demanda por madeira para fins energéticos, para papel e celulose, e de taxas de crescimento dos segmentos de madeira industrializada (serrados e compensados), painéis de madeira e pellets. Além disso, incluiu-se uma área adicional para a produção destinada à exportação;
- **Sistema Silvipastoril:** sistema integrado de pecuária bovina e eucalipto. O sistema de integração simulado adota uma hipótese conservadora, não incluindo a lavoura (Plano ABC para 2020 em 2030 com taxa de crescimento anual estendida até 2060);

- **Restauração de Floresta Nativa:** objetivo de recompor o passivo florestal nos biomas Amazônia, Mata Atlântica, Cerrado, Caatinga, Pampas e Pantanal a partir de 2020: 21 milhões de hectares alcançados em 2060 (potencial estimado por Soares Filho, 2013);
- **Conservação florestal em áreas privadas desmatáveis:** considerou-se que, em 2060, toda a área demandada para a constituição de Cotas de Reserva Legal - CRA (4,7Mha) seria atendida, conforme estimativa do estudo de Soares Filho et al., (2016) e Rajão et al., (2015);
- **Redução do desmatamento:** Na Amazônia, desmatamento (inclusive legal) chegaria a zero em 2060. No Cerrado a redução da taxa anual de desmatamento é de 97,5%, em relação ao período 1996-2005, ou seja a área anual desmatada seria de 39,2 mil ha, em 2060;
- **Incremento de Carbono em Unidade de Conservação e Terras Indígenas com incorporação de novas áreas a partir de 2030:** em 2060 chega-se a 72% da área de florestas públicas não destinadas no Brasil (51,8 Mha);
- **Sistema de Plantio Direto:** após 2020, considera-se que o SPD estará implantado em 100% da área adicional de soja, milho e arroz;
- **Fixação Biológica de Nitrogênio:** FBN adotada em 100% da área de soja e 30% das áreas de milho, arroz, feijão, trigo e cana de açúcar já a partir de 2020, mantendo-se assim até 2060;
- **Melhoria das práticas agropecuárias:**
 - Aumento paulatino da taxa média de lotação: de 1,22 para 2,5 cabeças/ha, em 2060 (em áreas recuperadas que atingem 60 Mha);
 - Redução paulatina da idade média de abate: de 37 para 27 meses, em 2060;
- **Tratamento de Dejetos de Suínos:** meta do Plano ABC para 2020 tem alcance dobrado em 2060.

2.2. Aplicação das Medidas de Mitigação

A Tabela 3 apresenta a evolução do nível de aplicação das medidas de mitigação ao longo do período de 2010 a 2060, de acordo com as hipóteses descritas no item anterior.

Tabela 3. Medidas de mitigação e sua aplicação no setor de AFOLU

Medidas de Mitigação	Nível de aplicação das medidas					
	2010	2020	2030	2040	2050	2060
Expansão de Floresta Econômica (Mha) (inclui pellets)	6,5	6,6	9,1	12,3	15,3	18,5
Sistemas silvopastoris - Integração Pecuária Floresta - IPF (Mha)	0	1,2	5,0	6,1	10,5	15,0
Restauração de Floresta Nativa (Mha)	0	1,3	2,4	5,5	13,3	21,0
Conservação florestal em áreas privadas desmatáveis (Mha)	0	0,0	0,3	0,7	1,8	4,7
Incremento de C em UC e TI* (Mha)	191,5	269,2	269,2	286,4	303,6	320,7
Recuperação de pastagens e melhoria nas práticas agrícolas (Mha)	0	7,8	20,0	40,0	60,0	60,0
Sistema de Plantio Direto (Mha)	30,8	39,3	49,5	50,1	50,6	49,8
Fixação Biológica de Nitrogênio (Mha)	23,3	33,4	52,4	53,9	55,3	56,1
Tratamento de Dejetos de Suínos (Milhões de M ³)	0	0,5	2,4	4,6	6,3	8,1

Mha = milhões de hectares

*UC –Unidade de Conservação e TI – Terras Indígenas.

Fonte: elaboração própria

A área agrícola total se reduz em 18% no período 2010 -2018 graças a ganhos de produtividade, ou seja, mantendo-se o crescimento esperado da produção do setor, principalmente na pecuária, reduzindo substancialmente a área de pastagens. Isto permite aliviar a pressão sobre a fronteira agrícola, contribuindo para a redução das taxas anuais de desmatamento. A Tabela 4 apresenta as áreas ocupadas pela agricultura.

Tabela 4. Evolução das áreas ocupadas pela agricultura (Mha = milhões de hectares)

Área (Mha)	2010	2020	2030	2040	2050	2060
Total	229,4	228,1	233,1	219,8	184,1	188,4
Culturas Agrícolas	51,2	56,0	65,1	67,3	66,9	66,5
Pastagens	171,7	164,3	155,9	134,2	94,39	94,39
Florestas Econômicas*	6,5	7,8	12,1	18,3	22,8	27,5

*Inclui área de floresta homogênea para fins comerciais e área de florestas em integração lavoura-pecuária-floresta.

Fonte: elaboração própria

2.3. Emissões e remoções de GEE

A redução das emissões totais de GEE do setor de AFOLU no período analisado é atribuída principalmente à Mudança de Uso do Solo e Florestas. As principais fontes de emissão do subsetor de Mudança de Uso da Terra e Florestas são a perda de biomassa devido ao desmatamento e a conversão de um uso da terra em outro uso da terra (troca de cultivos, por exemplo). Por outro

lado, as maiores remoções neste setor ocorrem principalmente graças à manutenção do estoque de carbono em áreas protegidas e à recomposição da vegetação nativa.

As remoções totais da Mudança do Uso da Terra e Florestas passam a ser superiores às emissões brutas a partir de 2030, resultando em uma emissão líquida negativa deste subsetor no período 2030-2060. As remoções passam a ser mais expressivas a partir de 2030, quando se considera que haveria um aumento de áreas protegidas, além de uma maior taxa de penetração das medidas de mitigação relacionadas à restauração de florestas nativas e expansão de florestas econômicas plantadas em sistema de integração pecuária-floresta. Contribuiriam também para aumento da remoção as medidas de mitigação relacionadas à expansão de florestas plantadas não consorciadas para produção de pellets e a conservação florestal em áreas privadas desmatáveis.

No que se refere ao subsetor de agricultura, as emissões são crescentes até 2030, apresentando a seguir uma queda até o final do período, totalizando 500 Mt CO₂e em 2060. As principais fontes de emissão são a fermentação entérica (CH₄) e os solos agrícolas (N₂O). Observa-se uma redução nas emissões oriundas da fermentação entérica a partir de 2030, graças à intensificação da recuperação de pastagens, melhoria das práticas agropecuárias e consequente redução do rebanho bovino, mesmo com a expansão projetada da oferta de carne. Em menores proporções têm-se também como fontes de emissão da agricultura, a atividade de manejo de dejetos, a queima de resíduos agrícolas e o cultivo de arroz.

Observa-se que a partir de 2050, as emissões totais líquidas de AFOLU passam a ser negativas, sobretudo graças à redução das taxas de desmatamento e às medidas de mitigação voltadas para o aumento da remoção de carbono.

A Tabela 5 e a Figura 5 apresentam os resultados das emissões de GEE calculadas para cada subsetor de 2010 a 2060.

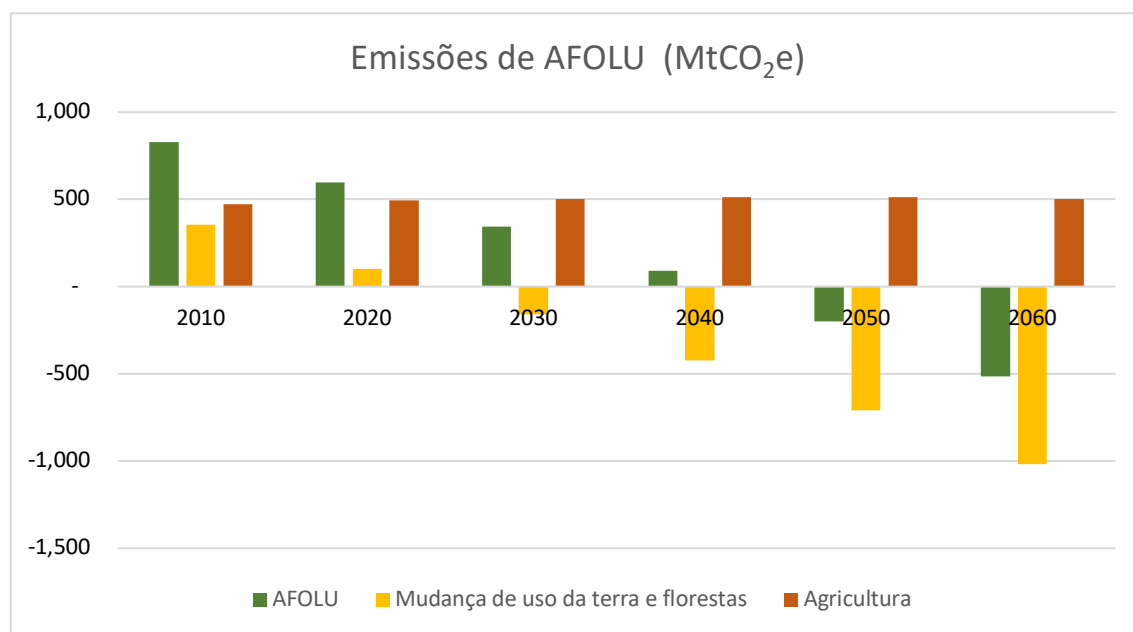
Tabela 5. Emissões totais e dos subsetores do setor de AFOLU no período 2010-2060 (Mt CO₂e)

AFOLU	2010*	2020	2030	2040	2050	2060
Emissões totais (Mt CO₂e)	828	598	342	92	-198	-516
Agricultura	139	124	122	135	142	144
Pecuária	333	371	379	379	370	356
Uso da terra (Emissões líquidas)	355	103	-158	-422	-711	-1.016
Emissões brutas de MUT	1.102	526	377	222	109	37
Emissões brutas do desmatamento		484	339	190	78	8
Outras emissões brutas de MUT e uso de calcário		42	38	33	30	29
Remoções de MUT	-747	-423	-535	-645	-819	-1.053
Florestas econômicas não consorciadas (pellets não incluídos)			-33	-39	-49	-60
Florestas plantadas para pellets			-30	-23	-23	-30
Sistemas silvipastoris (IPF)		-13	-20	-29	-33	-32
Restauração de floresta nativa		-8	-32	-76	-171	-284
Conservação florestal em áreas privadas desmatáveis			-7	-17	-45	-115
Incremento de C em UC e TI*		-382	-382	-415	-448	-481
Recuperação de pastagem		-20	-31	-45	-51	-51

*Dados da III Comunicação Nacional. Devido às diferenças entre as fontes de emissões e remoções adotadas na Comunicação Nacional e neste estudo, as emissões brutas e as remoções de MUT não são detalhadas no ano de 2010.

**C = carbono, UC -Unidade de Conservação e TI - Terras Indígenas.

Fonte: elaboração própria



Fonte: elaboração própria

Figura 5. Emissões totais do setor de AFOLU no período 2010-2060 (Mt CO₂e)

3. Setor de Transportes¹

As estimativas de atividade, demanda de energia e emissões de GEE para o setor de transportes consideraram a evolução da população, do nível de urbanização e de atividade econômica, além das iniciativas de planejamento governamental em curso ou anunciadas, como o Plano Setorial de Transporte e Mobilidade Urbana para Mitigação e Adaptação à Mudança do Clima (PSTM), o Plano Nacional de Logística e Transportes (PNLT), o Plano Decenal de Expansão de Energia (PDE) 2026, o Plano Nacional de Energia 2050 (PNE 2050), o RenovaBio e o Rota 2030, sucessor do programa Inovar-Auto.

3.1. Hipóteses

Foram propostas medidas de aprofundamento da redução de emissões, com novos incentivos e investimentos. Para o transporte de passageiros, foram considerados maior participação do transporte metroviário de passageiros, incentivo ao transporte ativo (não motorizado), além da maior penetração de ônibus urbanos e semi-urbanos híbridos e elétricos. Há também maior utilização de biocombustíveis, como o etanol em veículos com motores a combustão interna, e novas tecnologias como o bioquerosene para aviação. Com relação à frota, considerou-se um aumento da frota circulante de veículos compartilhados. Automóveis particulares a etanol, gasolina, ou com tecnologia flex-fuel deixariam de ser comercializados na década de 2040, perdendo participação na frota total. Em contraste, haveria intensa penetração de veículos com sistemas de propulsão alternativos, como híbridos e elétricos, que dominariam as vendas automotivas ao fim do período.

Para o transporte de carga, propõe-se a busca pelo equilíbrio da divisão modal por meio de investimentos em infraestrutura e políticas públicas, expansão e eletrificação de ferrovias. No transporte rodoviário, caminhões leves e semi-leves e médios seriam predominantemente híbridos e elétricos. Para o transporte de carga de longas distâncias, para o qual a utilização de veículos elétricos plug-in não é viável, a frota de caminhões pesados e semi-pesados seria progressivamente substituída por veículos híbridos (diesel/elétrico). Haveria também aumento da eficiência logística e da participação do biodiesel e introdução do bioquerosene para aviação e do bio-óleo para o transporte aquaviário.

As hipóteses consideradas são sintetizadas a seguir:

¹ Esta seção se baseia no Capítulo de Transportes do “Projeto IES-Brasil, 2050 – Cenário 1,5°C” de autoria de Márcio de Almeida D’Agosto, Daniel Neves Schmitz Gonçalves e George Vasconcelos Goes, do Laboratório de Transporte de Carga – LTC da COPPE/UFRJ (D’Agosto, Schmitz e Goes, 2018).

- **Ganhos de eficiência energética no transporte de passageiros e carga:** de acordo com o limite máximo encontrado na literatura;
- **Investimento em ferrovias para o transporte de carga:** aumento de 10% na divisão modal em 2060, além da eletrificação de ferrovias existentes;
- **Investimentos em metrô, VLT e trens urbanos:** aumento de 4,6% na divisão modal em 2060;
- **Aumento do nível de serviço do transporte coletivo:** renovação e qualificação da frota (ônibus e BRT);
- **Frota circulante:** aumento da frota de veículos compartilhados;
- **Transporte ativo:** incentivo ao transporte não motorizado;
- **Eficiência logística:** aumento da eficiência da operação de transporte de carga;
- **Transporte aquaviário:** expansão do transporte aquaviário de carga por meio de investimentos e políticas públicas;
- **Etanol:** aumento da mistura do etanol anidro à gasolina para 27% e aumento do consumo de etanol hidratado em motores *flexible-fuel*, alcançando 90% em 2060;
- **Biodiesel:** aumento da mistura de biodiesel no óleo diesel mineral para 30% em 2060;
- **Bioquerosene:** aumento da mistura de bioquerosene ao querosene de aviação para 20% em 2060;
- **Bioóleo:** aumento da mistura de bioóleo ao óleo combustível para 15% em 2060 (transporte aquaviário);
- **Automóveis elétricos e híbridos:** aumento da frota, atingindo 39% do total da frota para veículos BEV e 45% para veículos híbridos em 2060;
- **Ônibus urbanos elétricos:** aumento da frota, atingindo 50% do total da frota para veículos BEV em 2060;
- **Caminhões elétricos e híbridos:** aumento da frota, atingindo 55% do total da frota para caminhões leves e semi-leves BEV, 15% para caminhões médios BEV e 30% para caminhões médios híbridos em 2060.

3.2. Emissões de GEE

A Tabela 6 apresenta os resultados das emissões de GEE calculadas para cada subsetor de 2010 a 2060.

Tabela 6. Emissões totais e dos subsetores do setor de Transportes no período 2010-2060 (Mt CO₂e)

Setor	2010	2020	2030	2040	2050	2060
	Mt CO ₂ e					
Transportes	171	192	167	143	122	106
Rodoviário	154	177	147	120	96	76
Ferroviário	3	3	3	3	3	4
Aéreo	10	10	12	13	15	16
Hidroviário	4	3	5	7	8	10

Fonte: a partir de D'Agosto et al. (2018)

4. Setor Industrial²

4.1. Hipóteses

As emissões de GEE do setor industrial compreendem tanto o consumo energético quanto os processos e uso de produtos industriais (IPPU). Foram analisados mais detalhadamente os setores industriais de maior intensidade energética: Cimento, Siderurgia, Química, Não-Ferrosos e Papel e Celulose. Os demais setores foram tratados de forma agregada. Há grande potencial de redução de emissões industriais a partir de ganhos de eficiência energética e de melhorias tecnológicas nos processos e uso de produtos industriais. Para o horizonte de 2060, foram considerados equipamentos mais eficientes, aperfeiçoamentos no controle dos processos e na recuperação de calor, uso de aditivos no segmento de produção de cimento, substituição dos gases fluorados por gases de menor potencial de aquecimento global, entre outras medidas. Adicionalmente, é possível reduzir emissões pela troca de combustíveis, como a substituição do carvão mineral por carvão vegetal na siderurgia e a do óleo combustível por gás natural, menos intensivo em carbono, no setor de não-ferrosos.

As hipóteses consideradas para redução da intensidade energética em 2060 com relação a 2010 incluem uma miríade de ações pontuais que conjuntamente fornecem uma contribuição significativa e são sintetizadas a seguir:

- **Setor de cimento:** controle e otimização, redução da perda de calor, melhorias no sistema de combustão e uso de aditivos ;
- **Ferro-gusa e aço:** recuperação de calor residual, drivers de velocidade variável nos BOF, coke dry quenching, controle da umidade do carvão, recuperação de calor nas fornalhas de ar quente, injeção de carvão pulverizado, fornos a coque tipo Scope 21, recuperação de calor sensível do BOF, novos processos e altos-fornos com reciclagem de gás do topo;
- **Ferroligas:** substituição fornos a arco semicobertos por cobertos (20%), recuperação de CO em gases exaustos, controle avançado, recuperação de calor e geração de eletricidade e trocadores mais eficientes;
- **Não-ferrosos:** redução da intensidade energética em 2060 com relação a 2010 a partir de otimização do fluxo de ar da combustão, controle de pressão em fornos, isolamento em fornos, recuperação de calor, controle de motores e inversores de frequência;

² Esta seção se baseia no Capítulo de Indústria do “Projeto IES-Brasil, 2050 – Cenário 1,5°C” de autoria de Otto Hebeda (Hebeda, 2018).

- **Papel e celulose:** caldeira auxiliar com controle de processo, caldeira auxiliar com recuperação de vapor, caldeira auxiliar com retorno de condensado, manutenção da caldeira auxiliar e modificações no forno de cal.
- **Cerâmica:** recuperação de calor, motores mais eficientes e otimização dos fornos;
- **Têxtil:** otimização do fluxo de ar da combustão, sistemas de recuperação de calor, recuperação de vapor, novos processos e outras medidas de eficiência;
- **Mineração e pelletização:** motores elétricos mais eficientes, manutenção da frota e recuperação de calor;
- **Química:** otimização do fluxo de ar da combustão, sistemas de recuperação de calor, recuperação de vapor e novos processos;
- **Alimentos e bebidas:** manutenção do purgador, melhoria do isolamento, recuperação do gás de combustão e fornos mais eficientes;
- **Para outras indústrias:** otimização do fluxo de ar da combustão, sistemas de recuperação de calor, recuperação de vapor e novos processos;
- **Para outras fontes:** substituição de HFCs por refrigerantes de baixo GWP (redução de 99% das emissões), controle de vazamento e recolhimento de SF₆ ao fim de vida (redução de 84% das emissões) e otimização e controle do processo para redução de emissões de PFCs em 28% (níveis de redução que seriam atingidos em 2060, em relação a 2010).

4.2. Emissões de GEE

A Tabela 7 apresenta os resultados das emissões de GEE calculadas para cada subsetor de 2010 a 2060.

Tabela 7. Emissões totais e dos subsetores do setor de Indústria no período 2010-2060 (Mt CO₂e)

Setor	2010	2020	2030	2040	2050	2060
	Mt CO ₂ e					
Indústria	162	160	175	186	200	213
Indústria (energia)	71	69	74	82	90	98
Cimento	14	16	16	17	18	20
Ferro-gusa e aço	6	6	6	6	6	7
Ferro-ligas	0	0	0	0	0	0
Mineração e pelletização	7	7	10	11	12	13
Não ferrosos e outros metais	5	4	5	5	5	5
Química	14	14	14	17	19	22
Alimentos e bebidas	6	4	5	6	7	7

Têxtil	1	1	1	1	1	2
Papel e Celulose	4	4	4	5	5	6
Cerâmica	5	5	5	5	5	6
Outras indústrias	8	8	7	8	10	11
IPPU	91	91	101	104	110	115
Indústria Mineral	31	30	36	41	47	52
Ferro-gusa e aço	39	37	35	36	36	37
Ferroligas	1	1	1	1	1	1
Não ferrosos e outros metais	4	4	5	5	5	5
Alumínio	3	6	9	10	11	12
Indústria Química	4	4	4	5	6	7
Produtos de uso não energético	1	1	1	1	1	1
HFCs e SF6	8	9	9	6	3	0

Fonte: A partir de Hebeda (2018)

5. Oferta de Energia³

5.1. Hipóteses

O setor de oferta de energia compreende as emissões provenientes das transformações do setor elétrico e do consumo de energia pelo próprio setor energético, além das emissões fugitivas e de gases não-CO₂ das carvoarias (transformação da lenha em carvão vegetal). Graças ao enorme potencial competitivo de fontes renováveis para geração elétrica no país (hidroeletricidade, biomassa, eólica e solar), considerou-se que todas as termelétricas com fonte primária não-renovável (exceto nuclear) seriam descomissionadas até 2060. Haveria menor geração de eletricidade a partir de derivados de petróleo e carvão mineral, enquanto a utilização de gás natural como fonte de calor na indústria ainda seria crescente. A oferta de biocombustíveis seria consistente com a demanda do setor de transporte bem como com as áreas agrícolas destinadas ao cultivo das respectivas matérias primas (cana-de-açúcar, soja e outras).

Medidas de eficiência energética deveriam ser implantadas em todos os setores de consumo de energia. Entretanto, devido à tendência de maior eletrificação da economia, inclusive no setor de transportes, haveria maior demanda por energia elétrica. Assim, haveria expansão de fontes renováveis intermitentes, como eólica e solar fotovoltaica (tanto na forma distribuída como centralizada). A garantia de energia firme seria assegurada pelas fontes hidrelétrica, termelétrica a bagaço de cana-de-açúcar e a biomassa florestal, e solar heliotérmica. Adicionalmente, considerou-se a continuidade e o aprofundamento de melhorias no controle de emissões fugitivas no setor de exploração de petróleo e gás natural, seguindo as melhores práticas internacionais.

As hipóteses consideradas são sintetizadas a seguir:

- **Projeção de petróleo e gás:** extração de 7,7 milhões de barris/dia em 2060;
- **Fontes fósseis no setor elétrico:** nenhuma participação de fontes não renováveis em 2060, exceto de autoprodução e nuclear;
- **Usinas nucleares:** Angra I chega ao fim da vida útil ao longo do horizonte. Em 2060, apenas as usinas Angra II e III se mantêm (2,7 GW);
- **Renováveis no setor elétrico:** hidrelétricas com expansão moderada, maior diversificação (eólicas, solares fotovoltaicas e heliotérmicas), mais termelétricas a biomassa (bagaço e floresta plantada), compensando ausência de UTE fósseis;
- **Produção de etanol:** produção total de 44,6 bilhões de litros em 2060;

³ Esta seção se baseia no Capítulo do Setor Energético do “Projeto IES-Brasil, 2050 – Cenário 1,5°C” de autoria de Amaro Olímpio Pereira Jr. e Gabriel Castro (Pereira Jr. e Castro, 2018).

- **Emissões fugitivas:** medidas para redução de emissões fugitivas no setor de E&P de petróleo e gás natural

5.2. Emissões de GEE

A Tabela 8 apresenta os resultados das emissões de GEE calculadas para cada subsetor de 2010 a 2060.

Tabela 8. Emissões totais e dos subsectores do Setor Energético no período 2010-2060 (Mt CO₂e)

Setor	2010	2020	2030	2040	2050	2060
	Mt CO ₂ e					
Oferta de Energia	82	85	96	95	89	81
Energético Amplo	61	60	68	63	55	47
Consumo do Setor Energético	24	27	31	33	36	39
Transformações	37	33	37	30	19	8
Centrais Elétricas	37	32	37	29	18	7
Carvoarias	1	0	1	1	1	1
Emissões Fugitivas	20	25	28	31	33	34
E&P	10	14	16	19	20	20
Refino	7	9	10	10	11	11
Carvão	3	3	2	3	3	3

Fonte: A partir de Pereira Jr. e Castro (2018)

6. Setor de Resíduos⁴

6.1. Hipóteses

Considerou-se a redução da destinação inadequada de resíduos, como previsto na Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) e na Política Nacional de Saneamento Básico (PNSB), além de maiores taxas de reciclagem e compostagem em pequenas cidades. Apesar das emissões de GEE deste setor não serem significativas no total do país, alguns métodos de disposição final e tratamento de resíduos de forma adequada emanam biogás, ensejando grandes emissões de GEE, o que poderia acarretar um aumento substancial das emissões futuras do setor.

Para evitar isso, haveria um aumento da capacidade de coleta e queima de biogás oriundo de aterros (formado principalmente por metano), e também o aproveitamento do biometano produzido pelo enriquecimento do biogás e substituição do gás natural utilizado em usinas térmicas para geração de eletricidade ou como combustível veicular, o que poderia contribuir para reduzir as emissões do setor energético. Adicionalmente, nas duas maiores regiões metropolitanas do país, São Paulo e Rio de Janeiro, seriam utilizadas tecnologias de tratamento térmico e biológico de Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) já dominantes em países avançados, associadas ao encerramento definitivo dos aterros sanitários (a partir do término de suas vidas úteis).

Analogamente, para esgotos domésticos haveria maior aproveitamento do biometano gerado nas Estações de Tratamento de Esgoto (ETEs). A indústria também contribuiria com a redução das emissões do tratamento de efluentes, através do incremento da captura de biogás e produção de biometano para geração e consumo próprio de eletricidade.

As hipóteses consideradas são sintetizadas a seguir:

- **Resíduos sólidos urbanos:** universalização da coleta a partir de 2030 com aumento da disposição final em aterros sanitários alcançando 70% do total coletado em 2060. Ao final do período, nos aterros haveria destruição de 45% do metano gerado e aproveitamento energético de 20%; dos resíduos coletados, a incineração de RSU com geração de eletricidade alcançaria 8,2% e a biodigestão 10,3%. Unidades de compostagem aeróbia seriam implantadas em cidades com menos de 100 mil habitantes (6,9% do total de resíduos coletados em 2060). A taxa de reciclagem seria seis vezes maior em 2060 do que em 2015.

⁴ Esta seção se baseia no Capítulo do Setor de Resíduos do “Projeto IES-Brasil 2050 – Cenário 1,5°C” de autoria de Saulo Machado Loureiro e Tairini Pimenta Oliveira (Loureiro e Oliveira, 2018).

- **Tratamento de esgotos e efluentes:** o nível de coleta de esgotos alcançaria 84% do esgoto gerado em 2060. Destes, 47% seriam tratados em ETEs, sendo 56% de forma anaeróbia destruindo 80% do metano que gerariam. O tratamento de efluentes industriais em ETEs anaeróbias alcançaria 55% do total gerado, em 2060. Tais ETEs capturariam metano para uso energético.

6.2. Emissões de GEE

A Tabela 9 apresenta os resultados das emissões de GEE calculadas para cada subsetor de 2010 a 2060.

Tabela 9. Emissões totais e dos subsetores do Setor de Resíduos no período 2010-2060 (Mt CO₂e)

Setor	2010	2020	2030	2040	2050	2060
	Mt CO ₂ e					
Resíduos	71	80	76	77	73	65
Resíduos sólidos urbanos e industriais	37	48	44	44	40	34
Efluentes	34	32	33	33	32	31
Esgotos domésticos	16	16	18	18	17	15
Efluentes industriais	17	16	15	15	16	16

Fonte: A partir de Loureiro e Oliveira (2018)

7. Evolução das Emissões de Gases de Efeito Estufa até 2060

As estimativas realizadas mostram que a descarbonização da economia em 2060 deverá estar baseada na redução drástica das emissões de Mudança de Uso da Terra, que passariam a ser negativas já em 2030, uma redução de 153% no período 2005-2060. Nesse período, as emissões se reduzem em 26% no setor de transportes e aumentam 50% no setor de Indústria, 17% no setor de oferta de energia, 10% no setor de resíduos e 9% no setor de Agricultura. Nos demais setores – Residencial, Comercial e Agrícola (demanda de energia) para os quais não foram testadas medidas de mitigação⁵, as emissões crescem 13%.

A Figura 6 apresenta a evolução das emissões totais e setoriais no período 2005-2060.



Fonte: elaboração própria

Figura 6. Evolução das emissões totais e setoriais no período 2005-2060.

⁵ O potencial de mitigação é considerado bem baixo relativamente aos demais setores.

8. Considerações Finais

Este trabalho confirma as conclusões de estudos anteriores:

- o potencial de recursos naturais renováveis faz com que os benefícios e oportunidades da transição para uma economia de baixo carbono sejam particularmente importantes no caso do Brasil, que detém posição privilegiada de competitividade em relação aos demais países, no cenário de um esforço mundial para alcançar os objetivos de longo prazo do Acordo de Paris (MCTIC/GEF, 2016).
- um cenário de implantação plena da NDC brasileira por meio de políticas públicas adequadas é compatível com uma melhora acentuada nos indicadores econômicos e sociais do país, além de propiciar uma significativa redução de emissões de GEE, permitindo o cumprimento dos compromissos assumidos pelo Brasil no Acordo de Paris (Projeto IES-Brasil 2030).
- uma estratégia de desenvolvimento do Brasil no longo prazo compatível com a limitação do aumento da temperatura global a 1,5°C não implicaria necessariamente em consequências econômicas e sociais significativamente negativas para o país, se implantada através de políticas públicas apropriadas (Projeto IES-Brasil 2050).

O cenário desenhado no presente estudo não é o único possível. Existem vários cenários possíveis que podem e devem ser explorados, dada a grande incerteza inerente à análise das opções em um horizonte de tão longo prazo (2060). O progresso técnico das opções de mitigação, a evolução dos comportamentos e as mudanças estruturais nos padrões de consumo abrem possibilidades ainda mais amplas de uma estratégia de desenvolvimento de baixa emissão de GEE a serem exploradas. Análises de sensibilidade são portanto essenciais para que se possa avaliar se a viabilidade da aplicação das medidas adicionais de mitigação identificadas neste estudo se manteria mesmo que importantes parâmetros para a modelagem, como a trajetória do preço do petróleo, variem no horizonte estudado.

As implicações macroeconômicas e sociais da transição para uma economia de baixo carbono dependem não só dos custos das opções de mitigação, mas também dos instrumentos usados para viabilizar sua adoção: econômicos, financeiros, de comando e controle, ou uma mistura deles. Para viabilizar o ambicioso cenário aqui desenhado, é crucial adotar uma precificação das emissões de GEE, sinalizando para os agentes econômicos o valor da redução de suas emissões, através de uma taxa de carbono, e/ou de outros instrumentos, como um mercado de cotas comercializáveis de emissões de GEE, e condições favorecidas de crédito para os projetos de mitigação. Estas questões devem ser consideradas em próximos estudos sobre o tema.

9. Bibliografia

Geral

La Rovere, E. L. et al (2015); Projeto IES-Brasil – 2030 - Implicações Econômicas e Sociais de Cenários de Emissão de Gases de Efeito Estufa no Brasil até 2030. FBMC – COPPE/UFRJ. Sumário Executivo, Sumário Técnico e Relatórios completos disponíveis em www.centroclima.coppe.ufrj.br.

La Rovere, E. L. et al (2017); Projeto IES-Brasil – 2050 - Implicações Econômicas e Sociais de Cenários de Emissão de Gases de Efeito Estufa no Brasil até 2050. FBMC – COPPE/UFRJ. Sumário Executivo, Sumário Técnico e Relatórios completos disponíveis em www.centroclima.coppe.ufrj.br.

MCTIC, GEF (2016). Opções de mitigação de emissões de gases de efeito estufa em setores-chave do Brasil. Organizador Régis Rathmann. Brasília: Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações, ONU Meio Ambiente, 2016, 400p.

Macroeconomia

BACEN, 2018. Relatório de Inflação. Volume 20 | Número 2 | Junho 2018. Banco Central do Brasil. Brasília.

EPE, 2015, Cenário Econômico 2050. Nota Técnica DEA XX/15. Ministério de Minas e Energia. Empresa de Pesquisa Energética. Brasília: MME/EPE.

EPE, 2017. Plano Decenal de Expansão de Energia 2026. Ministério de Minas e Energia. Empresa de Pesquisa Energética. Brasília: MME/EPE.

IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística), 2013, Projeção da população do Brasil e das Unidades da Federação. Acesso em março de 2016. Disponível em <http://www.ibge.gov.br/apps/populacao/projecao/>.

IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística), 2018, Projeção da população do Brasil e das Unidades da Federação. Acesso em novembro de 2018. Disponível em <http://www.ibge.gov.br/apps/populacao/projecao/>.

LA ROVERE, E. L.; DUBEUX, C. B. S; WILLS, W.; PEREIRA JR, A. O.; CUNHA, S. H. F.; LOUREIRO, S. L.S.S.C.; GROTTERA, C.; WEISS, M.; LEFEVRE, J.; OLIVEIRA, L. D. B.; e ZICARELLI, I. Emissão de Gases de Efeito Estufa – 2050. Implicações Econômicas e Sociais do Cenário de Plano Governamental: Projeto IES-Brasil – 2050. COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, 2017.

OECD (2017), GDP long-term forecast (indicator). doi: 10.1787/d927bc18-en Accessed on 26 February 2017.

PWC, 2015. The World in 2050. Will the shift in global economic power continue? Available at: <http://www.pwc.com/gx/en/issues/the-economy/assets/world-in-2050-february-2015.pdf>

WILLS, W., LEFEVRE, J. (2016). Implicações Econômicas e Sociais do Cenário de Plano Governamental – 2050. In: LA ROVERE, E. L. et al. – Emissão de Gases de Efeito Estufa – 2050. Implicações Econômicas e Sociais do Cenário de Plano Governamental: Projeto IES-Brasil – 2050. COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, 2017.

AFOLU

BRAZIL (2010a). Brazil's Nationally Appropriate Mitigation Actions. https://unfccc.int/files/focus/mitigation/application/pdf/brazil_namas_and_mrv.pdf.

BRASIL (2010b). DECRETO Nº 7.390, DE 9 DE DEZEMBRO DE 2010. Regulamenta os arts. 6o, 11 e 12 da Lei no 12.187, de 29 de dezembro de 2009, que institui a Política Nacional sobre Mudança do Clima – PNMC, e dá outras providências. Disponível em: <https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/decreto/d7390.htm>

BRASIL (2012). Brasil. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Plano setorial de mitigação e de adaptação às mudanças climáticas para a consolidação de uma economia de baixa emissão de carbono na agricultura: Plano ABC (Agricultura de Baixa Emissão de Carbono) – Brasília : MAPA/ACS, 2012.173 p.

BRAZIL (2015). Intended Nationally Determined Contribution (INDCs). In: Library of Congress, <http://www4.unfccc.int/submissions/INDC/PublishedDocuments/Brazil/1/BRAZILiNDCenglishFINAL.pdf>.

BRASIL/ MAPA. (2015). Projeções do Agronegócio: Brasil 2014/2015 a 2024/2025 projeções de longo prazo / Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Assessoria de Gestão Estratégica. 6ª Edição. Brasília: MAPA/ACS, 2015. 133 p.

BRASIL (2016). Terceiro inventário de emissões anuais de gases de efeito estufa do Brasil. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação, Secretaria de Políticas e Programas de Pesquisa e Desenvolvimento. Brasília: MCTI.

EMBRAPA. Integração Lavoura Pecuária Floresta – ILPF. iLPF em Números. Disponível em: <https://www.embrapa.br/web/rede-ilpf/ilpf-em-numeros>

EPE (2015). NOTA TÉCNICA DEA XX/15. Cenário Econômico 2050 (Set. 2015).

FEBRAPDP (2012). Federação Brasileira de Plantio Direto na Palha. Disponível em: <https://febrapdp.org.br/area-de-pd>

FUNDAÇÃO NACIONAL DO ÍNDIO (2018). Disponível em <http://www.funai.gov.br/index.php/indios-no-brasil/terras-indigenas>.

IBGE (2016). SIDRA: Banco de dados agregados. Produção Agrícola Municipal. Disponível em <http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/agric/default.asp?z=t&o=11&i=P>.

IBÁ (2017). Relatório Anual 2016. Disponível em: http://iba.org/images/shared/iba_2017.pdf.

IBAMA (2013). Monitoramento do desmatamento dos Biomas Brasileiros por Satélite (*Monitoring the deforestation of the Brazilian Biomes by Satellite*)- PMDBBS. <http://siscom.ibama.gov.br/monitora_biomass/>

MAPA (2017). Projeções do Agronegócio: Brasil 2016/17 a 2026/2027. Projeções de longo prazo (versão preliminar) Disponível em: <http://www.agricultura.gov.br/assuntos/politica-agricola/todas-publicacoes-de-politica-agricola/projecoes-do-agronegocio/projecoes-do-agronegocio-2017-a-2027-versao-preliminar-25-07-17.pdf/view>

MCTIC (2017). Estimativas anuais de emissões de gases de efeito estufa no Brasil.

MCTIC, GEF (2016). Modelagem setorial de opções de baixo carbono para agricultura, florestas e outros usos do solo (AFOLU) . In: Opções de mitigação de emissões de gases de efeito estufa em setores-chave do Brasil. Organizador Régis Rathmann. Brasília: Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações, ONU Meio Ambiente, 2016, 400p.

MMA (2015). Ministério do Meio Ambiente Fundamentos para a elaboração da Pretendida Contribuição Nacionalmente Determinada (INDC) do Brasil no contexto do Acordo de Paris sob a UNFCCC. Disponível em: http://www.mma.gov.br/images/arquivos/clima/convencao/indc/Bases_elaboracao_iNDC.pdf

MMA (2016). Ministério do Meio Ambiente.. Acordo do Paris. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/clima/convencao-das-nacoes-unidas/acordo-de-paris>

MMA (2018). Cadastro de Unidades de Conservação. Disponível em www.mma.gov.br/cadastro_uc

OBSERVATÓRIO DO PLANO ABC. Invertendo o sinal de carbono da agropecuária brasileira. Uma estimativa do potencial de mitigação de tecnologias do Plano ABC de 2012 a 2023. RELATÓRIO 5 – ANO 2. JULHO 2015

OECD STAT. OECD-FAO Agricultural Outlook 2015-2024. Disponível em: http://stats.oecd.org/viewhtml.aspx?datasetcode=HIGH_AGLINK_2015&lang=en Acesso em: 02 fev 2016.

OECD/Food and Agriculture Organization of the United Nations (2015). OECD-FAO Agricultural Outlook 2015, OECD Publishing, Paris. http://dx.doi.org/10.1787/agr_outlook-2015-en

PRODES/INPE. Disponível em: <http://www.obt.inpe.br/OBT/assuntos/programas/amazonia/prodes>
<http://www.dpi.inpe.br/fipcerrado/dashboard/cerrado-rates.html>

PEDRO R. R. ROCHEDO, BRITALDO SOARES-FILHO, ROBERTO SCHAEFFER, EDUARDO VIOLA, ALEXANDRE SZKLO, ANDRÉ F. P. LUCENA, ALEXANDRE KOBERLE, JULIANA LEROY DAVIS, RAONI RAJÃO & REGIS RATHMANN (2018). The threat of political bargaining to climate

mitigation in Brazil. *Nature Climate Change*, 2018. Disponível em <https://www.nature.com/articles/s41558-018-0213-y>

SEEG (2018). Emissões por setor. Disponível em: <http://seeg.eco.br/>

SEEG (2018). Emissões de GEE no Brasil e suas implicações para políticas públicas e a contribuição brasileira para o Acordo de Paris. Documento de Análise. Observatório do Clima. 51p. 2018

Soares-Filho, B., Rajão R., Merry F., Rodrigues H., Davis J., Lima L. et al (2016) Brazil's Market for Trading Forest Certificates. *PLoS ONE* 11 (4): e0152311. doi:10.1371/journal.pone.0152311

Soares-Filho, B. et al (2014). Cracking Brazil's Forest Code. *Science* 344, 363–364 (2014).

Soares-Filho, B. (2013). Impacto da revisão do código florestal: como viabilizar o grande desafio adiante? Centro de Sensoriamento Remoto, Universidade Federal de Minas Gerais. Desenvolvimento Sustentável, subsecretaria SAE. 2013, 28p.

SOS Mata Atlântica – <https://www.sosma.org.br/projeto/atlas-da-mata-atlantica/dados-mais-recentes/>

Walter, M.K.C.; Dubeux, B.S. C.; Zicarelli, I.F (2018). Cenários de Emissão de Gases de Efeito Estufa até 2050 no Setor de Agricultura, Floresta e Outros Usos da Terra: Referência e 1,5°C, in Rovere, E. L.L.; Wills, W.; Dubeux, C. B. S; Pereira Jr, A. O.; D'Agosto, M. A; Walter, M. K. C; Grottera, C.; Castro, G.; Schmitz, D.; Hebeda, O.; Loureiro, S. M.; Oberling, D; Gesteira, C.; Goes, G.V.; Zicarelli, I.F.; e Oliveira, T.J.P (2018). Implicações Econômicas e Sociais dos Cenários de Mitigação de GEE no Brasil até 2050: Projeto IES-Brasil, Cenário 1.5 ° C. COPPE / UFRJ, Rio de Janeiro, 2018.

Demais Setores

BRASIL (2012). POLÍTICA NACIONAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS. Disponível em: https://fld.com.br/catadores/pdf/politica_residuos_solidos.pdf.

BRASIL (2013a). Plano Nacional de Saneamento Básico. Disponível em: http://www2.mma.gov.br/port/conama/processos/AECBF8E2/Plansab_Versao_Consehos_Nacionais_020520131.pdf.

BRASIL (2013b). PLANO SETORIAL DE MITIGAÇÃO E ADAPTAÇÃO À MUDANÇA DO CLIMA PARA A CONSOLIDAÇÃO DE UMA ECONOMIA DE BAIXA EMISSÃO DE CARBONO NA INDÚSTRIA DE TRANSFORMAÇÃO. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/images/arquivo/80076/Industria.pdf>.

BRASIL (2013c). PLANO SETORIAL DE TRANSPORTE E DE MOBILIDADE URBANA PARA MITIGAÇÃO E ADAPTAÇÃO À MUDANÇA DO CLIMA (PSTM). Disponível em: <http://www.mma.gov.br/images/arquivo/80076/Transporte.pdf>.

D'Agosto, M. A., Schmitz, D.N. e Goes, G., V., (2018). Cenários de Emissão de Gases de Efeito Estufa até 2050 no Setor de Transportes: Referência e 1,5°C, in Rovere, E. L.L.; Wills, W.; Dubeux, C. B. S; Pereira Jr, A. O.; D'Agosto, M. A; Walter, M. K. C; Grottera, C.; Castro, G.; Schmitz, D.; Hebeda, O.; Loureiro, S. M.; Oberling, D; Gesteira, C.; Goes, G.V.; Zicarelli, I.F.; e Oliveira, T.J.P (2018). Implicações Econômicas e Sociais dos Cenários de Mitigação de GEE no Brasil até 2050: Projeto IES-Brasil, Cenário 1.5 ° C. COPPE / UFRJ, Rio de Janeiro, 2018.

EPE (2014). 'Plano Nacional de Energia 2050 – Demanda de Energia'. Rio de Janeiro, pp. 1–232. Disponível em: http://www.epe.gov.br/Estudos/Documents/DEA_13-14_Demanda_de_Energia_2050.pdf.

EPE (2017). 'Plano Decenal de Expansão de Energia 2026'. Rio de Janeiro: Empresa de Pesquisa Energética, p. 271.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA (2017). 'RenovaBio'. Disponível em: <http://www.mme.gov.br/web/guest/secretarias/petroleo-gas-natural-e-combustiveis-renovaveis/programas/renovabio/principal>.

MINISTÉRIO DOS TRANSPORTES (2011). 'Plano Nacional de Logística e Transportes (PNLT)'. Disponível em: <http://transportes.gov.br/conteudo/2815-conheca-o-pnlt.html>.

Hebeda, O. (2018). Cenários de Emissão de Gases de Efeito Estufa até 2050 no Setor de Indústria: Referência e 1,5°C, in Rovere, E. L.L.; Wills, W.; Dubeux, C. B. S; Pereira Jr, A. O.; D'Agosto, M. A; Walter, M. K. C; Grottera, C.; Castro, G.; Schmitz, D.; Hebeda, O.; Loureiro, S. M.; Oberling, D; Gesteira, C.; Goes, G.V.; Zicarelli, I.F.; e Oliveira, T.J.P (2018). Implicações Econômicas e Sociais dos Cenários de Mitigação de GEE no Brasil até 2050: Projeto IES-Brasil, Cenário 1.5 ° C. COPPE / UFRJ, Rio de Janeiro, 2018.

Loureiro, S. M. e Oliveira, T. J. P. (2018). Cenários de Emissão de Gases de Efeito Estufa até 2050 no Setor de Resíduos: Referência e 1,5°C, in Rovere, E. L.L.; Wills, W.; Dubeux, C. B. S; Pereira Jr, A. O.; D'Agosto, M. A; Walter, M. K. C; Grottera, C.; Castro, G.; Schmitz, D.; Hebeda, O.; Loureiro, S. M.; Oberling, D; Gesteira, C.; Goes, G.V.; Zicarelli, I.F.; e Oliveira, T.J.P (2018). Implicações Econômicas e Sociais dos Cenários de Mitigação de GEE no Brasil até 2050: Projeto IES-Brasil, Cenário 1.5 ° C. COPPE / UFRJ, Rio de Janeiro, 2018.

Pereira Jr. A. O. e Castro, G. (2018). Cenários de Emissão de Gases de Efeito Estufa até 2050 no Setor de Oferta de Energia: Referência e 1,5°C, in Rovere, E. L.L.; Wills, W.; Dubeux, C. B. S; Pereira Jr, A. O.; D'Agosto, M. A; Walter, M. K. C; Grottera, C.; Castro, G.; Schmitz, D.; Hebeda, O.; Loureiro, S. M.; Oberling, D; Gesteira, C.; Goes, G.V.; Zicarelli, I.F.; e Oliveira, T.J.P (2018). Implicações Econômicas e Sociais dos Cenários de Mitigação de GEE no Brasil até 2050: Projeto IES-Brasil, Cenário 1.5 ° C. COPPE / UFRJ, Rio de Janeiro, 2018.