



**As Emissões de Gases de efeito estufa do Brasil em um Cenário de
Continuidade até 2030**

Centro Clima / COPPE / UFRJ

Setembro de 2022

As Emissões de Gases de efeito estufa do Brasil em um Cenário de Continuidade até 2030

Centro Clima/COPPE/UFRJ

Setembro 2022

Índice

Sumário Executivo.....	3
1) Macroeconomia.....	7
2) Uso da Terra, Mudança do Uso da Terra e Floresta (LULUCF).....	8
2.1.) Hipóteses dos cenários.....	8
2.2.) Resultados dos Cenários.....	12
3) Agricultura.....	14
3.1) Hipóteses.....	15
3.2) Resultados dos Cenários de Agricultura.....	17
4) Transporte.....	18
4.1) Hipóteses.....	19
4.2) Resultados.....	21
5) Indústria.....	23
5.1) Hipóteses.....	23
5.2) Resultados.....	25
6) Oferta de energia.....	28
6.1) Hipóteses.....	28
6.2) Resultados.....	30
7) Resíduos.....	33
7.1) Hipóteses.....	34
7.2) Resultados.....	38
8) Emissões totais nos diferentes cenários.....	40
Referências:.....	41

Sumário Executivo

Em 2021, a iniciativa Clima e Desenvolvimento: Visões para o Brasil 2030 se constituiu e lançou um exercício coletivo de análise da conjuntura e de construção de futuros desejados para a descarbonização e para o desenvolvimento da economia brasileira nesta década. Esse exercício teve como base o diálogo entre atores com diferentes perspectivas técnicas e políticas. A iniciativa envolveu cerca de 300 especialistas e lideranças de empresas, governos subnacionais, investidores, parlamentares, organizações comunitárias e associações privadas em consultas técnicas dirigidas pelo Centro Clima da COPPE/UFRJ e discussões políticas conduzidas pelo Instituto Talanoa (Unterstell e La Rovere, 2021).

Foram analisados os setores de MUT e Agricultura (AFOLU, sigla em inglês), Transporte, Indústria, Oferta de Energia e Resíduos. A modelagem utilizada consiste na integração de um conjunto de seis modelos setoriais vinculados a um modelo de equilíbrio geral da economia (IMACLIM-BR). Os modelos setoriais consistem em quatro modelos de demanda de energia (transporte, indústria, edificações e agropecuária), um modelo de agricultura, silvicultura e outros usos da terra (AFOLU) e um modelo de oferta de energia (MATRIZ). As estimativas de emissões de GEE de Resíduos completam o quadro.

Uma das principais mensagens do seu relatório publicado em 2021 é que sim, é possível simultaneamente descarbonizar e crescer. Mais do que isso, é desejável que o Brasil realize a transição para uma economia de baixo carbono o quanto antes, para qualificar seu desenvolvimento e se tornar mais competitivo na corrida climática global, gerando empregos, reduzindo desigualdades e melhorando a qualidade de vida da população.

No entanto, entre 2012 e 2018 se observou uma estabilização das taxas anuais de desmatamento, cessando a sua queda pronunciada registrada desde 2005. Com uma pequena redução das remoções propiciadas pela restauração vegetal, e pelo aumento das emissões da agricultura, da pecuária e do uso de combustíveis fósseis, o total das emissões nacionais de GEE cresceu cerca de 20% de 2013 a 2018. Esse crescimento se acelerou fortemente a partir de 2019, devido principalmente à retomada de altas taxas de desmatamento anuais na Amazônia e em outros biomas do país. Com efeito, a virtual paralisação das ações de controle do desmatamento ilegal e a sinalização do governo federal de uma tolerância com invasões de unidades de conservação e terras indígenas estimularam a certeza da impunidade e o recrudescimento da grilagem de terras, levando a uma disparada da expansão ilegal de atividades de agricultura, pecuária, madeireiras, garimpos, em particular na Amazônia. Neste bioma, a taxa anual de desmatamento passou de 754 mil hectares em 2018 para 1,3 milhões de hectares em 2021, com uma elevação média de 183 mil ha/ano.

Em 2022, diante dessa tendência, a Iniciativa Clima e Desenvolvimento julgou pertinente elaborar um novo Cenário, para incluir valores mais recentes que permitem estimar como se comportariam as emissões de gases de efeito estufa (GEE) caso as políticas do atual governo federal e a dinâmica das forças motrizes que geram emissões se mantenham ao longo da década. A este cenário finalizado em setembro de 2022 deu-se o nome de Continuidade, que no setor Mudança de Uso da Terra (LULUCF, sigla em inglês) considera duas hipóteses de taxas de

desmatamento e, portanto, divide-se em Continuidade 1 e 2. Nesses cenários, para os biomas Amazônia, Cerrado e Mata Atlântica os valores de área desmatada são os mesmos no período 2022- 2026. No Cenário Continuidade 1, há um aumento linear anual de 2022 a 2026, ou seja a emissão de 2022 corresponde à soma da área desmatada em 2021 mais o aumento médio anual do período 2018-2021 e assim sucessivamente até 2026, último ano com crescimento de emissões. A área desmatada em 2026 fica constante até 2030. Já no Continuidade 2 esse aumento médio anual do período 2018-2021 continua até 2030. Para os demais biomas, os valores atuais são constantes até 2030. Também foi incluída nos cenários de Continuidade a implantação de 8 GW de termelétricas a gás natural a ciclo combinado, decorrente da Lei de Privatização da Eletrobras, com seu aumento no custo e nas emissões da geração elétrica até 2030. Enfim, estes cenários incluem ainda a desaceleração da penetração de biocombustíveis no setor de Transportes, devido à postergação dos prazos de aumento das metas de descarbonização impostos às distribuidoras de combustíveis líquidos para o setor de transportes terrestres.

O cenário de Mitigação Adicional elaborado em 2021 é um dos caminhos possíveis para a neutralidade climática do país em 2050, e também se divide em CMA1 e CMA2 no setor LULUCF. Como o Brasil apresentou na COP 26 e confirmou em sua última atualização da NDC (abril de 2022) seu compromisso de zerar o desmatamento até 2030, o CMA2 testa o efeito de se atingir uma taxa anual de desmatamento zero nos biomas Amazônia e Mata Atlântica em 2030. Estes dois cenários estão mantidos como no estudo original de 2021, validados pelo processo de consulta a especialistas e “stakeholders”.

Para evitar a influência da recessão econômica na redução das emissões de GEE do país, na construção dos quatro cenários assumiu-se que a economia retoma um ciclo de crescimento, a uma taxa média anual de 2,6 % até 2030, com a retomada das políticas sociais permitindo uma pequena melhora na distribuição da renda, a exemplo do registrado no período de 1994 a 2014. No cenário Continuidade, as políticas de mitigação de emissões de GEE já em andamento continuam a ser implantadas, com o nível de desempenho dos últimos anos. Nele, não são adotadas novas políticas climáticas até 2030.

Os Cenários de Mitigação Adicional (CMA1 e CMA2) fornecem uma estratégia para a retomada do desenvolvimento socioeconômico, com transição justa para o alcance da neutralidade climática do país em 2050. Assim, a trajetória de emissões de GEE seguida até 2030 é compatível com o objetivo geral do Acordo de Paris de alcançar emissões líquidas zero em 2050. Eles se baseiam em duas políticas:

- Radical redução do desmatamento e aumento de sumidouros de carbono: no CMA1 e no CMA2, a área anual desmatada em 2023 é 17% superior à de 2019. Após 2023, no CMA 1, entre 2023 e 2025 é simulada uma queda de 10%. Entre 2026 e 2030 há uma redução de 34%. Já no CMA2, os biomas Amazônia e Mata Atlântica atingem desmatamento zero em 2030 e os demais biomas uma redução de 20%, em relação a 2023, rumo ao desmatamento zero em todos os biomas em 2050.
- Precificação do carbono, abrangendo uma parte das emissões de GEE: o uso de energia fóssil e de processos/produtos industriais (IPPU); a precificação se faz de duas formas: um mercado de cotas comercializáveis de emissões para o setor industrial; e uma taxa de carbono sobre as emissões do uso de combustíveis fósseis nos demais setores da economia, crescendo anualmente até atingir 9,5 US\$/tCO_{2e} em 2025 e 19 US\$/tCO_{2e} em 2030.

A precificação de carbono em níveis crescentes é um instrumento importante para sinalizar a todos os agentes econômicos uma política de Estado (e não apenas de um governo), fornecendo estabilidade para a formulação de suas estratégias de descarbonização de longo prazo. Sua adoção permite:

- ✓ Reciclagem de volta para a economia de 100% das receitas da precificação de carbono, garantindo a neutralidade fiscal; sua utilização em parte na redução de encargos trabalhistas, estimulando o emprego, e em parte para transferências de renda para as famílias mais vulneráveis, preservando seu poder de compra, garante um efeito de compensação de efeitos recessivos e de distribuição de renda;
- ✓ Adoção em todos os setores da economia de ações de mitigação de custos compatíveis com o preço de carbono em cada período (medidas mais baratas entram primeiro), fornecendo indicadores econômicos e setoriais de uma rota de descarbonização até 2030.

Esta rota de descarbonização até 2030 atinge as reduções necessárias nesse período, não só para superar amplamente as metas da NDC como também para viabilizar o prosseguimento da redução de emissões de GEE do país numa trajetória que chega a emissões líquidas zero em 2050, desenvolvida em estudo anterior (La Rovere et al, 2021). Os resultados intermediários são de 1,4 GtCO_e em 2025 (-44% em relação a 2005) e de 1,0 GtCO_e em 2030 (-63% em relação a 2005) no CMA1, e de 1,1 GtCO_e em 2025 (-58% em relação a 2005) e de 0,5 GtCO_e em 2030 (-80% em relação a 2005) no CMA2. Para isto, as ações de mitigação utilizadas nos CMA1 e 2 não precisaram superar 19 USD/t CO₂e em 2030, demonstrando o amplo potencial de medidas de baixo custo que constituem uma vantagem competitiva enorme do país na transição para uma economia de baixo carbono. Não foram atribuídos valores para o custo da mitigação obtida pela redução das taxas de desmatamento, a ser obtida por medidas de comando e controle (monitoramento e fiscalização) combinadas com a exigência de condicionantes ambientais à concessão de créditos para agricultores e pecuaristas.

Por outro lado, os resultados do Cenário de Continuidade das políticas públicas adotadas no período de 2019 a 2022 vão na direção contrária, indicando uma retomada do crescimento das emissões de GEE do país até 2030. Isto acarreta o não cumprimento dos compromissos assumidos pelo Brasil no Acordo de Paris, através de sua Contribuição Nacionalmente Determinada (NDC, da sigla em inglês): 37% de redução das emissões totais do país até 2025 e 50% até 2030, com relação ao nível de 2005, de 2,6 GtCO₂e. No Cenário de Continuidade, as emissões de GEE prosseguem na tendência de aumento registrada nos últimos anos, atingindo 2,2 GtCO₂e em 2025, apenas 13% abaixo do nível de 2025 (aquém da meta de redução de 37%). Em 2030, as emissões de GEE atingem 2,4 GtCO₂e no Cenário de Continuidade 1 (apenas 5% abaixo do nível de 2005) e 3,0 GtCO₂e no Cenário de Continuidade 2 (19% acima do nível de 2005).

A Figura 1 abaixo descreve as trajetórias de emissões de GEE do Brasil com as projeções até 2025 e 2030 nos quatro cenários, a partir dos dados históricos disponíveis até 2016 e das estimativas governamentais do nível de emissões de GEE em 2020 (o valor de 1,8 GtCO₂e ainda sujeito a confirmação), mostrando também os limites fixados pela NDC brasileira para 2025 e 2030.

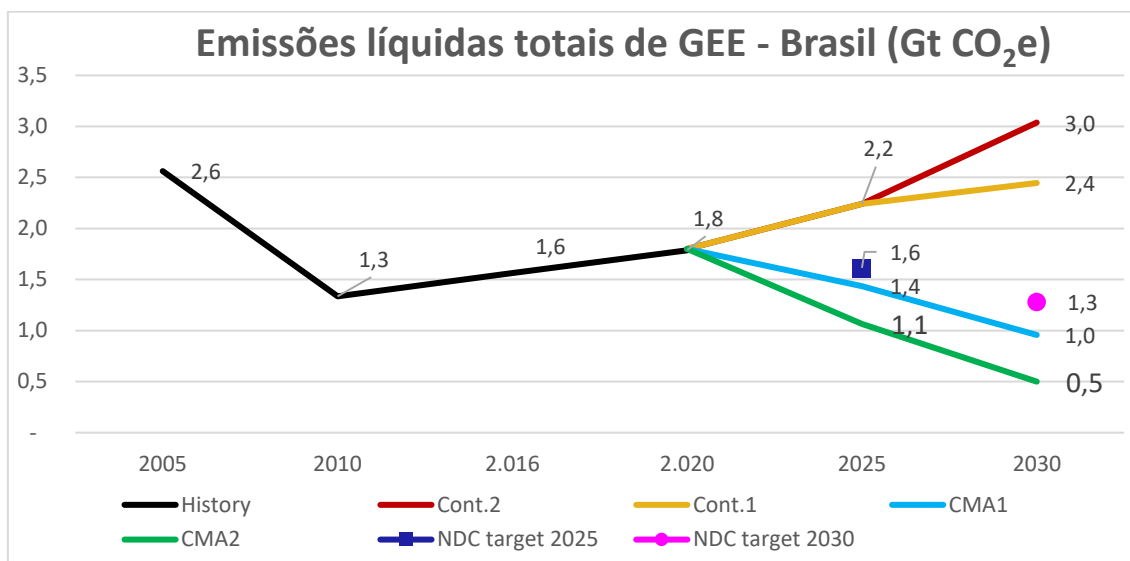


Figura 1 – Emissões totais do Brasil, 2005-2030 e metas da NDC em GtCO₂e (bilhões de t)

Fonte: Até 2016, dados da IV Comunicação Nacional do Brasil; de 2017 a 2020, estimativas governamentais (MCTI, 2022); 2025 e 2030, projeções de cenários (autores).

Em síntese, será necessária uma reversão da tendência crescente das emissões de GEE do país para se poder cumprir as reduções prometidas na NDC brasileira até 2025 e 2030, e colocar a economia no rumo de alcançar emissões líquidas zero em 2050, objetivo último do Acordo de Paris com o qual o Brasil se comprometeu. Para isso é decisivo conter a elevação e reduzir as taxas anuais de desmatamento, principalmente na Amazônia. Além da contribuição que este controle pode vir a dar à redução das emissões de GEE, é preciso ressaltar os outros benefícios ainda maiores que a Amazônia presta à sociedade brasileira, no fornecimento de serviços ambientais como a manutenção do clima na região e o transporte de umidade para outras regiões brasileiras. Esta contribuição é fundamental para a disponibilidade de recursos hídricos e a produtividade agrícola do país, fornecendo um suporte indispensável à qualidade de vida da nossa população.

Na verdade, o desmatamento acumulado é uma ameaça cada vez mais concreta à integridade do próprio bioma amazônico. A comunidade científica vem alertando repetidamente para o perigo de se chegar a um nível entre 20 e 25% de desmatamento do bioma: a partir desse ponto, as mudanças decorrentes no clima na região poderiam deflagrar um processo de sua “savanização”, sem retorno. Estima-se que a área desmatada até hoje já tenha atingido 17% da cobertura original da floresta amazônica (cerca de 550 milhões de hectares, dos quais 60% = 330 Mha no Brasil). Somando-se a área desmatada acumulada de 2022 a 2030 em cada cenário (5 Mha no CMA2, 9 Mha no CMA1, 18 Mha no CONT1 e 20 Mha no CONT2), projeta-se para 2030 uma extensão desmatada de florestas na Amazônia brasileira entre 18,5 e 20% da cobertura original nos cenários CMA2 e CMA1, ainda abaixo do limiar crítico, mas de 22,5 a 23% nos cenários CONT1 e CONT2. Em outras palavras, a continuidade da devastação observada no mandato do atual governo federal colocará em risco a integridade da Floresta Amazônica já em 2030. Além disso, como esta floresta contém cerca de 123 bilhões de toneladas de carbono acima e abaixo da superfície, o efeito realimentador poderá acelerar sobremaneira o aumento do efeito estufa, o aquecimento global e os danos das mudanças climáticas.

Fica patente a importância do próximo presidente ser capaz de concretizar uma reversão do processo de crescimento das emissões de GEE do país, e tomar as medidas para zerar a taxa anual de desmatamento em todos os biomas, com atenção especial à floresta amazônica. Há lições importantes a aprender do período de 2005 a 2012, com o sucesso alcançado em ambas as frentes, sem sacrificar o desenvolvimento econômico e social. Porém, o desafio dos próximos anos é seguramente mais complexo, dada a magnitude das forças que ameaçam a manutenção das florestas do país com a certeza da impunidade de seus crimes. A continuidade desta situação não só terá as sérias consequências negativas sobre o clima e o meio ambiente acima mencionadas, como também manterá o Brasil na situação de pária nas negociações internacionais a que foi relegado pela absoluta falta de credibilidade devida à sua (des)governança ambiental. Além disso, sanções econômicas podem atingir alguns dos principais produtos de nossa pauta de exportações, devido às iminentes regras de taxação a serem adotadas na parcela mais nobre do comércio internacional (mercados da Europa e América do Norte) baseadas na intensidade da pegada de carbono dos produtos. Com efeito, fica mais evidente a cada dia que a questão climática não é apenas uma questão ambiental, mas afeta fortemente nosso desenvolvimento econômico e social.

Apesar da magnitude do desafio, o Brasil não está condenado a repetir os resultados desastrosos da política climática e ambiental registrados de 2019 até hoje. Diversos instrumentos econômicos, combinados com ações de comando e controle, ilustrados nos Cenários de Mitigação Adicional da Iniciativa Clima e Desenvolvimento aqui apresentados, podem colocar o país de volta nos trilhos de um desenvolvimento econômico e social que chegue a emissões líquidas zero de GEE em 2050 e que proteja a integridade ambiental de nossos biomas. Desta forma o país poderá se beneficiar de um fluxo crescente de investimentos internacionais em projetos de baixo carbono, gerando empregos decentes e renda para populações e regiões carentes, auxiliando a reduzir desigualdades sociais e regionais. As experiências do Fundo Amazônia e da geração de créditos de carbono para o mecanismo de Desenvolvimento Limpo do Protocolo de Quioto, tão exitosas no passado, poderão ser retomadas em escala muito ampliada, graças ao interesse internacional em contribuir para a manutenção da floresta amazônica e do novo Mecanismo de Desenvolvimento Sustentável regulamentado no Artigo 6.4 do Acordo de Paris. Isto permitirá ao país recuperar sua boa reputação na arena internacional, cumprir o seu compromisso com o Acordo de Paris de apresentação de uma estratégia de desenvolvimento a longo prazo com baixas emissões (LTS-LEDS, na sigla da Convenção do Clima) e se beneficiar de aportes de recursos da cooperação internacional tão ou mais vultuosos do que os destinados à África do Sul em 2021.

A encruzilhada em que o país se encontra nos próximos anos coloca diante de nós ameaças e oportunidades de magnitude inédita para o destino econômico, social e ambiental do país no século XXI: desempenhar um papel irrelevante no convívio das nações ou de liderança na transição mundial para a sociedade de zero carbono.

1) Macroeconomia

As premissas macroeconômicas, abaixo resumidas, são oriundas de La Rovere et al. (2021):

- Demografia:

- ✓ Projeção da população alinhada com IBGE (2018), com 225 milhões de habitantes em 2030; População em idade ativa atinge pico em 2035
- Petróleo:
 - ✓ Alinhada com cenário da Petrobras (2020); Preço do barril de petróleo parte de 25 US\$/b em 2020 e cresce linearmente até 50 US\$/b em 2025 e permanece constante (US\$ de 2020): Viabiliza o pré-sal.
- Macroeconomia:
 - ✓ Divisas originadas das exportações do pré-sal utilizadas para importação de bens de capital;
 - ✓ Aumento de produtividade da economia brasileira;
 - ✓ Balança comercial equilibrada;
 - ✓ Taxa de câmbio constante em 3,54 R\$/US\$ (2020);
 - ✓ Taxas médias anuais de crescimento do PIB com viés otimista:
 - **2021-2030: 2,6%**
 - 2031-2040: 2,25%
 - 2041-2050: 2%

2) Uso da Terra, Mudança do Uso da Terra e Floresta (LULUCF)

Uso da Terra, Mudança do Uso da Terra e Floresta (LULUCF, sigla em inglês) contempla as emissões de GEE oriundas do desmatamento e de outras conversões de usos do solo, enquanto as remoções advêm de áreas protegidas (Unidades de Conservação e Terras Indígenas), restauração de florestas nativas, expansão de florestas plantadas homogêneas e em integração lavoura-pecuária-floresta, vegetação secundária, sistema de plantio direto e recuperação de pastagem.

Os quatro cenários projetando a emissão líquida de GEE, até 2030, foram simulados considerando as atuais políticas governamentais (planos e compromissos internacionais). O CMA1 e CMA2 incluem também medidas de mitigação adicionais de redução de emissões.

Os **Cenários Continuidade 1 e 2** baseiam-se na premissa de que haverá continuidade na implementação das atuais políticas governamentais do setor.

Os **Cenários de Mitigação Adicional CMA1 e CMA2** são provenientes do estudo “Clima e Desenvolvimento: Visões para o Brasil 2030” (Unterstell e La Rovere, 2021), compatíveis com uma trajetória que leva a emissões líquidas zero, em 2050 (elaborada por La Rovere et al, 2021).

2.1.) Hipóteses dos cenários

- **LULUCF – desmatamento e outras mudanças de uso do solo**

Nos Cenários Continuidade 1 e 2, para os biomas Amazônia, Cerrado e Mata Atlântica os valores de área desmatada são os mesmos no período 2022- 2026. No Cenário Continuidade 1, há um aumento linear anual de 2022 a 2026 ou seja a emissão de 2022 corresponde à soma da área desmatada em 2021 mais o aumento médio do período 2018-2021 e assim sucessivamente até 2026, último ano com crescimento de emissões. A área desmatada em 2026 fica constante até 2030. Já no Continuidade 2 esse aumento médio do período 2018-2021 continua até 2030. Para os demais biomas, os valores atuais são constantes até 2030.

Tanto no CMA1 quanto no CMA2 a área anual desmatada em 2023 é 17% superior à de 2019. Após 2023 o CMA 1 e 2 diferem. No caso do CMA 1, entre 2023 e 2025 é simulada uma queda de 10%. Entre 2026-2030 há uma redução de 34%. Já no CMA2, os biomas Amazônia e Mata Atlântica atingem desmatamento zero em 2030 e os demais biomas uma redução de 20%, em relação a 2023, rumo ao desmatamento zero em todos os biomas em 2050.

As estimativas de área desmatada por biomas, até 2030, são apresentadas nas tabelas 1 a 5.

Tabela 1 – Estimativas de desmatamento para o bioma Amazônia (mil ha)

Área Desmatada Amazônia (Mil ha)	2018	2019	2020	2021	Aumento médio 2018-2021	2025	2030	Total 2022-2030
Continuidade2	754	1013	1085	1304	183 ((2021-2018)/3)	2037	2954	19986
Continuidade1						2037	2403	18153
CMA 1						1129	595	8862
CMA 2						631	0	4932

Fonte: dados INPE (2022)

Tabela 2 - Estimativas de desmatamento para o bioma Cerrado (mil ha)

Área Desmatada Cerrado (Mil ha)	2018	2019	2020	2021	Aumento médio 2018-2021	2025	2030	Total 2022-2030
Continuidade2	725	631	790	850	42 ((2021-2018)/3)	1017	1225	9525
Continuidade1						1017	1058	9108
CMA 1						608	434	5129
CMA 2						642	548	5585

Fonte: dados INPE (2022)

Tabela 3- Estimativas de desmatamento para o bioma Mata Atlântica (mil ha)

Área Desmatada Mata Atlântica (Mil ha)	2018	2019	2020	2021	Aumento médio 2018-2021	2025	2030	Total 2022-2030
Continuidade2	11	14	13	22	3 ((2021-2018)/3)	35	52	348
Continuidade1						35	39	314
CMA 1						15	15	131
CMA 2						6	0	54

Fonte: dados SOS Mata Atlântica (2022)

Tabela 4 - Estimativas de desmatamento para os biomas Caatinga, Pampa e Pantanal (mil ha)

Área Desmatada Demais Biomas (Mil ha)	2018	2019	2020	2021	2025	2030	Total 2022-2030
Continuidade2	281	226	226	226	226	226	1807
Continuidade1					226	226	1807
CMA 1					226	226	1807
CMA 2					212	181	1620

Fonte: Programa de Monitoramento Ambiental dos Biomas Brasileiros e SEEG (2020)

Tabela 5 - Estimativas de desmatamento total para o Brasil - todos os biomas (mil ha)

Área Total Desmatada (Mil ha)	2018	2019	2020	2021	2025	2030
Continuidade 2	1771	1884	2114	2402	3315	4457
Continuidade 1					3315	3726
CMA1					1978	1270
CMA2					1491	729

Fonte: dados INPE (2022), Mata Atlântica (2022), Programa de Monitoramento Ambiental dos Biomas Brasileiros e SEEG (2020).

Ressalte-se que há outras pequenas variações de biomassa oriundas de mudanças de uso solo distintas do desmatamento cujas emissões estão estimadas e inseridas nas emissões totais deste subsetor.

- **LULUCF - remoções**

Neste subsetor estão contabilizadas as remoções de áreas protegidas, restauração de florestas nativas, expansão de florestas homogêneas, recuperação de pastagens degradadas e sistemas de plantio direto. As hipóteses destas três últimas medidas estão apresentadas no item sobre agricultura (Plano ABC+) mas a respectiva mitigação computada no presente item.

Considerando a política ambiental atual, os cenários Continuidade 1 e 2 não preveem a criação ou expansão de áreas protegidas (Unidades de Conservação e Terras Indígenas) permanecendo a área de 2020 constante até 2030. Já no CMA 1 e CMA2 é simulado um aumento de 17 Mha nas áreas protegidas, por meio da incorporação de áreas de florestas públicas não destinadas cadastradas no Serviço Florestal Brasileiro.

Para os Cenários Continuidade 1 e 2 é simulado o aumento de 0,3 Mha de restauração com espécies nativas em áreas públicas e privadas no período 2020-2030, seguindo a tendência dos últimos anos e totalizando uma área de 0,8 Mha restaurados em 2030. Nos CMA 1 e CMA2 o adicional de área restaurada neste mesmo período é de 4,3 Mha, totalizando 4,8 Mha em 2030, premissa adotada considerando o cenário de neutralização de emissões em 2050, cuja meta é restaurar 30 Mha até 2050.

A expansão de áreas de florestas plantadas homogêneas é de 4 Mha no período 2020-2030 e de floresta integrada de 1 Mha nos Cenários Continuidade 1 e 2 (Metas do Plano ABC+). No CMA1 e CMA2 o adicional é de 3,6 Mha calculado com base na demanda de madeira dos setores de

energia e indústria e de 0,8 Mha de florestas em sistemas de integração, totalizando 4,4 Mha no período 2020-2030.

Ressalta-se que as premissas para os cenários Continuidade 1 e 2 de Uso do Solo e Florestas não diferem, assim como as do CMA1 e CMA2.

- **LULUCF – consolidação das hipóteses**

A tabela 6 sintetiza as hipóteses adotadas para simulação dos cenários Continuidade 1 e 2 e de Mitigação Adicional 1 e 2.

Tabela 6 - Hipóteses de LULUCF

Hipóteses LULUCF		
MEDIDA DE MITIGAÇÃO	CONTINUIDADE 1 E CONTINUIDADE 2*	CMA1 e CMA2 **
Redução da taxa anual de desmatamento	<p>Taxa anual de desmatamento CONT 1: Amazônia, Cerrado e Mata Atlântica: com base no aumento médio do período 2018-2021, aumento linear anual de 2021 a 2026 e valor constante de 2026 até 2030 Demais biomas manutenção dos valores dos últimos anos com dados, constantes até 2030.</p> <p>CONT 2 : Amazônia, Cerrado e Mata Atlântica: com base no aumento médio do período 2018-2021, aumento linear anual de 2022 a 2030. Demais biomas: igual ao Continuidade 1.</p>	<p>Taxa anual de desmatamento CMA1: 2021-2023: aumento linear de 17% atingindo 2,20 Mha 2024-2025: queda linear até 1,98 Mha em 2025 2026-2030 = queda linear até 1,30 Mha em 2030</p> <p>CMA2: 2019-2023 igual ao CMA1 2024-2025: queda linear até 1,49 Mha em 2025 2026-2030: queda linear até 0,73 Mha em 2030 Desmatamento Zero na Amazônia e Mata Atlântica em 2030.</p>
Aumento de áreas protegidas	Sem aumento de área no período 2020- 2030. Total 276 Mha	Adicional de 17 Mha restaurados no período 2020-2030. Total 293 Mha
Restauração de Florestas Nativas	Restauração de 0,3 Mha no período 2020- 2030. Total de 0,8 Mha até 2030.	4,5 Mha restaurados entre 2020-2030. Total de 4,8 Mha até 2030.
Expansão de florestas plantadas (homogênea e iLPF)	4 Mha de florestas homogênea e 1 Mha de florestas integrada adicionais em 2030 – ano base 2020	4,4 Mha de florestas homogêneas e integradas adicionais no período 2020-2030. Inclui área para produção de pellets.

* Cenários Continuidade 1 e 2: novas hipóteses de taxa de desmatamento para os para os biomas Amazônia, Cerrado e Mata Atlântica. Demais hipóteses obtidas em Unterstell e La Rovere, 2021 (cenário de Referência). ** CMA 1 e 2: hipóteses obtidas em Unterstell e La Rovere, 2021

2.2.) Resultados dos Cenários

As emissões brutas de LULUCF representadas quase que integralmente pelo desmatamento, atingem 1.968 Mt CO₂e e 2.560 Mt CO₂e nos Cenários Continuidade 1 e Continuidade 2 em 2030, respectivamente. Já no CMA1 a hipótese de retomada de ações de controle do desmatamento após 2023 permitem uma redução da área desmatada resultando numa emissão de 624 Mt CO₂e em 2030, o que corresponde a uma redução de 40% em relação a 2020. Já no CMA2 as emissões do desmatamento totalizam 167 Mt CO₂e em 2030, equivalente à redução de 84% em comparação a 2020. Os biomas Amazônia e Mata Atlântica atingem desmatamento zero em 2030 no CMA2 e os demais biomas uma redução de 17%, em relação a 2020, rumo ao desmatamento zero em todos os biomas em 2050 (Figura 2).

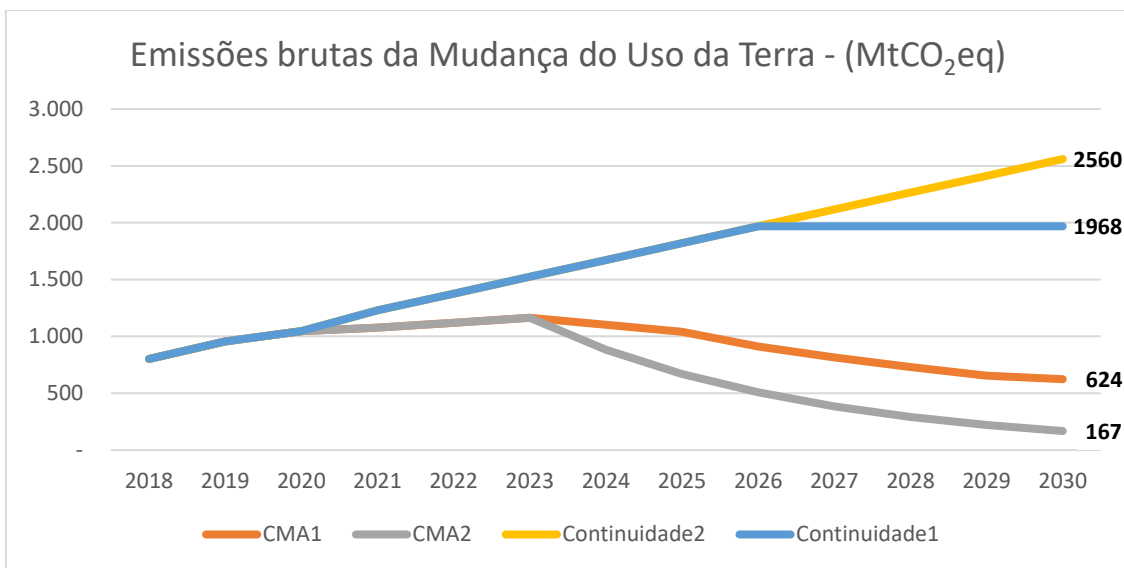


Figura 2 – Emissões brutas da Mudança do Uso da Terra - (MtCO₂e)

Fonte: autores para Cenários CONT 1 e CONT 2 com projeções realizadas a partir do ano de 2021; Unterstell e La Rovere, 2021 para CMA1 e CMA2 com projeções realizadas a partir de 2020.

Os valores de remoções de CO₂ pela vegetação nos Cenários Continuidade 1 e 2 não diferem entre si, assim como nos Cenários CMA1 e CMA2. As áreas protegidas no Cenário Continuidade removem 391MtCO₂e enquanto nos Cenários de Mitigação Adicional a remoção é de 423 MtCO₂eq em 2030 (Tabela 7).

Tabela 7 – Remoções de LULUCF (Mt CO₂e)

Remoções - 2030 (MtCO ₂ e)	CONT1 e CONT2	CMA1 e CMA2
Áreas Protegidas (UC e TI)	391	423
Restauração de Florestas Nativas	15	74
Florestas Plantadas	77	65
Recuperação de Pastagem	110	59
Vegetação Secundária	105	105
Sistema de Plantio direto	23	21
Total	721	747

Fonte: Unterstell e La Rovere, 2021

A simulação da implementação das medidas de remoção de CO₂ previstas no Plano ABC+ (florestas plantadas, restauração de pastagem e sistema de plantio direto) no cenário Continuidade implica numa maior penetração dessas tecnologias até 2030 e, conseqüentemente maiores remoções por esses sumidouros, comparadas aos Cenários CMAs (ver subitem de agricultura). Por outro lado, a restauração de florestas nativas e o aumento das áreas protegidas são medidas chave para que o CMA1 e CMA2 atinjam emissões negativas neste setor em 2030. A tabela 8 apresenta as emissões brutas, remoções e emissões líquidas de LULUCF nos quatro cenário simulados.

Tabela 8 – Emissões e Remoções de LULUCF (Mt CO₂e).

Emissões da Mudança do Uso do Solo (MtCO ₂ e) ¹	2005	2010	2015	2019	2020	2025	2030	Acumulado 2022-2030
Emissões Brutas								
CONT2						1820	2560	17715
CONT1	2258	933	932	957	1047	1820	1968	16236
CMA1						1039	624	8157
CMA2						669	167	5406
Remoções								
CONT2						-695	-721	-6229
CONT1	-678	-675	-562	-603	-608	-695	-721	-6229
CMA1						-683	-747	-6249
CMA2						-683	-747	-6249
Emissões líquidas de LULUCF								
CONT2						1125	1839	11486
CONT1	1580	258	370	354	439	1125	1247	10007
CMA1						356	-123	1908
CMA2						-14	-580	-843

Fonte: autores * Dados de 2005, 2010 e 2015 IV Comunicação Nacional (Brasil, 2021)

Nota: os valores incluem emissões em pequena monta de outras fontes de mudanças de uso do solo.

A figura 3 também apresenta os valores das emissões brutas, remoções e emissões líquidas nos cenários do estudo.

¹ Conteúdo de carbono da vegetação das estimativas futuras obtido a partir da análise de dados de emissões do SEEG, áreas desmatadas do INPE, SOS Mata Atlântica e Proj. Monitoramento dos Biomas.

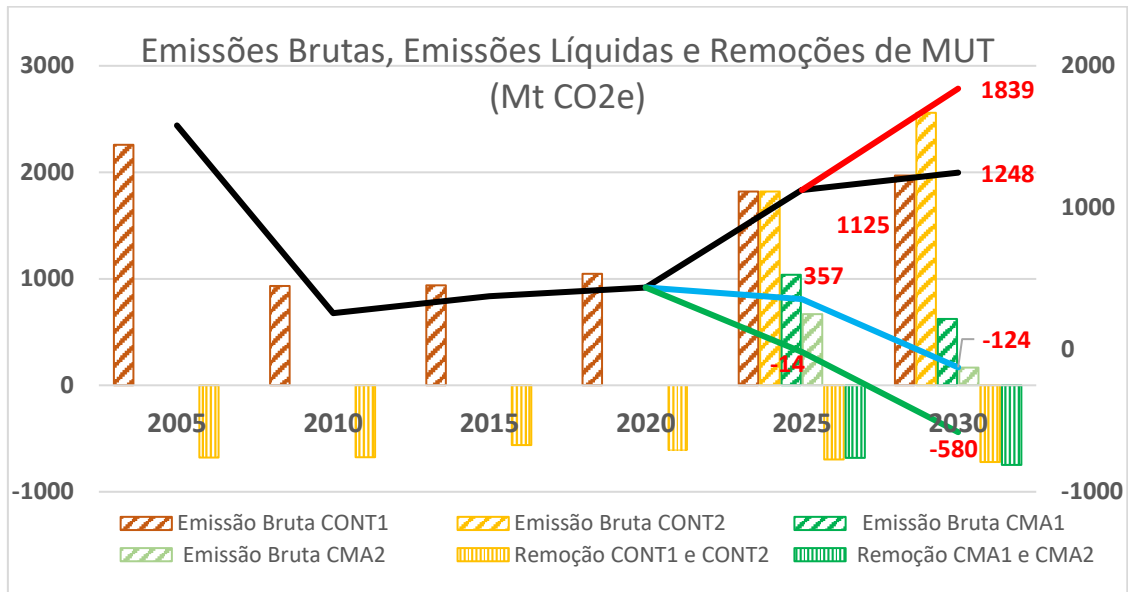


Figura 3 -Emissões de LULUCF

Fonte: autores * Dados de 2005, 2010 e 2015 IV Comunicação Nacional (Brasil, 2021)

3) Agricultura

As emissões do setor de agricultura são estimadas a partir da projeção da produção e da área agrícola, de acordo com a evolução do PIB (modelagem macroeconômica), das demandas dos setores de energia, indústria e transportes por produtos agropecuários e considerando ganhos de produtividade das culturas. A estimativa das emissões de GEE da agricultura incluem as seguintes fontes: solos agrícolas (fertilizantes nitrogenados, resíduos agrícolas, dejetos de animais em pastagens e solos orgânicos), fermentação entérica, queima de resíduos agrícolas, cultivo de arroz, manejo de dejetos, calagem, e emissões do uso de energia na agricultura.

Dois cenários (Continuidade1= Continuidade2; CMA1 = CMA2) projetando a emissão de GEE, até 2030, foram simulados considerando a adoção de medidas de mitigação de emissão de GEE contidas no Plano ABC – Fase 1 (Mapa, 2011), no Plano ABC+ (Mapa, 2021) e na NDC brasileira (Brasil, 2015).

O **cenário Continuidade** baseia-se na premissa de que as atuais políticas governamentais serão mantidas no setor, em especial o Plano ABC+ (Brasil, 2021). O plano ABC+ consiste numa segunda etapa do Plano ABC, com extensão de algumas tecnologias já implementadas e inclusão de outras. O cenário Continuidade simula integralmente o atingimento das metas do ABC+ até 2030 (ano base 2020).

O **Cenário de Mitigação Adicional (CMA)** foi obtido do estudo “Clima e Desenvolvimento: Visões para o Brasil 2030” (Unterstell e La Rovere, 2021). As medidas de mitigação e metas consideradas tiveram como referência o Plano ABC (Brasil, 2011) e a NDC (Brasil, 2015) e as premissas simuladas condizem com uma trajetória de neutralização das emissões em 2050.

3.1) Hipóteses

- Produção agrícola

No cenário de Continuidade a produção agrícola aumenta 24% no período 2020-2030 enquanto a área ocupada com culturas temporárias e perenes cresce 4,4%, atingindo 71,0 Mha em 2030 (85,1) Mha quando incluídas as áreas ocupadas por culturas de 2ª safra).

Essa modesta expansão da área cultivada se justifica pelo aumento nos ganhos de produtividade. A produção de carne bovina cresce 18%, atingindo 13 milhões de toneladas de carcaça equivalente (tec) em 2030. O rebanho bovino atinge 232 milhões de cabeças.

No Cenário de Mitigação Adicional os níveis de atividade e as emissões da agropecuária são considerados os mesmos até 2030. A produção agrícola aumenta 22% no período 2020- 2030 enquanto a área ocupada com culturas temporárias e perenes aumenta 5%, atingindo 71,5 Mha em 2030 (85,3 Mha incluindo áreas ocupadas por culturas de 2ª safra).

Assim como no Continuidade, a produção de carne bovina cresce 18%, atingindo 13 milhões de toneladas de carcaça equivalente em 2030. O rebanho bovino atinge 225 milhões de cabeças com maiores ganhos de produtividade.

- Medidas de mitigação

As emissões da agricultura no cenário Continuidade dependem da maior ou menor penetração das medidas do Plano ABC+, que considera como ano base 2020. Já as emissões nos cenários de Mitigação, dependem das hipóteses traçadas com base nas medidas e metas do Plano ABC, cujo ano base é 2010, e nas metas da NDC (Brasil, 2015).

No Cenário Continuidade, as premissas são de que as metas do Plano ABC+ serão implementadas integralmente até 2030. Embora ainda não tenham sido publicados números oficiais sobre alcance das metas da primeira fase do Plano ABC em 2020, diferentes estudos mostram que a maioria das metas da primeira fase de execução do Plano foram atingidas e algumas bastante superadas, havendo assim a perspectiva de que as metas do Plano ABC+ (2020-2030) também devam ser cumpridas até 2030. As medidas de mitigação consideradas² nos cenários Continuidade 1 e Continuidade 2 são:

- ✓ Ampliação da área de Recuperação de Pastagens Degradadas (*remoções computadas em LULUCF*).
- ✓ Ampliação da área com Sistemas de Integração Lavoura-Pecuária-Florestas (ILPF) (*remoções florestais computadas em LULUCF*).
- ✓ Ampliação da área de Sistema de Plantio Direto (SPD) em grãos (*remoções computadas em LULUCF*).
- ✓ Ampliação a área com Fixação Biológica de Nitrogênio (FBN).
- ✓ Expansão da área de florestas plantadas (*remoções computadas em LULUCF*).
- ✓ Ampliação do volume de resíduos da produção animal manejado.

² As tecnologias Sistema de Plantio Direto em Hortaliças, Sistemas Agroflorestais e Sistemas Irrigados não foram consideradas nos cenários por ainda não dispormos de metodologia adaptada a estas novas medidas. Essas tecnologias correspondem a cerca de 5% da mitigação total prevista pelo plano no período 2020-2030.

As premissas do CMA consideram uma extensão do prazo de atendimento das metas do Plano ABC (de 2020) para 2030 ou 2050 (valores de 2030 simulados rumo a uma trajetória de neutralização de emissões em 2050) e o aumento da ambição para algumas medidas, como por exemplo sistema de plantio direto, fixação biológica de nitrogênio e integração lavoura-pecuária-floresta. Além das medidas consideradas no cenários Continuidade, medidas adicionais como o aumento de produtividade da pecuária bovina e o aumento da área de florestas plantadas para produção de pellets foram consideradas nesse cenário.

A tabela 9 sintetiza as premissas adotadas e valores alcançados em 2030 nos Cenários Continuidade e de Mitigação.

Tabela 9 – Hipóteses dos cenários de agricultura

Medidas de mitigação Consideradas Plano ABC e ABC+	Cenários Continuidade (2021-2030) ³ Plano ABC+	Cenário de Mitigação Adicional (2021-2030) Unterstell e La Rovere, 2021
Práticas para Recuperação de Pastagens Degradadas	Adicional de 30 Mha em relação a 2020	Adicional de 16,1 Mha em relação a 2020
Sistemas de Integração Lavoura-Pecuária e Florestas (ILPF)	1 Mha adicional a 2020 de sistemas integrados com florestas	0,7 Mha adicional a 2020
Sistema Plantio direto em grãos	Adicional de 12,5 Mha em relação a 2020	47,8 Mha
Fixação biológica de nitrogênio	Adicional de 13 Mha em relação a 2020	Adicional de 14,6 Mha em relação a 2020
Tratamento de dejetos/ Manejo de Resíduos da Produção Animal	Tratamento de 208,40 Mm ³ de dejetos no período 2021-2030	Adicional de 2,9 Mm ³ em relação a 2020
Melhoria na Produtividade da pecuária bovina	Terminação Intensiva	Aumento da produtividade do rebanho bovino (melhoramento genético, dietas de engorda, aumento do peso médio de carcaça e redução da idade de abate de 37 para 34 meses em 2030 (com base na literatura).

Fonte: Plano ABC+ e autores

³ Realizou-se uma interpolação linear entre os valores de 2020 e 2030 para se estimar a penetração anual de recuperação de pastagens, ILPF e floresta plantada. SPD e FBN acompanham o crescimento das culturas. Tratamento de dejetos acompanha o crescimento do esterco gerado.

3.2) Resultados dos Cenários de Agricultura

A variação das emissões de GEE da agricultura no período 2020-2030 é pouco expressiva tanto no Cenário Continuidade quanto no de Mitigação Adicional (Tabela 10). No Cenário Continuidade o aumento é de 1% entre 2020-2030 e no CMA cerca de 5%. Este aumento pouco expressivo das emissões pode ser atribuído à simulação da adoção das medidas de mitigação atualmente vigentes no setor (Plano ABC+) na sua integralidade, no Cenário Continuidade, e à medida adicional de mitigação (aumento da produtividade da pecuária bovina) no CMA.

Tabela 10 – Emissões da agricultura

Emissões da Agricultura (Mt CO₂e)	2005	2010	2015	2019	2020	2025	2030
Cultivos							
Cenário Cont.						92	92
CMA	127	143	157	156	164	91	99
Pecuária							
Cenário Cont.						423	436
CMA	393	395	399	392	391	442	453
Agricultura Total							
Cenário Cont.						515	528
CMA	520	539	556	547	555	533	552

Fonte: autores

As medidas do Plano ABC+ respondem por drástica redução das emissões dos cultivos agrícolas e pela estabilização das emissões de todo o setor agrícola de 2020-2030. No cenário Continuidade as emissões são menores em 2030, comparativamente ao CMA, principalmente por conta da maior penetração da tecnologia de Fixação Biológica de Nitrogênio, com a consequente redução das emissões de fertilizantes nitrogenados. Embora no cenário CMA também ocorra expansão de áreas sob FBN, o nível de penetração é inferior ao Continuidade. Além disso, a produção e a área agrícola no CMA são um pouco maiores, propiciando assim maiores emissões que no Cenário Continuidade.

No que se refere à pecuária, a penetração das medidas simuladas no Cenário Continuidade também implica em menores emissões comparadas ao Cenário de Mitigação. O maior volume de resíduos animais a serem tratados no cenário Continuidade no período 2020-2030, promove efetiva redução de emissão desta fonte, conforme proposto no PLANO ABC+ (MAPA 2021), mas as emissões da fermentação entérica acompanham o crescimento do rebanho. No caso do cenário de Mitigação, a penetração do tratamento de resíduos é menor mas o aumento de produtividade da pecuária bovina é maior que no Continuidade, o que implica na diminuição das emissões da fermentação entérica, devido à redução do rebanho bovino (crescimento de 4,5% no período 2020-2030).

2.3 Resultados de AFOLU

A redução do desmatamento é fundamental para que o Brasil reduza emissões de GEE no setor AFOLU e alcance emissões zero em 2050. A tabela 11 apresenta a evolução das emissões totais do setor desagregadas em LULUCF e Agricultura no período 2005-2030.

Nos Cenários Continuidade 1 e 2, as emissões líquidas de AFOLU totalizam, respectivamente, 1.775 e 2.367 Mt CO₂e em 2030. Desse total, cerca de 70% são oriundas do desmatamento no Cenário Continuidade 1 e 77% no Continuidade 2. A simulação da redução do desmatamento e do aumento de sumidouros de carbono florestais propiciaram uma redução de quase 50% nas emissões do cenário CMA1 e emissões negativas no CMA2 em 2030 (Tabela 10).

O sucesso na implementação do Plano ABC+ é importante para que o país consiga aumentar a produção agrícola de forma sustentável, emitindo menos GEE. A retomada da governança ambiental é fundamental para o bom desempenho das medidas de mitigação analisadas. Reduzir o desmatamento e promover reflorestamentos e restauração de florestas nativas em larga escala são as principais medidas para viabilização tanto do CMA1 quanto do CMA2 no setor de AFOLU.

Tabela 11 - Emissões totais de AFOLU (MtCO₂e)

Emissões Totais AFOLU (MtCO₂e)	2005	2010	2015	2019	2020	2025	2030
Emissões Líquidas de LULUCF							
CONT2						1125	1839
CONT1	1580	258	370	354	439	1125	1247
CMA1						356	-124
CMA2						-14	-580
Emissões da Agricultura							
CONT.	520	539	556	547	555	515	528
CMA						533	552
Emissões Líquidas de AFOLU							
CONT2						1640	2367
CONT1	2100	797	925	901	994	1640	1775
CMA1						890	429
CMA2						519	-28

Fonte: autores

*Dados de 2005, 2010 e 2015 IV Comunicação Nacional (Brasil, 2021)

4) Transporte

Para este estudo, foram desenvolvidos dois cenários para o setor de transportes: (i) o Cenário Continuidade; e (ii) o Cenário de Mitigação Adicional (CMA). O primeiro, considera as políticas vigentes e as tendências de medidas de mitigação do setor, com foco na eficiência energética dos veículos leves e ampliação da infraestrutura de alta capacidade para o transporte de carga. No entanto, representa também o impacto esperado da manutenção das tendências de políticas governamentais recentes, sobretudo relacionadas à isenção e redução de impostos nos combustíveis.

O CMA, por sua vez, busca a neutralidade climática do país em 2050. Assim, considera, além das medidas do Cenário de Continuidade, outras ações estratégicas como a integração e qualificação da infraestrutura e dos sistemas de transportes, além da eletrificação e inserção de biocombustíveis avançados em atividades-chave. Destaca-se que o CMA deriva do estudo “Clima e Desenvolvimento: Visões para o Brasil 2030” (Unterstell e La Rovere, 2021).

4.1) Hipóteses

As premissas, resumidas a seguir, são agrupadas em “Energia”, “Tecnologia” “Serviços e demanda” e “Infraestrutura”. Os valores de referência e percentuais de penetração são propostos a partir de revisões documentais e narrativas e de rodadas de modelagem econômico-financeira (Unterstell e La Rovere, 2021; La Rovere et al., 2021). Por fim, os resultados foram apresentados e ratificados por especialistas do setor, por meio de pesquisas semiestruturadas (formulários eletrônicos) e da realização de três workshops.

- **Energia**

O biodiesel de primeira geração permanece relevante, contudo, o Cenário Continuidade não apresenta aumento na mistura regulamentada em relação ao teor praticado em 2022 (10%). Em relação ao CMA, essa participação alcança 20% em 2030 e 40% em 2050. Salienta-se que para atingir a mistura regulamentada do CMA, teores de biodiesel acima de 10% são complementados, preferencialmente, com diesel verde.

Outro biocombustível impactado no Cenário Continuidade é o etanol hidratado. Neste caso, a fatia de mercado do etanol hidratado em relação a gasolina C por motoristas de veículos do tipo *flexible-fuel* é mantida em 34% (média dos últimos cinco anos). No cenário CMA, a fatia de mercado atinge 48% em 2030 e 70% em 2050. Os mercados de biocombustíveis avançados como bioquerosene, bio-óleo e biometano se tornam representativos somente após 2030. Dessa forma, não são inclusos nos resultados apresentados.

As premissas listadas do Cenário Continuidade representam a manutenção de decisões recentes como incentivos tributários aos combustíveis fósseis e a redução e manutenção da mistura regulamentada de biodiesel no teor de 10% (B10), tornando mais atrativo o consumo de combustíveis fósseis e ampliando a atratividade da gasolina C em relação ao etanol hidratado por motoristas de veículos do tipo *flexible-fuel*.

- **Tecnologia**

No Cenário Continuidade, devido à falta de uma política clara para disseminação da mobilidade elétrica, adicionalmente à manutenção da política cambial e a falta de avanços no aprimoramento do programa de financiamento da Caixa Econômica Federal (Renovação de Frota do Transporte Público Coletivo Urbano - Refrota), espera-se uma participação pouco expressiva de ônibus urbanos elétricos à bateria e continuidade na evasão de usuários do transporte público por ônibus.

Os dois cenários consideram a evolução tendencial dos programas de eficiência energética e de certificação, ampliando a integração e articulação. Isso inclui a recém sancionada lei nº 14.440, de 2 de setembro de 2022 que institui o Programa de Aumento da Produtividade da Frota Rodoviária no país (RENOVAR). De forma adicional, o CMA considera o fortalecimento da indústria local de mobilidade elétrica e redes inteligentes, reduzindo parte dos efeitos da

volatilidade cambial e da inflação. Em 2030, espera-se que a mobilidade elétrica abranja uma frota de 172 mil veículos no Cenário Continuidade e 310 mil veículos no CMA. Em todos os cenários é considerada a redução de 40% no preço médio das baterias em 2030, considerando os valores praticados em 2020.

- **Serviços e demanda**

Em todos os cenários, verifica-se o aumento das teleatividades, com a consequente redução da necessidade de realização de viagens. Espera-se também o melhoramento da eficiência operacional dos sistemas de transportes de alta capacidade de passageiros e de carga, influenciando a escolha dos usuários. Apesar disso, o Cenário Continuidade representa a manutenção do ciclo de perda de atratividade do sistema de transporte coletivo de passageiros por ônibus.

Essa tendência é revertida no CMA, com a recuperação gradual dos usuários do sistema, alcançando em 2030 o patamar da demanda anterior à crise de 2014 (último pico de atividade do setor). Esse fenômeno reflete a qualificação e eletrificação de parte da frota de ônibus, integração física, temporal e tarifária, além da expansão das medidas de priorização como faixas prioritárias e corredores exclusivos. Outrossim, há uma maior difusão do transporte ativo e do segmento de compartilhamento de viagens.

- **Infraestrutura**

Em ambos os cenários, consideram-se as obras para a renovação da malha ferroviária sumarizadas no Plano Nacional de Logística (PNL) (EPL, 2021b) e a manutenção do ritmo de investimentos atuais, além dos impactos do Programa BR do Mar, que ampliará a atividade por cabotagem. Essas premissas serão, então, potencializadas no cenário CMA, sendo mais próximo ao cenário otimista do PNL. As hipóteses de cada cenário são apresentadas na Tabela 12.

Tabela 12 – Hipóteses dos cenários do setor de transportes - 2030

Escopo	Transformações	Cenários	
		Continuidade	CMA
Biocombustíveis	Mistura regulamentada (% em volume)	B10	B20 (complementando com HVO)
Mercado	Fatias de mercado de Etanol Hidratado	34%	48%
Mobilidade elétrica (% médio de licenciamentos e da frota circulante em 2030)	BEV+ Híbrido <i>plug-in</i>	Leves (1,3% e 0,3%), transporte público (7% e 2%), caminhões TUC (2% e 0,7%) – 175 mil veículos	Leves (2% e 0,5%), transporte público (33% e 10%), caminhões TUC (15% e 3,7%) – 310 mil veículos
	Híbrido <i>flexible-fuel</i> elétrico não <i>plug-in</i>	Leves (2,1% e 1,2%) – 660 mil veículos	Leves (2% e 1,1%) – 660 mil veículos
Eficiência energética	Programas de certificação	Rota 2030, PBEV, PLVB, Despoluir etc., sendo mais ambicioso no CMA	
Uso de energia - Resultados (% em relação ao	Biocombustíveis	25%	33%
	Eletricidade	0,1%	0,3%

Escopo	Transformações	Cenários	
		Continuidade	CMA
consumo energético do setor)			
Otimização e diversificação dos modos de transportes de carga	Expansão das malhas ferroviária e aquática	Conclusão dos programas em andamento (PAC e PPI)	Conclusão dos programas em andamento + adequação da malha ferroviária + ajustes de contratos de concessão ou de renovação de concessão
Mobilidade urbana	Captação de usuários para modalidades menos intensivas em carbono	Conclusão de obras em andamento do PAC/Avançar (BRT, VLT, metrô e trens) – com atraso histórico no Continuidade e entregues no prazo no CMA	
		Redução progressiva da necessidade de realização de viagens (<i>Home office</i> , IoT etc.) e melhoramento da eficiência do sistema de transportes	
		Manutenção da evasão de usuários do sistema de transporte coletivo de passageiros por ônibus	Recuperação gradual dos usuários, alcançando em 2030 o patamar da demanda pré-recessão
			Qualificação da frota de ônibus e expansão da implantação de faixas exclusivas
			Difusão do transporte ativo e políticas de indução de demanda
			Aumento da política de integração física, temporal e tarifária
Participação efetiva do segmento de compartilhamento de viagens e veículos			

4.2) Resultados

Os resultados dos dois cenários, considerando as emissões de carbono são ilustrados na Figura 4 e sintetizados na Tabela 13. Nenhum cenário apresenta emissões de CO₂e abaixo dos níveis de 2005 (139 MtCO₂e). Todavia, o CMA é o único cujas emissões ao final do horizonte (2030) são inferiores aos níveis de 2020 (11%). No entanto, considerando a trajetória do CMA, espera-se que as emissões em 2050 sejam 18% inferiores ao observado em 2005. Na outra vertente, o Cenário Continuidade representa um nível de emissões, em 2030, cerca de 18% superior aos níveis observados em 2020.

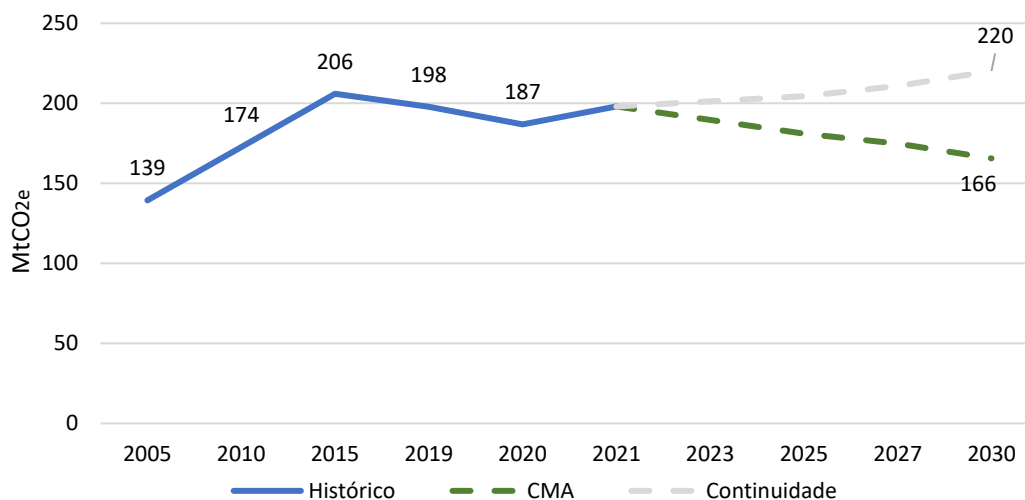


Figura 4. Evolução das emissões de GEE nos cenários Continuidade e CMA

Fonte: autores

Tabela 13 – Emissões nos cenários de transporte (MtCO₂e)

Cenário Continuidade		CMA	
2025	2030	2025	2030
204	220	181	166

Fonte: autores

Em 2030, a participação dos biocombustíveis no uso final de energia do setor de transportes atinge 25% no Cenário Continuidade e 33% no CMA. Ademais, considerando a trajetória do CMA, espera-se que a participação dos biocombustíveis alcance 44% em 2050.

Conforme mencionado no início do capítulo de Transportes, o Cenário Continuidade representa a manutenção de políticas que levam ao congelamento da mistura regulamentada de biodiesel e à perda da competitividade do etanol hidratado (não sendo atrativo na maior parte dos estados). Dentre as medidas, a manutenção da mistura regulamentada de biodiesel em 10% representa o maior impacto, dada a histórica dependência do setor em relação ao diesel, que representa aproximadamente 40% da energia consumida. O diesel é massivamente empregado no transporte público por ônibus, no transporte urbano e regional de carga, em ferrovias de carga e no transporte aquático (transporte de passageiros, navegação interior e embarcações de apoio *offshore*).

Conforme exposto por La Rovere et al. (2021) a qualificação e a eletrificação do transporte público, prevista no CMA, é uma das medidas de mitigação com maior potencial de abatimento do setor de transportes brasileiro. Todavia, esse efeito é significativo apenas após o decênio atual, devido ao escalonamento das mitigações em atividades correlatas. Por exemplo, espera-se uma reversão do processo de evasão de usuários do transporte público por ônibus e a consequente redução do uso do transporte individual motorizado, intensivo em energia e carbono. No Cenário Continuidade, o ciclo de perda de atratividade do transporte público permanece, não revertendo o aumento das emissões atmosféricas.

5) Indústria

Dois cenários são considerados para o setor industrial: Cenário Continuidade e Cenário de Mitigação Adicional (CMA). No Cenário Continuidade não são consideradas medidas específicas ou alterações significativas no consumo de energia e no perfil produtivo da indústria. Nos últimos anos, não houve política climática ou política que tenha implicação climática para o setor industrial, de modo que as mudanças que ocorreram no setor foram fruto de tendências de mercado. Em linhas gerais, as emissões industriais permaneceram constantes nos últimos anos, um perfil relacionado ao nível de produção industrial, que atravessou sucessivas crises ao longo dos anos. Neste sentido, o Cenário de Mitigação Adicional, por sua vez, tem como objetivo atingir emissões negativas líquidas em 2050. Neste, foram apenas consideradas medidas de mitigação já conhecidas e utilizadas pelo setor. Medidas disruptivas, como hidrogênio ou captura, armazenamento e uso de carbono não foram consideradas nas projeções. Isso se deve ao fato de que medidas inovadoras ainda apresentam custos elevados, que podem impactar a produtividade brasileira, tendo em vista as sucessivas crises enfrentadas pela indústria nos últimos anos. Além disso, sabe-se que é possível atingir o objetivo supracitado graças ao enorme potencial de reflorestamento do Brasil.

5.1) Hipóteses

Em linhas gerais, as medidas de mitigação que podem ser aplicadas no setor industrial podem ser reunidas em três grupos principais: eficiência energética, substituição de combustíveis e melhorias em processos. A implementação de medidas de eficiência energética visa, resumidamente, a redução do consumo específico de processos industriais impactando o consumo total de combustíveis fósseis e levando a uma menor emissão de gases de efeito estufa por nível de atividade. Outra forma de reduzir as emissões do setor é a substituição de combustíveis fósseis por outros de menor intensidade de carbono ou renováveis. Como exemplo, podemos citar a substituição do carvão mineral e óleo combustível por gás natural, que apresenta menor intensidade de carbono. Para mitigações mais substanciais, os combustíveis fósseis podem ser substituídos por fontes renováveis como biomassa ou resíduos. Por fim, existe a possibilidade de utilizar novos processos como ferramenta de mitigar as emissões de gases de efeito estufa. Um exemplo é a redução direta na produção de aço, que ao invés da produção tradicional, que utiliza carvão mineral, esta tecnologia reduz o minério de ferro usando Gás Natural ou Hidrogênio como matéria-prima.

O Cenário Continuidade considera medidas de eficiência energética. Entretanto, os ganhos considerados de eficiência não são muito significativos. Na indústria de cimento estimou-se uma redução de 0,6 %; na indústria química uma redução de 1,2%; na indústria de papel e celulose 0,7%; e 0,8% no resto da indústria.

Para o cenário CMA, as medidas de eficiência energética apresentaram ganho médio de 7% entre 2020 e 2030. Para o setor siderúrgico e cimenteiro foi considerado um ganho de eficiência de 5%, levando em consideração medidas já consolidadas como injeção de gás natural ou fornos em múltiplos estágios. Na indústria química estimou-se uma redução de 8% na intensidade energética até 2030. Em relação à substituição de combustíveis, pode-se destacar o setor de cimento, que apresentou um aumento de 15% na utilização de fontes biogênicas. Para a indústria de ferro-gusa e aço, considerou-se um incremento de 10% para 12% na utilização de carvão vegetal. Em linhas gerais, os demais setores industriais tiveram uma redução de 7% na

intensidade energética entre 2020 e 2030. A tabela 14 sintetiza as hipóteses dos cenários referência e continuidade.

Tabela 14 - Hipóteses dos cenários de indústria

Segmento	Medida de Mitigação	Exemplos	Cen. Continuidade (2020-2030)	Cen. CMA (2020-2030)
Cimento	Eficiência energética	Múltiplos estágios; Controle e otimização;	↓0,6 % ktep/Mt	↓5% ktep/Mt
		Melhoria na combustão; Refratário;		
		Aditivos		
	Percentual de comb. alt. biogênico	-	-	+15%
	Redução do % de clínquer no cimento	Substituição por Cinzas e Escória	64% → 64%	64% → 58%
Ferro gusa e aço	% de aço produzido por rota a Carvão Vegetal	-	10% → 10%	10% → 12%
	Eficiência energética	Coke dry Quenching; Recuperação de calor; Injeção de Carvão/GN;	-	↓5% ktep/Mt
Recuperação de gás; Controle e otimização.				
Química	Eficiência energética	Monitoramento e manutenção;	↓1,2% ktep/Mt	↓8% ktep/Mt
		Integração de processos;		
	Recuperação de calor.			
	Melhoria em processos	Controle de processos	-	-
Papel e celulose	Eficiência energética	Substituição dos fornos; Controle avançado	↓0,7% ktep/Mt	↓7% ktep/Mt
HFCs	Substituição por fluido de baixo GWP	R1234yf, R744	-	↓30% MtCO ₂ e

Segmento	Medida de Mitigação	Exemplos	Cen. Continuidade (2020-2030)	Cen. CMA (2020-2030)
Resto da indústria	Eficiência energética	Melhoria na automação de processos; manutenção; recuperação de calor;	↓0,8%ktep/R\$	↓7% ktep/R\$

Fonte: autores

5.2) Resultados

No setor industrial, as emissões podem ser causadas por duas fontes principais: (i) consumo de energia e (ii) uso de processo e produto. A primeira refere-se à emissão de gases de efeito estufa devido à queima de combustíveis. A segunda é mais complexa. Muitos processos industriais têm reações químicas que liberam gases de efeito estufa como coprodutos. A emissão também pode ocorrer pelo vazamento de gases de efeito estufa como produto.

Entre 2005 e 2020, as emissões na indústria sofreram um aumento suave de 3%, tendendo a uma estabilização. Essa estabilização das emissões está mais relacionada a mudanças estruturais do que a ações de mitigação. Além disso, ao longo dos anos houve uma redução da produção industrial, principalmente nos segmentos mais intensivos em carbono, causada pela crise político-econômica nacional em 2014 e, mais recentemente, pela crise COVID-19.

As emissões totais do setor no cenário continuidade apresentam um crescimento de 15% entre 2020 e 2030, totalizando 192 MtCO₂e. O crescimento das emissões é fruto do aumento do nível de atividade que ocorre entre 2020 e 2030. Já considerando as medidas de mitigação adicionais, no cenário CMA há uma redução de 13% nas emissões do setor em 2030, quando comparadas com o cenário continuidade. Entretanto, há um leve aumento das emissões no cenário CMA no período de 2020 a 2030 (3%) puxadas pelo crescimento da atividade do setor. A Tabela 15 e a Figura 5 mostram a evolução das emissões das indústrias brasileiras em ambos os cenários considerados.

Tabela 15 - Emissões dos cenários Continuidade e CMA para a indústria

Indústria	Histórico				Cenário Continuidade		Cenário CMA	
	2005	2010	2015	2020	2025	2030	2025	2030
Cimento e outros	34,9	50,7	52,7	46,6	54,8	60,4	49,8	50,2
Ferro e aço	43,7	45,0	48,8	49,3	49,3	57,7	49,7	51,8
Ferroligas	1,3	1,5	1,0	1,3	1,3	1,3	1,2	1,2
Mineração e pelotização	6,7	7,3	6,6	6,3	4,7	5,1	4,5	4,8
Não ferrosos	10,1	12,9	11,7	11,4	10,6	11,8	10,3	11,0
Química	23,9	17,5	16,8	17,7	18,3	19,7	18,1	19,4
Alimentos e bebidas	5,0	5,5	5,7	5,7	5,8	6,4	5,6	5,9
Têxtil	1,2	1,0	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7
Papel e celulose	4,2	4,2	4,4	4,6	4,6	5,1	4,4	4,7
Outras indústrias	6,3	8,3	8,5	7,9	7,3	8,1	6,7	7,0
HFCs	2,4	7,4	10,1	12,4	14,1	15,9	11,8	10,7
SF6	0,6	0,2	0,2	0,2	0,3	0,3	0,2	0,2
Total	140,2	161,6	167,1	164,0	171,8	192,7	163,0	167,7

Fonte: autores

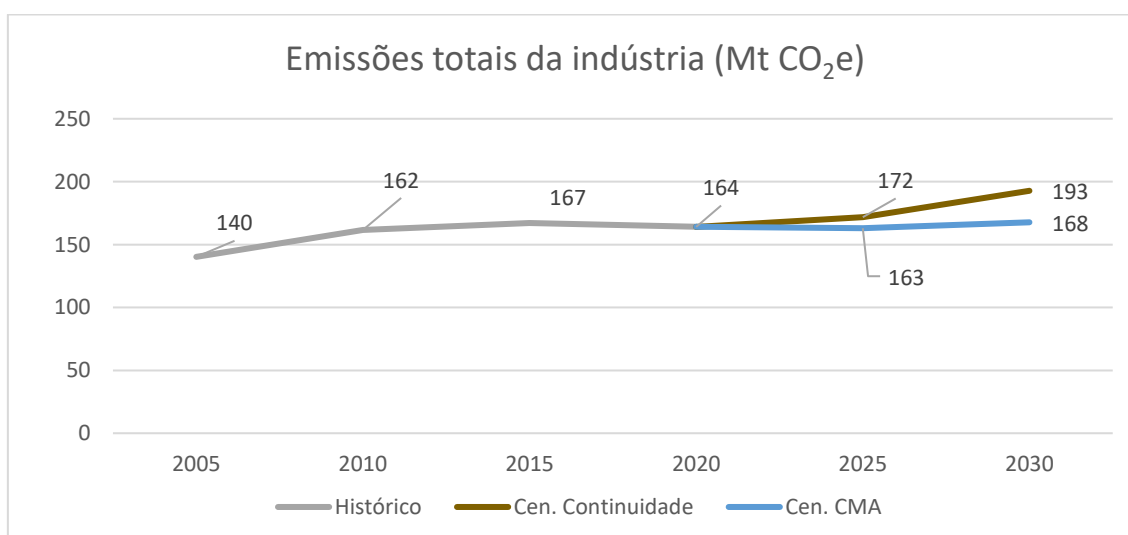


Figura 5 - Emissões totais e das principais indústrias no Cenário Continuidade

Fonte: autores

Dentro do setor industrial, os segmentos que mais contribuem para as emissões do setor são (i) Ferro e Aço, (ii) Cimento e (iii) Química. Juntas, essas três indústrias correspondem a cerca de 70% das emissões do setor, sendo que este perfil permanece durante todo o período analisado.

No cenário continuidade, a indústria de ferro e aço, que no período de 2005-2020 foi responsável pela maior parte das emissões industriais do Brasil, passa a ser a segunda colocada do ranking com 57,7 MtCO_{2e}, devido ao menor aumento da produção neste setor em relação ao aumento da produção de cimento. Dessa forma, a indústria de cimento passa a ser a que mais emite em 2030, com 60,4 MtCO_{2e}. De qualquer forma, entre 2020 e 2030, as emissões de ferro e aço sofrem um aumento de 15%, enquanto a indústria de cimento tem um aumento de 23%. A indústria química alcança aproximadamente 20 MtCO_{2e} em 2030, com um aumento de 10% no mesmo período.

No cenário CMA, o setor de cimento reduz suas emissões em 22% em 2030, devido principalmente à redução da razão de clínquer/cimento, que cai de 64% para 58%, e à substituição de combustíveis fósseis. A indústria siderúrgica reduziu suas emissões em 10% em 2030 quando comparado com o cenário Continuidade. Para a indústria química, o cenário CMA apresenta emissões 8% inferiores ao cenário Continuidade. É importante destacar que, apesar do potencial de mitigação ser superior aos resultados encontrados, é necessário considerar a situação econômica em que se encontra a indústria brasileira além da velocidade para que as mudanças necessárias aconteçam. No horizonte 2050, reduções mais significativas são esperadas. A Figura 6 ilustra os níveis de emissões de cada uma das indústrias em ambos os cenários.

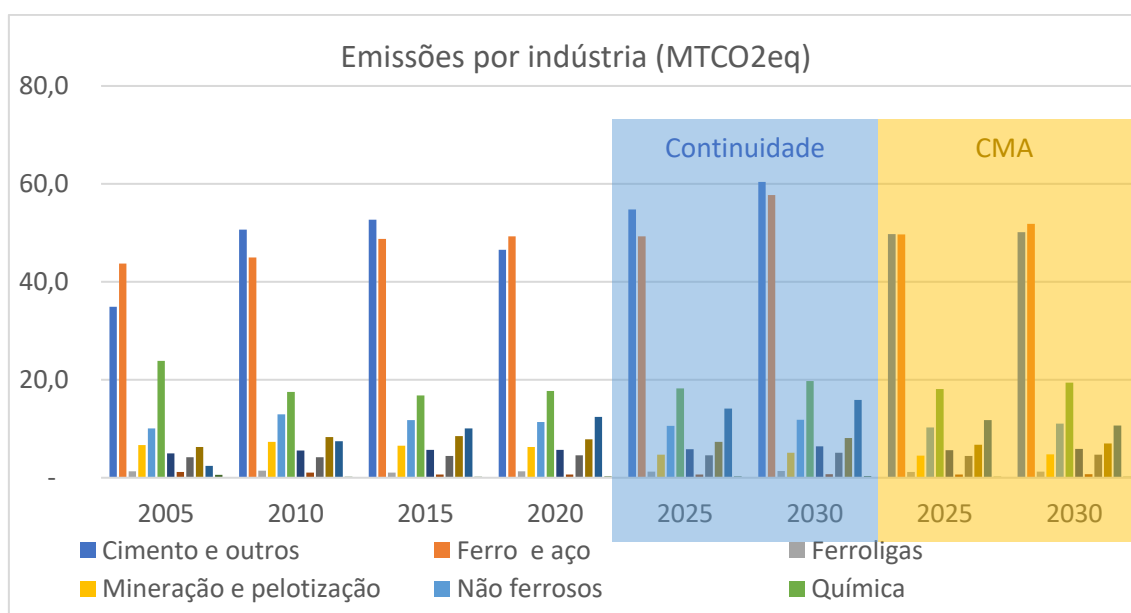


Figura 6: Emissões por indústria nos cenários continuidade e CMA

Fonte: autores

É importante destacar que, apesar do potencial de mitigação ser superior aos resultados encontrados, é necessário considerar a situação econômica em que se encontra a indústria brasileira além da velocidade para que as mudanças necessárias aconteçam. No horizonte 2050, reduções mais significativas são esperadas.

6) Oferta de energia

A produção offshore de petróleo e gás do pré-sal aumenta de forma constante em ambos os cenários. Após a redução acentuada do preço do petróleo devido à crise COVID-19 (de 66 USD / barril em 2019 para 23 USD / barril em 2020), assumiu-se que o preço do petróleo crescerá linearmente para 50 US\$2020/barril em 2025 e permanecerá constante nesse nível até 2050. Com essas premissas, participações crescentes da produção brasileira de petróleo são direcionadas para exportação, uma vez que os custos de produção são mantidos baixos e permanecem competitivos no mercado mundial.

O Cenário Continuidade incorpora as diretrizes de políticas energéticas atuais, que incluem a Lei nº 14.182/2021 (BRASIL, 2021), sobre a privatização da Eletrobrás, e a Lei nº 14.229/2022 (BRASIL, 2022), que garante a contratação até 2040 de energia gerada por termelétricas movidas a carvão mineral, com a continuidade do subsídio à geração a carvão.

O Cenário de Mitigação Adicional (CMA - descarbonização profunda da economia) fornece uma estratégia para a retomada do desenvolvimento econômico e social com transição justa para a neutralidade climática do país em 2050. É uma trajetória de NDC ambiciosa até 2030, compatível com emissões líquidas zero em 2050.

O Cenário de Mitigação Adicional (CMA - descarbonização profunda da economia) fornece uma estratégia para a retomada do desenvolvimento econômico e social com transição justa para a neutralidade climática do país em 2050. É uma trajetória de NDC ambiciosa até 2030, compatível com emissões líquidas zero em 2050.

6.1) Hipóteses

O Cenário Continuidade inclui os 8 GW de geração termelétrica de contratação obrigatória da Lei nº 14.182/2021 (Construção de 8GW de UTE com inflexibilidade mínima de 70%, com contrato de suprimento de pelo menos quinze anos). Além disso, o cenário incorpora também a Lei nº 14.229/2022, que estende a contratação da energia gerada por termelétricas movidas a carvão mineral até 2040, com a continuidade do subsídio à geração a carvão. Também são adotadas premissas do cenário referência do PDE 2031 (MME/EPE, 2022), que inclui políticas energéticas atuais, como expansão de 350 MW/ano de empreendimentos à carvão mineral na região Sul (a partir de 2028, com inflexibilidade de 30%), uma nova planta nuclear de 1.000 MW (região SE/CO) e a extensão da vida útil de Angra 1 (operação até 2044).

No CMA há a precificação de carbono em parte das emissões de GEE e são adotadas medidas de mitigação no setor de E&P e refino. A entrada de novas tecnologias de geração de energia elétrica no Brasil só é considerada no período após 2030, com a penetração da geração eólica offshore.

O cenário mitigação não considera o descomissionamento forçado das fontes fósseis. As termelétricas a óleo diesel, óleo combustível e a gás natural apenas chegam ao final da sua vida útil até 2050 e são substituídas gradualmente por fontes mais baratas e limpas.

A tabela 16 apresenta uma comparação das premissas dos cenários Continuidade e Mitigação.

Tabela 16 - Hipóteses dos cenários de oferta de energia

Escopo	Cenário Continuidade	Cenário de Mitigação
Produção de Petróleo Consumo interno de Gás Natural em 2030	5,3 Mbarris/dia ⁴ 197 Mm ³ /dia	5,3 Mbarris/dia (PDE 2030) 180 Mm ³ /dia
% de GN queimado nas plataformas (parte das Emissões Fugitivas)	2020: 3,2% 2025-2030: 3,0% ⁵ <i>2030-2050: 3,0%</i>	2020: 3,2% 2025-2030: 3,0% ¹ <i>2030-2050: zera em 2050</i>
Emissões do setor de energia e fugitivas (Refino e Exploração)	-	Redução de 32% na intensidade de carbono no segmento de E&P até 2025 em relação a 2015 (mantidos até 2050) ⁶ ; Redução de 16% na intensidade de carbono no refino até 2025, ampliando para 30% até 2030 com relação a 2015 (mantida a redução de 30% até 2050)
Refino – Ampliação da capacidade (em 150 mil barris/dia = 2º trem da RNEST em 2024) e do % de produção de óleo diesel	Produção de derivados de petróleo 122 Mtep em 2030	Produção de derivados de petróleo 122 Mtep em 2030
Nuclear	Angra III entra em operação em 2027	
	4,4 GW em 2030 (Angra I,II e III + nova usina em operação)	3,4 GW em 2030 (Angra I,II e III em operação)
	Nova usina nuclear de 1.000 MW (SE/CO) em 2030	-
	Extensão da vida útil de Angra 1 (operação até 2044)	-
UTE Fóssil	UTE OD e OC: 1,2 GW em 2030 (descomissionamento total em 2045)	
Hipótese	UTE GN: Lei nº 14.182/2021 (Construção de 8GW de UTE com inflexibilidade mínima de 70%, com contrato de suprimento de pelo menos quinze anos)	UTE GN: nenhuma expansão além do contratado nos Leilões de Energia Nova ¹ até 2050 devido a precificação de carbo

⁴ PDE 2030 (MME/EPE, 2021)

⁵ Com base na resolução número 806/2020 da ANP, que estabelece que todos os novos campos de petróleo e gás na fase de produção devem obter autorização para flaring e venting maior que 3% da produção de gás associado(ANP, 2020).

⁶ Proveniente do Relatório de Sustentabilidade da Petrobrás(PETROBRÁS, 2021)

Escopo	Cenário Continuidade	Cenário de Mitigação
	25 GW em 2030	17 GW em 2030
	UTE carvão: Lei nº 14.229/2022, contratação até 2040 Similar ao PDE 2031 Expansão de 350 MW/ano, a partir de 2028, com inflexibilidade de 30%. Expansão de 350 MW/cada 5 anos a partir de 2030 4.2 GW; 14 TWh em 2030	UTE carvão: Não há condições mínimas nos contratos. Há outras opções de geração mais baratas 3.1 GW; 0 TWh em 2030
	Restrições de expansão iguais nos dois cenários ⁷	
Renováveis	Substituição de parte da expansão indicativa de eólicas e solares por termelétricas com geração compulsória movidas a gás natural, carvão mineral e nuclear	Expansão
Novas Tecnologias	-	Eólica Offshore A partir de 2040; em 2050: 3 GW

Fonte: autores

6.2) Resultados

Os cenários de continuidade e mitigação atendem aos critérios de suprimento de energia e potência.

Em síntese, como resultado até 2030, o Cenário de Mitigação (CMA) indica uma expansão da oferta de energia baseada predominantemente em fontes renováveis (em especial, eólica e solar fotovoltaica) com complementação de potência através de usinas termelétricas (sem geração compulsória), incluindo a expansão de usinas hidrelétricas e da nuclear em construção (Angra III). No Cenário Continuidade, há a substituição de parte da expansão indicativa de eólicas e solares por termelétricas com geração compulsória movidas a gás natural, carvão mineral e nuclear.

No cenário CMA, as energias hídrica, eólica e fotovoltaica constituem as principais fontes para expansão da geração de energia elétrica até 2030. No período após 2030 a entrada de solar e eólica se intensifica devido à redução ainda maior dos seus custos e da taxa de carbono que atua nas emissões das termelétricas. No CMA há uma redução da geração com UTE a gás natural e uma flexibilização e redução da geração com UTE a carvão mineral. Em 2030, a capacidade total instalada é praticamente a mesma em ambos os cenários, 199 GW no Continuidade e 197 GW no de Mitigação Adicional. Destes, 112 GW e 113 GW de energia hidrelétrica (UHE +PCH), 23 e 28 GW de eólica *onshore*, e 15 e 17 GW de sistemas fotovoltaicos (distribuídos e centralizados), respectivamente para continuidade e mitigação. A capacidade de geração termelétrica é a

⁷ Atas das reuniões do Comitê de Monitoramento do Setor Elétrico (MME, 2021) - atualizado até maio de 2021

principal diferença nos cenários devido a aplicação das políticas atuais. Em 2030, ela é composta da seguinte maneira: 25 GW no cenário continuidade e 17 GW no de mitigação de UTE a gás natural; 4,4 GW (incluindo uma usina nova de 1 GW no Sudeste além de Angra III) e 3,4 GW (incluindo somente Angra III a partir de 2027) de UTE nuclear; 4,2 GW e 3,2 GW de UTE a carvão, respectivamente. A UTE a biomassa tem capacidade instalada de 15 GW e UTE a derivados do petróleo 1,2 GW em ambos os cenários.

Tabela 17 - Capacidade instalada por fonte (GW)

	Histórico				Cenário Continuidade		Cenário de Mitigação	
	2005	2010	2015	2020	2025	2030	2025	2030
Carvão	1	2	3	3	3	4	3	3
Derivados Petróleo	5	7	9	8	4	1	4	1
Gás Natural	10	11	12	15	17	25	17	17
Nuclear	2	2	2	2	2	4	2	3
Hidrelétrica	71	81	92	109	111	112	111	113
Eólica	0	1	8	17	23	23	23	28
Solar	0	0	0	8	12	15	12	17
Biomassa	3	8	13	15	15	15	15	15
Total	92	112	139	177	187	199	187	197

Fonte: autores

Tabela 18 - Geração de eletricidade por fonte (TWh)

	Histórico				Cenário Continuidade		Cenário de Mitigação	
	2005	2010	2015	2020	2025	2030	2025	2030
Carvão	6	7	19	12	14	14	8	0
Derivados Petróleo	11	14	25	8	0	0	0	0
Gás Natural	19	36	79	53	34	102	34	34
Nuclear	10	15	15	14	14	31	14	25
Hidrelétrica	337	403	360	396	472	472	467	520
Eólica	0	2	22	57	94	94	94	114
Solar	0	0	0	11	22	26	22	29
Biomassa	13	31	47	56	49	50	49	51
Total	396	508	567	607	699	789	688	773

Fonte: autores

A NDC (Contribuição Nacionalmente Determinada de 2015) brasileira apresenta algumas medidas específicas no setor de energia que devem ser implementadas até 2030. Dentre essas

metas está atingir 45% de energias renováveis na matriz energética até 2030, sendo 28% a 33% de fontes renováveis além da energia hídrica e aumentar o uso de fontes de energia não fóssil na matriz elétrica, para pelo menos 23% exceto hidrelétrica (aumento da participação de eólica, biomassa e solar). A NDC também estipula uma medida de 10% de ganhos de eficiência no setor elétrico, mas não especifica exatamente se essa eficiência é no consumo ou na oferta de eletricidade. Apesar das metas da NDC serem atingidas até 2030 seguindo as políticas atuais, como mostrado no cenário continuidade, com aumento do esforço de mitigação no longo prazo esses indicadores podem ser melhorados, como mostrado no cenário mitigação. Então, de acordo com esses três indicadores ainda há espaço para uma NDC mais ambiciosa em 2030, pois mesmo renovando subsídios do carvão e ampliando o parque termelétrico fóssil ainda é possível alcançar as metas específicas atuais para oferta de energia previstas na NDC.

Tabela 19 - Participação das fontes na geração de eletricidade (%)

	Histórico				Cenário Continuidade		Cenário de Mitigação		Meta NDC
	2005	2010	2015	2020	2025	2030	2025	2030	2030
Participação de renováveis na matriz energética (%)	43%	44%	41%	48%	51%	48%	52%	55%	45%
Participação de renováveis, exceto hidro , na matriz energética (%)	31%	32%	31%	37%	38%	36%	39%	41%	28%
Participação de renováveis na geração de energia elétrica (%)	87%	85%	74%	83%	83%	69%	85%	85%	-
Participação de renováveis, exceto hidro , na geração de energia elétrica (%)	3%	7%	12%	20%	27%	23%	28%	28%	23%
Consumo total de eletricidade (TWh)	375	465	523	540	612	693	603	677	

Fonte: autores

As emissões totais da oferta de energia em 2030 são de 126 Mt CO₂e, no cenário Continuidade, e de 70 Mt CO₂e, no CMA. No Continuidade, as emissões relacionadas ao fornecimento de energia no Brasil diminuem até 2025 (devido à redução do uso de centrais térmicas a combustíveis fósseis) e depois crescem muito até 2030. Em 2025, nos dois cenários as emissões provenientes do consumo do setor energético e emissões fugitivas, têm o maior peso nas emissões do setor. No cenário continuidade, em 2030, o setor elétrico é o que mais emite devido à entrada das novas termelétricas a GN com geração compulsória e ao uso das termelétricas a carvão. No CMA, as emissões relacionadas à oferta de energia no Brasil diminuem até 2030 (devido à redução do uso de térmicas fósseis e ausência dos subsídios à geração térmica a carvão mineral, além de medidas de redução da intensidade de carbono no refino e em E&P). Destaca-se que as ações da política atual têm influência nos resultados das emissões futuras do setor de oferta de energia, principalmente no setor elétrico, pois as termelétricas instaladas têm vida útil

de 25 anos em média e, portanto, continuam a emitir GEE após 2030. A tabela a seguir apresenta estimativas das emissões do setor de oferta de energia conforme os cenários.

Tabela 20 – Emissões dos cenários de oferta de energia (Mt CO₂e)

MtCO ₂ e	Histórico				Cenário Continuidade		Cenário CMA	
	2005	2010	2015	2020	2025	2030	2025	2030
Termelétricas	27	37	77	49	25	51	20	14
UTES a carvão	7,4	11,4	17,2	10,5	12,3	12,1	6,9	0
UTES a GN	6,9	6,9	32,4	18,5	12,4	37,6	12,4	12,4
Consumo do setor energético	22	24	30	32	34	41	30	31
Fugitivas	18	18	21	20	28	35	23	26
Carvoarias	1	0,7	0,6	0,3	0,4	0,5	0,5	0,6
Total	68	80	128	102	89	126	74	70

Fonte: autores

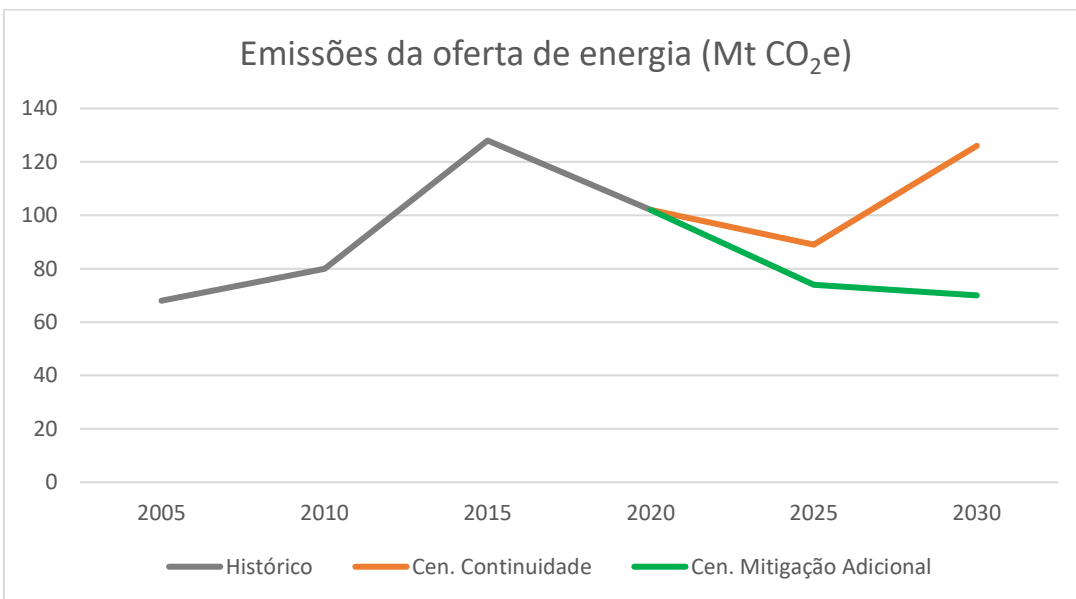


Figura 7 - Emissões dos cenários de oferta de energia (Mt CO₂e)

7) Resíduos

As emissões do setor de resíduos embora apresentem um valor menos expressivo na totalidade das emissões brutas brasileiras, nos últimos anos, apresentam crescimento acentuado. Historicamente, além do crescimento populacional e do aumento da geração de resíduos, há

também um aumento no acesso aos serviços de saneamento, principalmente nos índices da taxa de coleta e na adequação ambiental da disposição final.

O setor de tratamento de resíduos pode, portanto, ser considerado um setor mitigador em si, uma vez que sendo as emissões uma consequência direta do aumento na cobertura de saneamento, a expansão prevista nas políticas nacionais de resíduos sólidos e de saneamento básico, pode ser financiada parcialmente pela venda de certificados de redução dessas emissões no mercado de carbono.

Para tal, esta expansão do saneamento deve contemplar a implantação de projetos de captação de biogás em aterros sanitários e em estações de tratamento de esgotos contribuindo assim para a redução do passivo do setor nos próximos anos, sem impactar no aumento das emissões brasileiras.

7.1) Hipóteses

Os cenários tiveram como pressuposto a evolução da população com base na taxa de crescimento do IBGE (2010; 2019), a geração per capita dos resíduos SNIS (2020) e rotas tecnológicas para tratamento e disposição dos resíduos sólidos urbanos. Esses cenários sugerem investimentos em infraestrutura, escolhas tecnológicas, assim como instrumentos políticos e regulatórios.

O Cenário Continuidade para resíduos sólidos e esgotos adota como premissa a ampliação da cobertura dos serviços de saneamento no ritmo de andamento já em curso.

Embora políticas recentes tenham sido desenhadas para a expansão e desenvolvimento do setor, estas não devem ser capazes de provocar mudanças significativas nos resultados das emissões no horizonte do estudo (2030).

Principal indicador, a destruição de metano em *flares* de aterros sanitários e ETES se mantém relativamente constante e, analogamente, a captura e aproveitamento de biogás.

Para estimar as emissões do Cenário Continuidade, foram consideradas as tendências das diversas formas de tratamento, inicialmente previstas nos objetivos da Política Nacional de Resíduos Sólidos – PNRS (Lei 12.305/2010), mas sem a adoção de medidas adicionais.

No Cenário de Mitigação Adicional (CMA), por sua vez, considerou-se o cumprimento total das metas previstas nos mais recentes Planos Nacionais de Resíduos Sólidos (Planares, 2022) e de Saneamento Básico (Plansab, 2021), o Novo Marco Legal do Saneamento Básico (Lei 14.026/2020) e o Decreto 10.712 de 2021, que regulamenta a nova Lei do Gás (14.134/2021), estimando-se os valores a serem alcançados até 2030 e a ampliação das metas até 2050.

A estrutura do Planares 2022⁸ seguiu as diretrizes indicadas na Lei da PNRS e seu decreto regulamentador, já considerando e se alinhando ao novo marco regulatório do saneamento básico, promulgado em 2020. Contudo, apesar de decretado e publicado em 2022, sua elaboração ocorreu de fato em 2020 e utilizou, na maior parte dos casos, dados do SNIS-RS até

⁸ Por não haver exigência de um comitê interministerial, foi aprovado por decreto, sem a participação de ministérios, com dados do SNIS de 2019, portanto com uma defasagem de dados em relação ao SNIS-RS 2021 (ano de referência 2020) e do diagnóstico temático de resíduos sólidos, publicado em 2022.

2019 e dos Panoramas Abrelpe até 2019. Portanto, não há novas metas em relação à versão de 2019.

Tabela 21 – Hipóteses dos cenários de resíduos sólidos

RESÍDUOS SÓLIDOS		2020	CONTINUIDADE		CMA	
			2025	2030	2025	2030
Geração	Mt/ano	87,5	97,6	108,5	97,6	108,5
Coleta	Mt/ano	80,6	90,1	100,5	93,9	108,0
Não categorizado	Mt/ano	6,9	7,6	7,9	3,7	0,4
Reciclagem (coletado)	Mt/ano	1,9	2,2	2,4	6,4	11,9
	(SNIS)	2,1%	2,2%	2,2%	6,6%	11,0%
Lixão	Mt/ano	13,4	14,4	15,5		
	(Abrelpe)	15,3%	14,8%	14,3%		
Aterro controlado	Mt/ano	18,0	19,5	21,2	4,3	
	(Abrelpe)	20,6%	20,0%	19,5%	4,4%	
Aterro sanitário	Mt/ano	47,1	53,6	61,0	74,6	75,4
	(Abrelpe)	53,8%	54,9%	56,3%	76,4%	69,5%
Compostagem aeróbia	Mt/ano	0,3	0,3	0,4	2,3	5,2
	(SNIS)	0,4%	0,4%	0,4%	2,4%	4,8%
Biodigestão anaeróbia	Mt/ano				1,0	2,2
	%				1,0%	2,0%
Incineration (Waste to Energy)	Mt/ano				3,4	9,3
	%				3,5%	8,6%
Co-processamento	Mt/ano				1,9	4,0
	%				1,9%	3,7%

Fonte: autores

De acordo com as metas previstas no Planares (2020), a eficiência da coleta de resíduos sólidos alcança 100% da cobertura até 2033 e, a partir de 2021, serão introduzidas tecnologias alternativas ao aterramento. Com isso, as hipóteses dos cenários de resíduos sólidos são as seguintes:

- A geração de lixo urbano aumenta de 88 Mt em 2020 para 109 Mt em 2030 e 166 Mt em 2050, logicamente em ambos os cenários;
- O percentual da cobertura de coleta aumenta de 92,1% em 2020 para 92,7% em 2030 e 93,8% em 2050 no Cenário Continuidade e para 99,6% em 2030 e 100% de 2033 até 2050 no cenário CMA;
- A disposição final em aterro sanitário passa de 47 Mt em 2020 para 61 Mt em 2030 e 102 Mt em 2050 no cenário Continuidade; e para 75 Mt em 2030 mas para 48 Mt em 2050 no cenário CMA, correspondendo a 56% e 70% do lixo produzido em 2030 e 61% e 29% em 2050, respectivamente, o que mostra considerável redução no aterramento à medida em que outras formas de tratamento vão sendo utilizadas. Ainda assim, este é o tratamento predominante em ambos os cenários durante todo período de estudo, conseqüentemente a fonte de emissão mais relevante deste setor;
- A destruição de metano nos *flares* de aterros sanitários em 2020 atingiu 12,1% em relação ao total do biogás produzido, permanecendo constante este percentual no cenário Continuidade e subindo até 16,4% em 2030 e 25% em 2050 no cenário CMA. Analogamente,

a captura com aproveitamento do biogás aumenta de constantes 10,6% no cenário Continuidade para 23,7% em 2030 e 50% em 2050 no cenário CMA.

- A reciclagem⁹ mantém-se no patamar de 2% de 2020 até 2050, com pequenas variações de 0,2% no cenário Continuidade; já no cenário CMA alcança o tratamento de 11% do lixo em 2030 e 25% em 2050. A reciclagem em si não promove emissões diretas, porém irá deslocar 23,8 Mt desses resíduos dos aterros de 2020 a 2030 e 81,4 Mt de 2020 a 2050 no cenário Continuidade. No cenário CMA o deslocamento chega a 75 Mt de 2020 a 2030 e a 618 Mt de 2020 a 2050, evitando emissão de metano nos aterros.
- A reciclagem de orgânicos, ou compostagem aeróbia, também permanece constante em 0,4% do lixo de 2020 até 2050 no cenário Continuidade, deslocando mais 3,7 Mt de lixo orgânico dos aterros de 2020 a 2030 e 13,4 Mt de 2020 a 2050; já no cenário CMA cresce até 4,8% em 2030 e 13,9% em 2050, deslocando 28,8 Mt dos aterros de 2020 a 2030 e 303,2 Mt de 2020 a 2050, ampliando ainda mais a emissão evitada do metano.
- Com relação às formas alternativas de tratamento a partir de 2021, somente no cenário CMA, atingirá 2% do tratamento em usinas de biodigestão¹⁰ em 2030 e 6% em 2050;
- Ainda no cenário CMA, são tratados em fornos de co-processamento de cimenteiras¹¹ 3,7% dos resíduos gerados em 2030 e 5,3% em 2050;
- Por fim, são tratados 8,6% dos resíduos gerados em 2030 e 20,6% em 2050, em usinas de incineração tipo “waste to energy”¹², também no cenário CMA;

O cumprimento dessas metas irá reduzir o volume de resíduos sólidos nos aterros do patamar de 90% no cenário Continuidade entre 2030 e 2050 para 70% em 2030 e 30% em 2050 no cenário CMA, zerando lixões até 2025 e zerando aterros controlados até 2030.

Com relação ao tratamento de efluentes líquidos, as premissas são de que o cenário Continuidade segue a tendência e também permanecem as mesmas até 2030. Para o cenário CMA, tendo em vista a meta da cobertura de coleta de esgotos do Plansab (2019), de 90% até 2033, estima-se que em 2030 o saneamento básico atingirá 82% de toda população.

⁹ Somente resíduos de papel, papelão, celulose e madeira podem provocar emissões evitadas pela reciclagem, devido ao teor de carbono deslocado dessa massa de lixo dos aterros.

^{10 4 5} Este tratamento não ocorre no Cenário Continuidade.

Tabela 22 – Hipóteses dos cenários de efluentes líquidos

EFLUENTES LÍQUIDOS		2020	CONTINUIDADE		CMA		
			2025	2030	2025	2030	
Geração de esgoto		Mton.BOD 4,1	4,2	4,3	4,2	4,3	
Esgoto coletado e tratado		Mton.BOD 1,7	1,9	2,0	2,9	3,5	
		(%) 42%	44%	46%	69%	82%	
Estações de Tratamento de Esgotos (ETE)	Processos não emissores	Mton.BOD 0,05	0,05	0,04	0,07	0,08	
		(%) 1%	1%	1%	2%	2%	
	Lodos ativados	Mton.BOD 0,6	0,7	0,7	0,8	1,0	
		(%) 16%	17%	18%	19%	23%	
	Lagoas facultativas	Mton.BOD 0,1	0,1	0,1	0,2	0,2	
		(%) 3%	3%	3%	4%	5%	
	Outros não categorizados	Mton.BOD 0,10	0,10	0,10	0,1	0,1	
		(%) 2%	2%	2%	3%	4%	
	Tratamento anaeróbio	Mton.BOD 0,8	0,9	0,9	1,0	1,2	
		(%) 20%	21%	22%	24%	29%	
	Captura e queima de CH4 em flares		(%) 33%	33%	33%	35%	38%
	Fossas sépticas		Mton.BOD 0,6	0,7	0,8	0,7	0,9
			(%) 14%	16%	18%	17%	20%
	Fossas rudimentares		Mton.BOD 0,3	0,2	0,1	0,2	0,1
(%) 8%			6%	3%	6%	3%	
Despejo direto em corpos d'água		Mton.BOD 1,4	1,4	1,4	1,0	0,6	
		(%) 35%	34%	33%	25%	15%	

Fonte: autores

As hipóteses dos cenários de tratamento de esgotos mostradas na Tabela 22 são descritas a seguir:

- a coleta para tratamento em Estações de Tratamento de Efluentes (ETE) terá um pequeno aumento de 42% em 2020 para 46% em 2030 no cenário Continuidade, mas no cenário CMA praticamente dobrando para 82% até 2030 e chegando a 96% em 2050;
- analogamente, amplia-se o tratamento aeróbio por lodos ativados de 16% em 2020 para 18% em 2030 no cenário Continuidade e para 23% no cenário CMA, chegando em 2050 a tratar 28% do esgoto gerado;
- o tratamento anaeróbio em ETE passa de 20% do volume total em 2020 para 22% no cenário Continuidade em 2030, mas para 29% no cenário CMA em 2030, alcançando em 2050 um volume de tratamento de 35%;

- a queima do metano produzido em tratamentos anaeróbios é mantida em 33%, permanecendo constante em termos percentuais no cenário Continuidade, (considerando a eficiência queima de metano em *flares* de 55%);
- no cenário CMA, a queima de metano de tratamentos anaeróbios aumenta de 33% em 2020 para 38% até 2030 e chegando a 43% em 2050 (considerando a mesma eficiência de *flares* de 55%);
- O tratamento em fossas tem ligeiro aumento, passando de 21% em 2020 para 23% até 2030 e 25% em 2050 no cenário CMA, permanecendo constante no cenário Continuidade.

A consequência direta desta ampliação nos serviços de saneamento é a significativa redução, pela metade, do tratamento em fossas rudimentares, de 8% para 3%, em ambos os cenários.

Analogamente a redução do lançamento de esgotos *in natura* em corpos hídricos, ainda que tímida no cenário Continuidade, é muito significativa no cenário CMA, passando de 35% em 2020 para 15% em 2030, contra apenas 33% no cenário Continuidade. Analogamente o lançamento de esgotos *in natura* em corpos hídricos, ainda que tímida no cenário Continuidade, de 35% para apenas 33%, é bem mais significativa no cenário CMA, passando de 35% em 2020 para 15% em 2030.) Ainda no cenário CMA, em 2040 zera o tratamento em fossas rudimentares e em 2050 o despejo em corpos d'água alcançaria o menor patamar histórico, apenas 4% dos efluentes gerados.

7.2) Resultados

A partir das hipóteses descritas acima, a Tabela 23 apresenta os resultados das emissões estimadas para o setor de resíduos. Em 2025 é possível obter-se uma redução de 8 MtCO₂e no CMA em relação ao cenário Continuidade, alcançando 102 Mt CO₂e contra 110 Mt CO₂e, respectivamente.

Em 2030 as emissões no cenário Continuidade alcançam o patamar de 120 Mt CO₂e contra 101 Mt CO₂e no cenário CMA, uma redução de 20 Mt CO₂e, equivalente a 2,5 vezes a redução de 2025.

As emissões de 2025 e 2030 no cenário CMA representam um incremento de 20% e 32%, respectivamente, em relação às emissões de 2020, de 91 Mt CO₂ eq.

Tabela 23 – Emissões totais do setor de resíduos

EMISSÕES RESÍDUOS (Mt CO ₂ e)	2005	2010	2015	2020	2025		2030	
					Cont.	CMA	Cont.	CMA
Aterramento (RSU, RSI)	37,4	41,2	49,0	56,5	71,3	63,8	80,8	57,6
Incineração (RSS, RSI, WTE)	2,0	2,0	2,2	1,1	0,2	2,3	0,3	5,9
Biológico (compostagem, biodigestão)	0,1	0,0	0,1	0,1	0,1	0,5	0,1	1,0
Subtotal Sólidos	39,4	43,2	51,3	57,7	71,5	66,5	81,1	64,6
Esgoto doméstico	24,1	26,1	27,1	28,0	30,6	28,1	30,6	28,5
Efluente industrial	3,8	4,6	5,6	5,8	8,2	7,5	9,1	8,5
Subtotal Efluentes	27,8	30,7	32,6	33,8	38,7	35,6	39,8	37,1
TOTAL RESÍDUOS	67,3	74,0	83,9	91,4	110,3	102,2	120,9	101,6

Fonte: autores

Os tratamentos térmicos (incineração e usinas WTE) e biológicos (biodigestão e compostagem) deslocam 22% do volume de resíduos dos aterros em 2030 e emitem bem menos por tonelada de resíduo tratado, 0,64 e 0,14 tCO₂e/tRSU, respectivamente, contra 1,03 tCO₂e/tRSU dos aterros sanitários.

A Figura 8 ilustra a evolução das emissões em ambos os cenários, Continuidade e CMA. O tratamento dos resíduos sólidos representa em torno de 65% das emissões do cenário CMA e esgotos 35%, tanto em 2025 como em 2030. A redução relativa das emissões totais do setor em 2025 será de 7% e em 2030 de 16%, na comparação entre cenários.

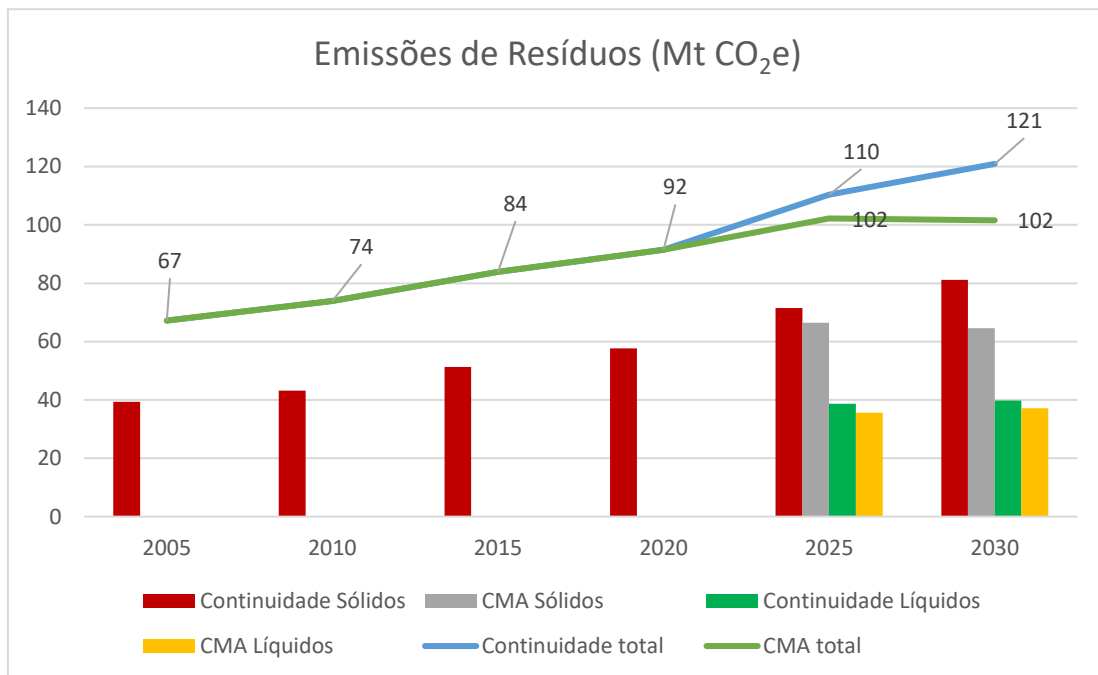


Figura 8 – Emissões totais resíduos sólidos e efluentes líquidos
Fonte: autores

A expansão substancial dos serviços de saneamento, prevista nos planos de resíduos sólidos e de saneamento básico, visando suprir o atual déficit de infraestrutura neste setor poderá provocar um considerável aumento das emissões caso tecnologias de captura para queima ou aproveitamento de biogás não sejam introduzidas em larga escala.

Por este lado, soma-se às reduções das emissões diretas um enorme potencial de emissões evitadas acumuladas neste período, seja por deslocamento de massa de lixo dos aterros sanitários, seja por deslocamento de gás natural do setor de energia, seja pela diminuição da demanda por oferta de energia em termoelétricas ou ainda por redução de emissões diretas em setores da indústria e do transporte, por uso de resíduos em fornos de co-processamento de cimenteiras e de biometano em frotas a gás.

8) Emissões totais nos diferentes cenários

A NDC do Brasil, em sua última versão (submetida à Convenção do Clima em 07/04/2022), se comprometeu a reduzir em 37% as suas emissões em 2025 e 50% em 2030, comparativamente aos valores de 2005. Considerando os valores do IV Inventário Brasileiro (MCTI, 2022) que totalizaram 2562 Mt CO₂e em 2005, para o cumprimento das metas, o país deve emitir no máximo 1614 Mt CO₂e em 2025 e 1281 em 2030.

Este exercício de cenários mostra que ao ritmo atual do crescimento das emissões, como nos cenários Continuidade 1 e Continuidade 2, tanto a meta de 2025 quanto a de 2030 não serão alcançadas. Ao contrário, as emissões serão reduzidas em 12% em ambos os cenários em 2025 e em 5% em 2030 no cenário Continuidade 1. Já no cenário Continuidade 2, haveria um aumento de emissões de 19% em 2030.

Para o alcance das metas compromissadas, a redução das taxas de desmatamento é primordial como só é possível nos cenários de Mitigação Adicional (CMA1 e CMA2).

A tabela 24 detalha os resultados finais apresentados na Figura 1 (ver Sumário Executivo), apresentando as emissões totais e por setores em cada cenário.

Tabela 24 – Consolidação das emissões dos Cenários (MtCO₂e)

Mt CO ₂ e	2005	2010	2015	2025	2030	2005-2025	2005-2030
LULUCF (emissões brutas)							
Cont.2				1.820	2.560	-19%	13%
Cont.1	2.258	933	932	1.820	1.968	-19%	-13%
CMA1				1.039	624	-54%	-72%
CMA2				669	167	-70%	-93%
Remoções (MUT, florestas, áreas protegidas, outras)							
Cont.	- 678	- 675	- 562	- 695	- 721	3%	6%
CMA				- 683	- 747	1%	10%
Agricultura (culturas + energia)							
Cont.				92	92	-28%	-28%
CMA	127	143	157	91	99	-29%	-22%
Pecuária (fermentação entérica + dejetos animais)							
Cont.				423	436	8%	11%
CMA	393	395	399	442	453	13%	15%
Transporte							
Cont.				204	220	46%	58%
CMA	139	174	206	181	166	30%	19%
Indústria							
Cont.				172	193	22%	37%
CMA	141	162	167	163	168	16%	19%
Oferta de Energia e outros consumos de energia*							
Cont.				115	148	0%	29%
CMA	115	128	182	100	93	-13%	-19%
Resíduos							
Cont.				110	110	64%	64%
CMA	67	74	84	102	102	52%	52%
Total							
Cont.2				2.241	3.038	-13%	19%
Cont.1	2.562	1.336	1.564	2.241	2.446	-13%	-5%
CMA1				1.435	957	-44%	-63%
CMA2				1.065	500	-58%	-80%

* inclui emissões dos setores residencial, comercial, público e agrícola

Fonte: 2005, 2010 e 2015 IV inventário brasileiro; demais anos, autores

Referências

Agroicone (2020). Plano ABC: Referencias Evidências do período 2010-2020 e propostas para uma nova fase 2021-2030. Disponível em: <https://www.agroicone.com.br/wp-content/uploads/2020/10/Agroicone-Estudo-Plano-ABC-2020.pdf>

Agroicone (2022). MUDANÇA DO CLIMA DEMANDARÁ ADAPTAÇÃO E RESILIÊNCIA DA AGROPECUÁRIA. Disponível em: <https://www.agroicone.com.br/mudanca-do-clima-demandara-adaptacao-e-resiliencia-da-agropecuaria/>

Albuquerque, I. et al. (2020) Análise Das Emissões Brasileiras De Gases De Efeito Estufa E Suas Implicações Para As Metas De Clima Do Brasil 1970-2019, SEEG - Sistema de Estimativa de Emissões de Gases de Efeito Estufa. Available at: https://seeg-br.s3.amazonaws.com/Documentos Analiticos/SEEG_8/SEEG8_DOC_ANALITICO_SINTESE_1990-2019.pdf

ANP. "RESOLUÇÃO ANP Nº 806, DE 17 DE JANEIRO DE 2020". Disponível em: <https://atosoficiais.com.br/anp/resolucao-n-806-2020-regulamenta-os-procedimentos-para-controle-de-queima-e-perda-de-petroleo-e-de-gas-natural#:~:text=As operadoras terão cento e,1º de novembro de 2000.>

Brasil (2015) iNDC - Intended Nationally Determined Contribution. <https://www4.unfccc.int/sites/submissions/indc/Submission%20Pages/submissions.aspx>

Brasil (2020) Quarta Comunicação Nacional do Brasil à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima. Brasília. Disponível em: <https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/sirene>

Brasil (2022) - NDC - Nationally Determined Contribution. <https://www4.unfccc.int/sites/submissions/indc/Submission%20Pages/submissions.aspx>

BRASIL, 2010. Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010, que institui a “Política Nacional de Resíduos Sólidos”; altera a Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e toma outras providências. Diário Oficial da União, Poder Executivo, Brasília, DF, 3 de agosto de 2010.

BRASIL, 2020. Lei Nº 14.026, de 15 de julho de 2020, Atualiza o marco legal do saneamento básico e altera a Lei nº 9.984, de 17 de julho de 2000, ..., a Lei nº 10.768, de 19 de novembro de 2003, ..., a Lei nº 11.107, de 6 de abril de 2005, ..., a Lei nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007, ..., a Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010, ..., a Lei nº 13.089, de 12 de janeiro de 2015 (Estatuto da MetrÓpole), ..., e a Lei nº 13.529, de 4 de dezembro de 2017, Diário Oficial da União, Poder Executivo, Brasília, DF, 16 de julho de 2020.

BRASIL. "LEI Nº 14.182, DE 12 DE JULHO DE 2021- Dispõe sobre a desestatização da empresa Centrais Elétricas Brasileiras S.A. (Eletrobras)", 2021.

BRASIL. "LEI Nº 14.299, DE 5 DE JANEIRO DE 2022". , 2022. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2022/lei/l14299.htm.

EPE. **BEN - Séries Históricas e Matrizes.** 2022. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/BEN-Series-Historicas-Completas>. Acesso em: 29 ago. 2022.

INPE (2022). Monitoramento do Desmatamento da Floresta Amazônica Brasileira por Satélite - Prodes INPE. Disponível em: <http://www.obt.inpe.br/OBT/assuntos/programas/amazonia/prodes>

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Pesquisa Nacional de Saneamento Básico 2017: abastecimento de água e esgotamento sanitário/IBGE, Coordenação de População e Indicadores Sociais. - Rio de Janeiro: IBGE, 2020. 124 p.: il. Inclui bibliografia e glossário. ISBN 978-65-87201-11-5

IPCC, 2019. 2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Calvo Buendia, E., Tanabe, K., Kranjc, A., Baasansuren, J., Fukuda, M., Ngarize, S., Osako, A., Pyrozhenko, Y., Shermanau, P. and Federici, S. (eds). Published: IPCC, Switzerland.

LA ROVERE E., DUBEUX C., WILLS W., WALTER, K. C., NASPOLINI, G. HEBEDA O., GONÇALVES D. N. S., GOES, G. V., D'AGOSTO M. A., NOGUEIRA E. C., CUNHA H. F., GESTEIRA C., TREUT G., CAVALCANTI G., BERMANZON M. Policy lessons on deep decarbonization in large emerging economies - Brazil, Institute for Sustainable Development and International Relations – IDDRI & Centro Clima/COPPE/UFRJ, November 2021. Disponível em:

<<https://www.iddri.org/en/publications-and-events/report/policy-lessons-deep-decarbonization-large-emerging-economies>>

MANZATO et al., 2020. Mitigação das emissões de Gases de Efeitos Estufa pela adoção das tecnologias do Plano ABC: estimativas parciais. Embrapa Meio Ambiente. Documento 122. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/215371/1/Manzatto-emissoes-gases-2020.pdf>

Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento - MAPA (2012). 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) / Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, Ministério do Desenvolvimento Agrário, coordenação da Casa Civil da Presidência da República. Brasília: MAPA/ACS, 2012. 173 p.

MAPA (2021). Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Plano Setorial para Adaptação à Mudança do Clima e Baixa Emissão de Carbono na Agropecuária 2020-2030 : Plano Operacional / Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Inovação, Desenvolvimento Rural e Irrigação. – Brasília: Mapa/DEPROS, 2021.136 p.

MCTI (2022). Estimativas Anuais de Emissões de Gases de Efeito Estufa. 6ª. Edição.2022

Ministério do Desenvolvimento Regional. Sistema Nacional de Informação Sanitária - Diagnósticos SNIS 2021. Brasília, DF: MDR, 2022. Departamento Nacional de Saneamento. Modo de Acesso: www.snis.gov.br (online).

Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação. Secretaria de Pesquisa e Formação Científica. Quarta Comunicação Nacional do Brasil à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança

do Clima / Secretaria de Pesquisa e Capacitação Científica. - Brasília: MCTI, 2021. 620 p.: il. ISBN: 978-65-87432-18-2.

Ministério do Meio Ambiente. Departamento de Qualidade Ambiental. Plano Nacional de Resíduos Sólidos - PLANARES [recurso eletrônico] / coordenação de André Luiz Felisberto França.[et. ai.]. - Brasília DF: MMA, 2022. 209 p. : il. ; cor. Modo de acesso: World Wide Web ISBN 978-65-88265-15-4 (online).

Ministério do Desenvolvimento Regional. Secretaria Nacional de Saneamento. Plano Nacional de Saneamento Básico – PLANSAB. Relatório de Avaliação Anual. Brasília DF: MDR, 2021. Abr. 141 pp.

MME. CMSE Atas- Anexo 2_Datas de Tendência Usinas - 247ª Reunião do CMSE (05-05-2021). 2021. Disponível em: <https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/conselhos-e-comites/cmse/atas>.

MME. CMSE Atas- Anexo 2_Datas de Tendência Usinas - 247ª Reunião do CMSE (05-05-2021). 2021. Disponível em: <https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/conselhos-e-comites/cmse/atas>.

MME/EPE. Plano Decenal de Expansão de Energia 2030. . Brasília, Brasil, [s.n.], 2021. Disponível em: https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-490/PDE_2030_RevisaoPosCP_rv2.pdf.

MME/EPE. Plano Decenal de Expansão de Energia 2031. . Brasília, Brasil, [s.n.], 2022. Disponível em: https://storage.epbr.com.br/2022/04/PDE_2031_RevisaoPosCP_rv2.pdf.

MME/EPE. Plano Decenal de Expansão de Energia 2031. . Brasília, Brasil, [s.n.], 2022. Disponível em: https://storage.epbr.com.br/2022/04/PDE_2031_RevisaoPosCP_rv2.pdf.

PETROBRÁS. Relatório de Sustentabilidade 2021. [S.l: s.n.], 2021. Disponível em: <https://api.mziq.com/mzfilemanager/v2/d/25fdf098-34f5-4608-b7fa-17d60b2de47d/7b6ca46f-9e3f-74c6-f67b-7c8975243532?origin=1>.

Programa de Monitoramento Ambiental dos Biomas Brasileiros. Disponível em: <http://redd.mma.gov.br/pt/monitoramento/programa-de-monitoramento-ambiental-dos-biomas-brasileiros> Projeto Monitoramento Cerrado. Disponível em: <http://cerrado.obt.inpe.br/>

SEEG (2021). Emissões por setor. Disponível em: <https://plataforma.seeg.eco.br/sectors/mudanca-de-uso-da-terra-e-floresta>

SOS Mata Atlântica (2022). Atlas da Mata Atlântica. Disponível em: <https://www.sosma.org.br/sobre/relatorios-e-balancos/>

Unterstell, N.; La Rovere, E. L. (coords.) et al; Clima e Desenvolvimento: Visões para o Brasil 2030. Documento de Cenários e Políticas Climáticas. Iniciativa Clima e Desenvolvimento, elaboração de Instituto Talanoa e Centro Clima/COPPE/UFRJ, apoio do Instituto Clima e Sociedade - iCS, Outubro de 2021. Disponível em <https://www.institutotalanoa.org/documentos>

Equipe do Centro Clima/COPPE/UFRJ

Coordenação Geral do Projeto: Emilio Lèbre La Rovere (emilio@ppe.ufrj.br)

Comunicação e Coordenação de Eventos: Ruth Carola Cruzado Mittrany

Coordenação da Modelagem Macroeconômica: William Wills

Coordenação da Modelagem Setorial: Carolina Burle Schmidt Dubeux

Setor de Agricultura, Floresta e Outros Usos da Terra (AFOLU): Michele K. Cotta Walter e
Carolina B.S. Dubeux

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

Setor Industrial: Otto Hebeda, Bruna Guimarães e Luciana Contador

Setores Residencial, Comercial e Agricultura (Demanda de Energia): Claudio Gesteira

Oferta de Energia: Sergio Henrique F. Cunha, Erika Carvalho Nogueira e Fernanda Westin

Setor de Resíduos: Saulo Machado Loureiro, Isabela Cristina de Araújo Lima e Giovanna
Cavalcanti de Carvalho

Modelagem macroeconômica: William Wills e Giovanna Napolini

Apoio: Carmen Brandão Reis

Editoração: Elza Maria da Silveira Ramos