

PANORAMA DAS EMISSÕES DE METANO E IMPLICAÇÕES DO USO DE DIFERENTES MÉTRICAS



TALITA PRISCILA PINTO
CICERO ZANETTI DE LIMA
CAMILA GENARO ESTEVAM
EDUARDO DE MORAIS PAVÃO
EDUARDO DELGADO ASSAD



ESTE ESTUDO ESTÁ DISPONÍVEL EM:

[HTTPS://EESP.FGV.BR/CENTROS/OBSERVATORIOS/BIOECONOMIA](https://eesp.fgv.br/centros/observatorios/bioeconomia)

DATA DO ESTUDO: MAIO DE 2022

▲ OBSERVATÓRIO DE CONHECIMENTO E INOVAÇÃO EM BIOECONOMIA

COORDENADOR DO FGV AGRO

ROBERTO RODRIGUES

COORDENADORES DO OBSERVATÓRIO DE BIOECONOMIA

DANIEL BARCELOS VARGAS

CECÍLIA FAGAN COSTA

AUTORES DO ESTUDO

TALITA PRISCILA PINTO

CICERO ZANETTI DE LIMA

CAMILA GENARO ESTEVAM

EDUARDO DE MORAIS PAVÃO

EDUARDO DELGADO ASSAD

PATROCÍNIO



SUMÁRIO

INTRODUÇÃO **6**

8 1. PANORAMA DO SETOR
AGROPECUÁRIO

2. PANORAMA DAS EMISSÕES
DE GASES DE EFEITO ESTUFA **10**

- 2.1 EMISSÕES GLOBAIS
- 2.2 EMISSÕES GLOBAIS POR SETOR
- 2.3 EMISSÕES BRASILEIRAS

25 3. MÉTRICAS DE CONVERSÃO E IMPLICAÇÕES
SOBRE A CONVERSÃO DE METANO EM
DIÓXIDO DE CARBONO EQUIVALENTE

- 3.1 MÉTRICAS DE PARAMETRIZAÇÃO DOS GASES
- 3.2 NOVAS MÉTRICAS: AR6 e GWP*

4. ENTENDENDO O USO
DAS MÉTRICAS: O CASO DA
PECUÁRIA BRASILEIRA **35**

43 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

REFERÊNCIAS
BIBLIOGRÁFICAS **45**



INTRODUÇÃO

Atualmente, a concentração de metano na atmosfera é cerca de duas vezes e meia maior do que em níveis pré-industriais e está aumentando de forma constante (IPCC, 2020). O metano (CH_4) é o segundo gás de efeito estufa (GEE) mais abundante depois do dióxido de carbono (CO_2), responsável por 17,6% das emissões globais, sendo o CO_2 responsável por 74,4% (IPCC, 2014)

As estimativas das emissões de metano estão sujeitas a um alto grau de incerteza, mas a estimativa mais recente e abrangente sugere que as emissões globais anuais de metano estão em torno de 580 milhões de toneladas (Mt), sendo 60% proveniente de atividade humana (*International Energy Agency - IEA, 2022*).

Duas características-chave determinam o impacto de diferentes GEE sobre o clima: o tempo que eles permanecem na atmosfera e sua capacidade de absorver energia. O metano tem um curto tempo de vida na atmosfera (cerca de 12 anos), mas é um gás de efeito estufa muito potente, absorvendo expressiva quantidade de energia enquanto presente na atmosfera (IPCC, 2014; Schiermeier, 2020)

O aumento de sua concentração está fortemente ligado com a expansão da população humana, sendo a produção de energia, através do uso de combustíveis fósseis, a principal fonte de emissão no mundo, como exemplo, o metano é um subproduto da extração e processamento de gás natural, em rápido crescimento global. Outras fontes principais de metano vêm da agropecuária, proveniente do processo digestivo dos ruminantes e da decomposição dos resíduos animais e de aterros sanitários, provenientes de resíduos sólidos urbanos (IPCC, 2021).

Dado o curto período que o metano permanece na atmosfera, evitar a sua emissão oferece resultados promissores para limitar o aumento da temperatura no curto prazo. Sua redução se tornou foco de políticas climáticas em diferentes locais do planeta, sendo esta uma das estratégias mais econômicas para reduzir rapidamente a taxa de aquecimento global e contribuir significativamente para limitar o aumento da temperatura a 1,5°C até o ano de 2030.

Nas últimas décadas vem sendo desenvolvidos esforços para reduzir o aquecimento global e mitigar as emissões de gases de efeito estufa. Em 2021, durante a 26ª Conferência das Partes da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (COP 26 - UNFCCC), mais de 100 países incluindo o Brasil aderiram ao esforço global para reduzir em 30% as emissões de metano até 2030 em relação aos níveis de 2020, o **Compromisso Global de Metano**. Meta esta que, se atingida, pode reduzir cerca de 180 Mt de CH_4 por ano até 2030. Isto evitará quase 0,3°C de aquecimento global até 2040 e complementarará todos os esforços de mitigação da mudança climática a longo prazo. A redução do metano também ajuda a melhorar a qualidade do ar, visto que é um precursor do ozônio troposférico (no nível do solo), um poluente prejudicial que afeta a saúde humana e a produção agrícola. (IPCC, 2021).

As emissões de GEE do Brasil representam 3% do total global, contabilizando cerca de 2,16 bilhões de toneladas brutas de CO₂eq¹ e 1,4 bilhões de toneladas líquidas de CO₂eq (Climate Watch, 2022). Deste valor, 566,7 Mt CO₂eq² (26%) é representado pelo metano (Sistema de Estimativa de Emissões De Gases De Efeito Estufa - SEEG, 2020). A emissão provém majoritariamente do setor da agropecuária, principalmente da fermentação entérica do rebanho bovino e suíno (SEEG, 2020).

Para que o monitoramento das emissões seja realizado, convencionou-se na literatura o uso de métricas para parametrizar a emissão de outros gases de efeito estufa em dióxido de carbono, o CO₂ equivalente. Tais métricas possuem diferentes metodologias e a escolha de cada uma delas pode impactar significativamente no resultado final das emissões.

Logo, tendo em vista a meta acordada pelo Brasil na COP 26 de redução de metano e sabendo que o setor agropecuário possui uma expressiva participação, o presente trabalho tem por objetivo avaliar as trajetórias de emissão de metano geradas por diferentes métricas, e como essas podem impactar a agenda de mudanças climáticas brasileira na busca pela adequação do setor ao Compromisso Global de Metano.

¹ Nota: Considerando GWP-100-AR5.

² Nota: Considerando GWP-100-AR5.

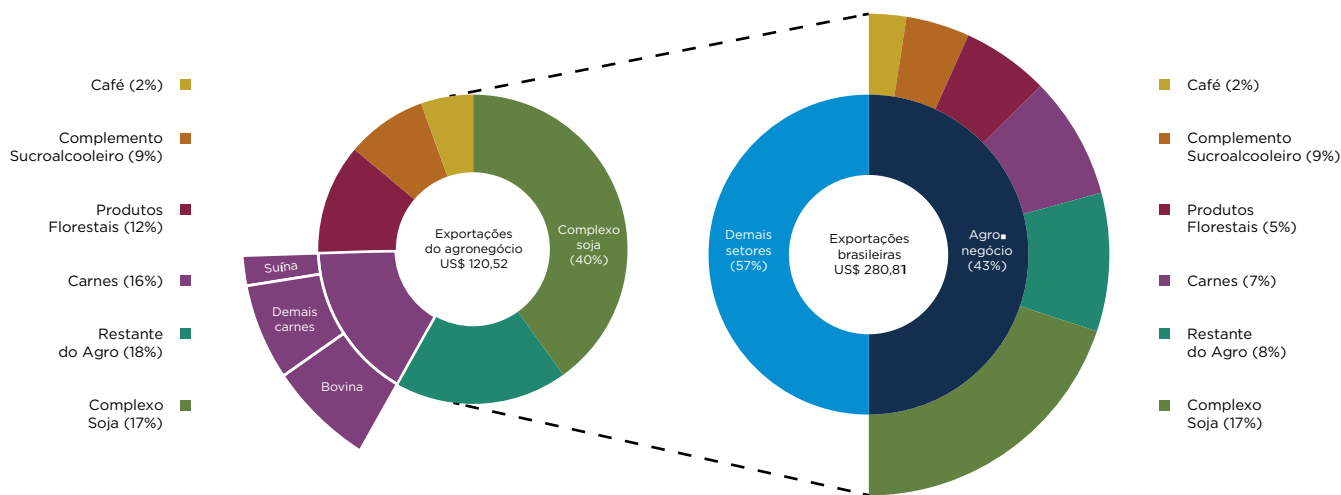
1. PANORAMA DO SETOR AGROPECUÁRIO

O agronegócio desempenha um papel fundamental para a economia brasileira e concedeu ao Brasil o protagonismo global na produção e exportação de produtos agropecuários.

O setor responde por 27% do Produto Interno Bruto (PIB) do país (Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada - CEPEA/ESALQ-USP, 2022), 20% de todos os empregos³ (Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada - IPEA, 2022) e 43% das exportações (Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento - MAPA, 2022). Essa relevância econômica é pautada em um cenário de crescimento setorial constante ao longo das últimas décadas.

Um dos segmentos de maior relevância para o agronegócio é a pecuária. Quando se considera toda a cadeia produtiva do setor: insumos, agropecuária, indústria e serviços, a pecuária responde por 7,0% do PIB do Brasil (CEPEA/ESALQ-USP, 2022). Além disso, as carnes ocuparam a segunda posição no *ranking* de exportações do agronegócio brasileiro, respondendo por 7% de toda a pauta exportadora nacional e 16,5% (US\$ 19,9 bilhões) do valor comercializado pelo agronegócio, ficando atrás somente do complexo da soja (MAPA Agrostat, 2022)⁴.

Gráfico 1: Participação do Agronegócio e da Pecuária no valor da Pauta Exportadora Brasileira em 2021



Fonte: AgroStat - MAPA, 2022

³ Nota: Dados referentes ao ano de 2020

⁴ Nota: Dados referentes ao ano de 2021

As carnes bovina e suína respondem por 46,3% (US\$ 9,2 bilhões) e 16,5% (US\$ 2,6 bilhões) do total das exportações de carnes, respectivamente. Avanços tecnológicos das últimas décadas permitiram a ampliação da produção de carnes, elevando o Brasil à posição de destaque nos rankings globais. O país ocupa a posição de 2º maior produtor de carne bovina e 4º maior de suína, atingindo dessa forma a liderança global na exportação de carne bovina e o 4º lugar para carne suína.

A disponibilidade de terras agricultáveis e as condições climáticas, associadas à constante geração e adoção de tecnologias, possibilitou que o Brasil ocupasse esse papel de destaque na produção e comércio global de proteína animal. Paralelo a esse crescimento, houve aumento da pressão sobre os recursos naturais, evidenciando a importância da sustentabilidade da agropecuária e da economia como um todo. Dessa forma, fez-se necessário a contínua busca por sistemas produtivos que sejam ao mesmo tempo mais eficientes, resilientes às mudanças climáticas e poupem recursos naturais.

Um dos grandes desafios relacionados ao crescimento econômico e setorial é o impacto ambiental e as mudanças climáticas. A pecuária se destaca de forma dual: de um lado há a vulnerabilidade do setor a mudanças do clima e de outro há as emissões de gases de efeito estufa (GEE) geradas por seus processos de produção. Com isso há a iminente preocupação em garantir o avanço sustentável dos sistemas produtivos agrícolas, necessário inclusive para a sobrevivência do próprio setor.

2. PANORAMA DAS EMISSÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA

2.1 EMISSÕES GLOBAIS

Dados do Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC⁵, 2022) indicam que as emissões globais de GEE vêm crescendo ano a ano, sendo a última década o maior crescimento da história. Em 2018 as emissões atingiram 48 giga toneladas de CO₂eq (48 Gt CO₂eq) com um pequeno número de países respondendo pela maior parte dessas emissões (Climate Watch, 2022). China, Estados Unidos, Índia, União Europeia, Rússia, Indonésia, Brasil, Japão, Irã e Canadá respondem juntos por 66,8% das emissões globais, conforme o **Gráfico 2**.

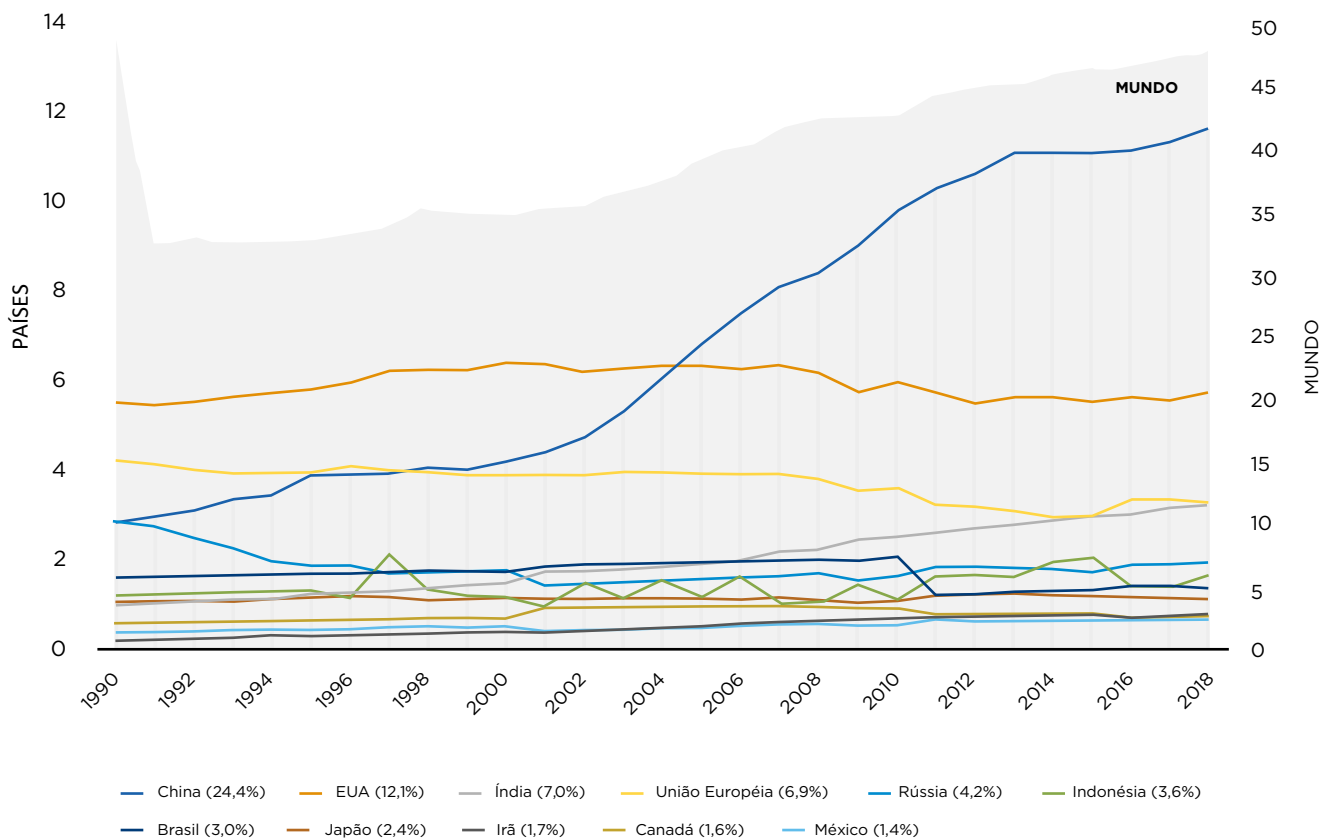
Do total emitido, 74,4% são emissões de dióxido de carbono (CO₂), 17,3% de metano (CH₄), 6,2% de óxido nitroso (N₂O) e 2,1% de gases fluorados (HFCs, CFCs, SF6). Enquanto o CO₂ está mais fortemente associado à evolução de longo prazo da temperatura média global, o CH₄ interfere no aquecimento do planeta no instante em que é emitido, portanto seu papel é determinante na dinâmica da evolução de curto prazo do aumento de temperatura.

⁵ Abreviação de *Intergovernmental Panel on Climate Change*

Gráfico 2: Participação dos países nas emissões líquidas globais de gases de efeito estufa*



EMISSIONES DE GEEs EM BILHÕES DE TONELADAS DE CO₂EQ

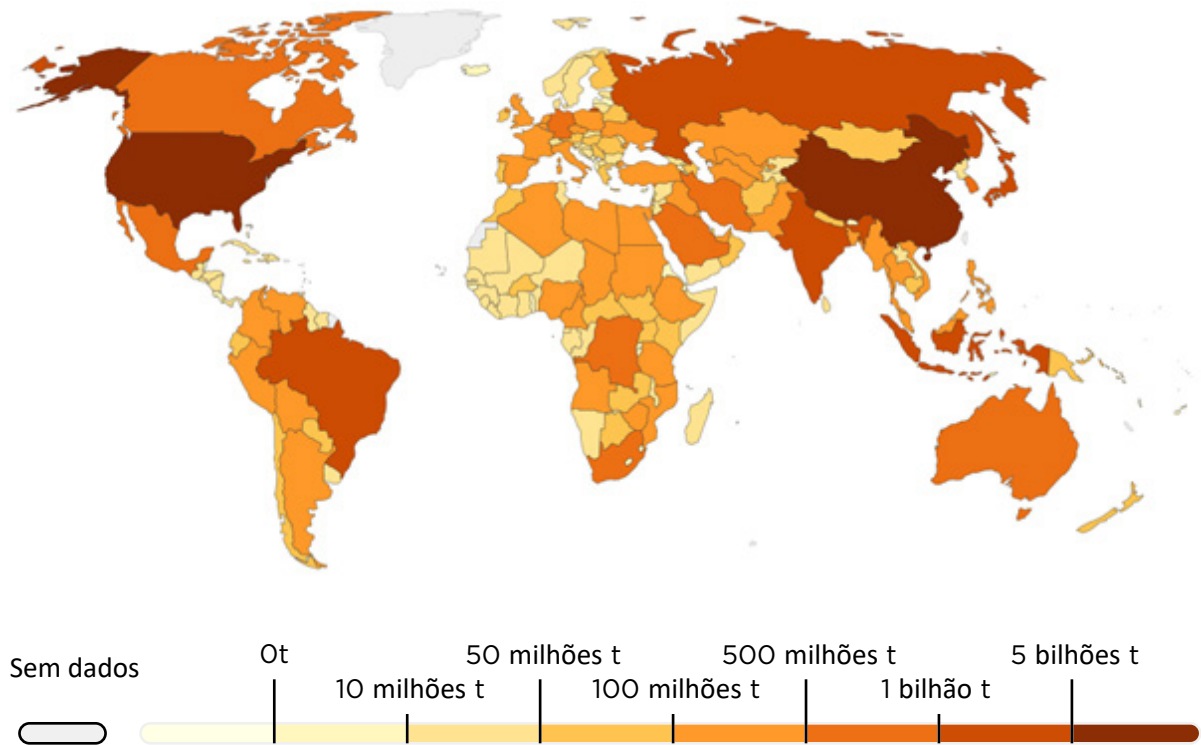


***Nota:** As emissões de gases de efeito estufa (de dióxido de carbono, metano, óxido nitroso e gases fluorados) são somadas e medidas em toneladas de equivalentes de dióxido de carbono (CO₂) e, onde “equivalente” significa “ter o mesmo efeito de aquecimento que o CO₂ durante um período de 100 anos”. As emissões da mudança de uso da terra – que podem ser positivas ou negativas – são levadas em consideração. Fonte: CAIT *Climate Data Explorer* via *Climate Watch*, 2022.

Ao se considerar apenas os 5 maiores emissores, percebe-se que há uma forte concentração de emissões, já que juntos respondem por 54,5% do total. China e Estados Unidos, os 2 maiores emissores globais, respondem por 36,5% do total. Nesse ranking o Brasil ocupa a 7ª posição e responde por 3,0% das emissões líquidas globais, o que equivale a 1,4 Gt CO₂eq⁶ (*Climate Watch*, 2022).

⁶ Nota: Dados referentes às emissões líquidas do ano de 2018.

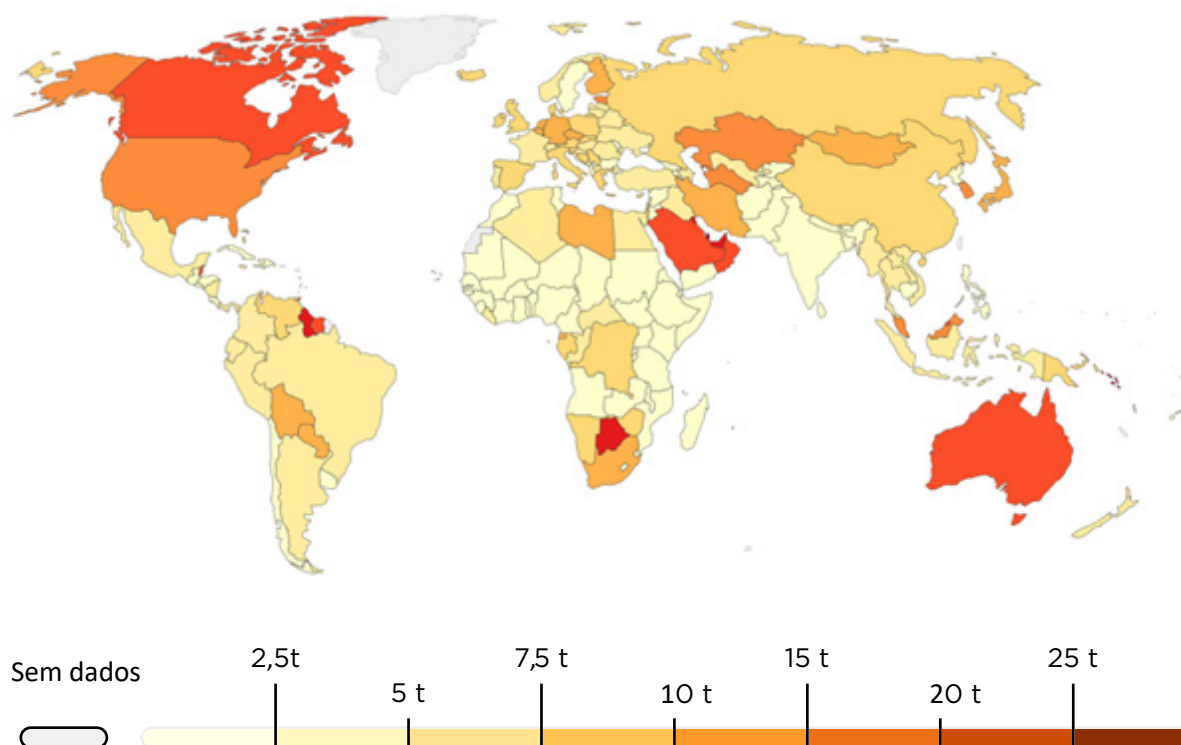
Figura 1: Distribuição geográfica das emissões totais de gases de efeito estufa* em 2018



***Nota:** As emissões de gases de efeito estufa (de dióxido de carbono, metano, óxido nitroso e gases fluorados) são somadas e medidas em toneladas de equivalentes de dióxido de carbono (CO₂eq), onde “equivalente” significa “ter o mesmo efeito de aquecimento que o CO₂ durante um período de 100 anos”. As emissões da mudança de uso da terra – que podem ser positivas ou negativas – são levadas em consideração. Fonte: CAIT *Climate Data Explorer* via *Climate Watch*, 2022

As emissões totais anuais apresentam os maiores emissores globais em termos absolutos. Ao considerar as emissões per capita, ou seja, o total emitido por pessoa no ano, há alteração no ranking dos maiores emissores. China e Índia, os dois países mais populosos do mundo, estão entre os três principais emissores. A reordenação mostra que alguns dos menores países do mundo são os maiores emissores per capita, conforme **Figura 2**. Esses países, como Guiana, Brunei, Botsuana, Emirados Árabes Unidos e Kuwait tendem a ser grandes produtores de petróleo e/ou gás natural.

Figura 2: Distribuição geográfica das emissões per capita de gases de efeito estufa* em 2018



***Nota:** As emissões de gases de efeito estufa (de dióxido de carbono, metano, óxido nitroso e gases fluorados) são somadas e medidas em toneladas de equivalentes de dióxido de carbono (CO₂eq), onde “equivalente” significa “ter o mesmo efeito de aquecimento que o CO₂ durante um período de 100 anos”. As emissões da mudança de uso da terra – que podem ser positivas ou negativas – são levadas em consideração.

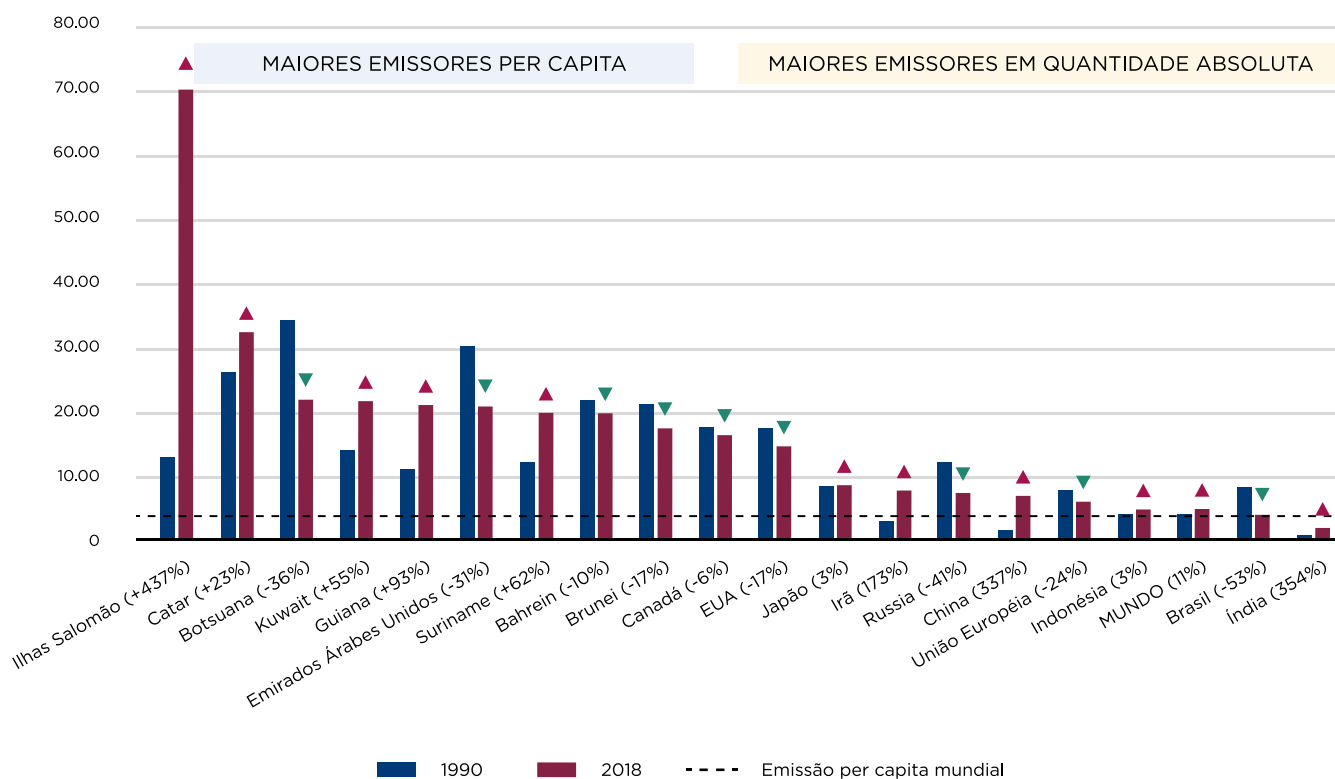
Fonte: CAIT *Climate Data Explorer* via *Climate Watch*, 2022

O único país em comum entre os 10 maiores emissores tanto em valor absoluto, como per capita, é o Canadá, cujas emissões per capita atingem 16,4 tCO₂eq⁷. O Brasil tem um volume de emissões de 3,9 tCO₂eq per capita, cerca de uma tonelada a menos quando se compara com a média mundial, que é de 4,8 tCO₂eq⁸ (Climate Watch, 2022), conforme **Gráfico 3**.

⁷ Nota: tCO₂eq se refere a toneladas de CO₂ equivalente.

⁸ Nota: Dados referentes ao ano de 2018

Gráfico 3: Emissões per capita de gases de efeito estufa* em 1990 E 2018



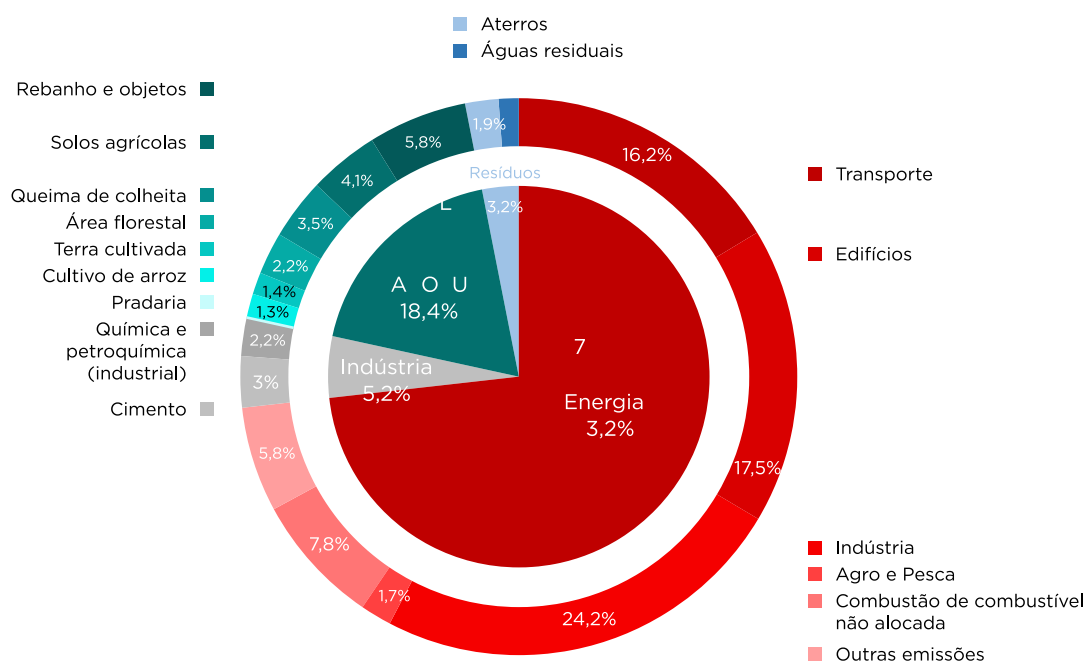
***Nota:** As emissões de gases de efeito estufa (de dióxido de carbono, metano, óxido nitroso e gases fluorados) são somadas e medidas em toneladas de equivalentes de dióxido de carbono (CO₂e), onde “equivalente” significa “ter o mesmo efeito de aquecimento que o CO₂ durante um período de 100 anos”. As emissões da mudança de uso da terra – que podem ser positivas ou negativas – são levadas em consideração.
 Fonte: CAIT *Climate Data Explorer* via *Climate Watch*, 2022

2.2 EMISSÕES GLOBAIS POR SETOR

O **Gráfico 4** mostra a distribuição do total de gases de efeito estufa por setor. Há uma série de setores e processos que contribuem para as emissões, sendo a produção de eletricidade e calor os principais no contexto global. As emissões da agricultura e da mudança do uso da terra (AFOLU⁹) são a segunda maior fonte, respondem por 18,4% do total e tem como principal causa o rebanho e o manejo de dejetos animais.

⁹ Abreviatura para *Agriculture, Forestry and Other Land Use*

Gráfico 4: Emissões globais de gases de efeito estufa por setor em 2018



Fonte: CAIT Climate Data Explorer via Climate Watch, 2022.

É importante compreender que não há uma solução única ou simples para enfrentar as mudanças climáticas. Focar apenas na redução de emissões vindas de eletricidade, transportes, alimentos ou desmatamento é insuficiente. Mesmo dentro do setor de energia, que responde por quase três quartos das emissões, não existe uma solução simples. Ainda que fosse possível descarbonizar 100% do fornecimento de energia, por exemplo, seriam necessárias estratégias para fornecer aquecimento, transporte rodoviário, marítimo e aéreo a nível global. No setor AFOLU a principal fonte de emissões pode variar de acordo com a região analisada e mesmo identificando as principais fontes globais de emissões, cada região atende a um contexto específico.

Nos Estados Unidos, por exemplo, o setor de transportes responde por uma parcela de emissões muito maior do que a média global. Já no Brasil, a maioria das emissões vem da agricultura e das mudanças no uso da terra, conforme o **Gráfico 5**. O setor AFOLU é responsável por 73% das emissões brasileiras (46% do Uso da Terra e 27% da Agropecuária). Uma das principais fontes de emissão são as alterações no uso do solo, que inclui as emissões vindas do desmatamento e de mudanças da utilização do solo para atividades agrícolas e pecuária.

O SISTEMA ALIMENTAR GLOBAL E AS EMISSÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA

O sistema alimentar global, que abrange o processo de produção e de distribuição, também é um dos principais contribuintes para as emissões, respondendo por 26% do total. Ainda não há soluções tecnológicas viáveis para mitigação dos gases de efeito estufa no sistema alimentar (Poore, Nemecek, 2018).

Há quatro elementos-chave a serem considerados ao tentar quantificar as emissões de GEE dos alimentos:

I) A PECUÁRIA E A PESCA SÃO RESPONSÁVEIS POR 31% DAS EMISSÕES DE ALIMENTOS

A pecuária contribui de muitas formas para essas emissões, principalmente pelo processo de fermentação entérica dos ruminantes. O manejo de dejetos, das pastagens e o consumo de combustível dos navios de pesca também se enquadram nesta categoria. Essa parcela de 31% se refere apenas às emissões vindas da produção dentro da porteira: não incluem mudanças no uso da terra ou emissões da cadeia de suprimentos da produção de culturas para ração animal: esses números são incluídos separadamente nas outras categorias (*Climate Watch*, 2022).

II) A PRODUÇÃO AGRÍCOLA É RESPONSÁVEL POR 27% DAS EMISSÕES DE ALIMENTOS

A produção agrícola voltada para o consumo humano direto responde por 21% das emissões de alimentos, os 6% restantes são oriundos da produção de ração animal. As emissões diretas que resultam da produção agrícola incluem a liberação de dióxido de carbono e óxido nitroso da aplicação de fertilizantes e corretivos agrícolas; dos resíduos das culturas, do uso de combustíveis nas operações mecanizadas e das emissões de metano da produção de arroz (*Climate Watch*, 2022).

III) O USO DA TERRA É RESPONSÁVEL POR 24% DAS EMISSÕES DE ALIMENTOS

Duas vezes mais emissões resultam do uso da terra para pecuária (16%) do que para cultivos para consumo humano (8%)¹⁰. A expansão agrícola resulta na conversão de 'sumidouros' de carbono - como florestas - em terras agrícolas ou pastagens, resultando em emissões de dióxido de carbono. A categoria Uso da terra é representada pela mudança de uso da terra, queima de savana e cultivo orgânico do solo (aração e derrubamento de solos)

¹⁰ Nota: 6% da mudança no uso da terra resulta da conversão de alimentos para consumo humano e 12% para a produção de ração animal. A queima de savanas (2% das emissões de alimentos) é em grande parte queima de matas na África para permitir o pastoreio de animais. As emissões de solos orgânicos cultivados (4%) são divididas entre alimentação humana e ração animal. É nessa fração de terra que os solos com alto teor de carbono são usados para agricultura, o que libera carbono. Portanto, alimentos para consumo humano direto são iguais a 6% (mudança de uso da terra) + 2% solos cultivados = 8%, já a pecuária é igual a 12% (mudança de uso da terra) + 2% queima de savana + 2% solos cultivados = 16%.

(*Climate Watch*, 2022).

IV) AS CADEIAS DE SUPRIMENTOS RESPONDEM POR 18% DAS EMISSÕES DE ALIMENTOS

O processamento de alimentos (conversão de produtos agrícolas em produtos finais), transporte, embalagem e varejo exigem insumos e energia. Há discussões que apontam que o consumo de alimentos produzidos a nível local pode ser a chave para uma dieta de baixo carbono, entretanto as emissões geradas pelos transportes são, de forma geral, uma porcentagem muito pequena das emissões totais dos alimentos: apenas 6% globalmente. Embora as emissões da cadeia de suprimentos possam parecer altas, 18%, é essencial para a redução das emissões evitar o desperdício de alimentos. Um quarto das emissões da produção de alimentos (3,3 bt CO₂eq) vem do desperdício de perdas na cadeia de suprimentos ou consumidores (*Climate Watch*, 2022).

Reduzir as emissões da produção de alimentos é um dos maiores desafios das próximas décadas. Ao contrário de muitos aspectos da produção de energia, onde oportunidades viáveis para aumentar a energia de baixo carbono – energia renovável ou nuclear – estão disponíveis, as maneiras pelas quais podemos descarbonizar a agricultura são menos claras. Precisamos de insumos como fertilizantes para atender à crescente demanda por alimentos e não é possível impedir que o gado produza metano. É necessário um cardápio diversificado de soluções: mudanças nas dietas; redução do desperdício de alimentos; melhorias na eficiência agrícola; e tecnologias que tornam as alternativas alimentares de baixo carbono escaláveis e acessíveis.

Para o caso brasileiro, em que o setor AFOLU responde por 73% das emissões de GEE, há um potencial maior para explorar essas reduções e o país pode contribuir ativamente para esse cenário. Tecnologias tropicais disponíveis como Fixação biológica de nitrogênio, Sistema de plantio direto, Sistemas integrados, Florestas Plantadas, Recuperação de pastagens degradadas, Tratamento de dejetos animais e Redução do tempo de abate com aumento da disponibilidade e qualidade do pasto, principalmente se associada à suplementação, tem se mostrado eficazes para a redução de emissões do setor.

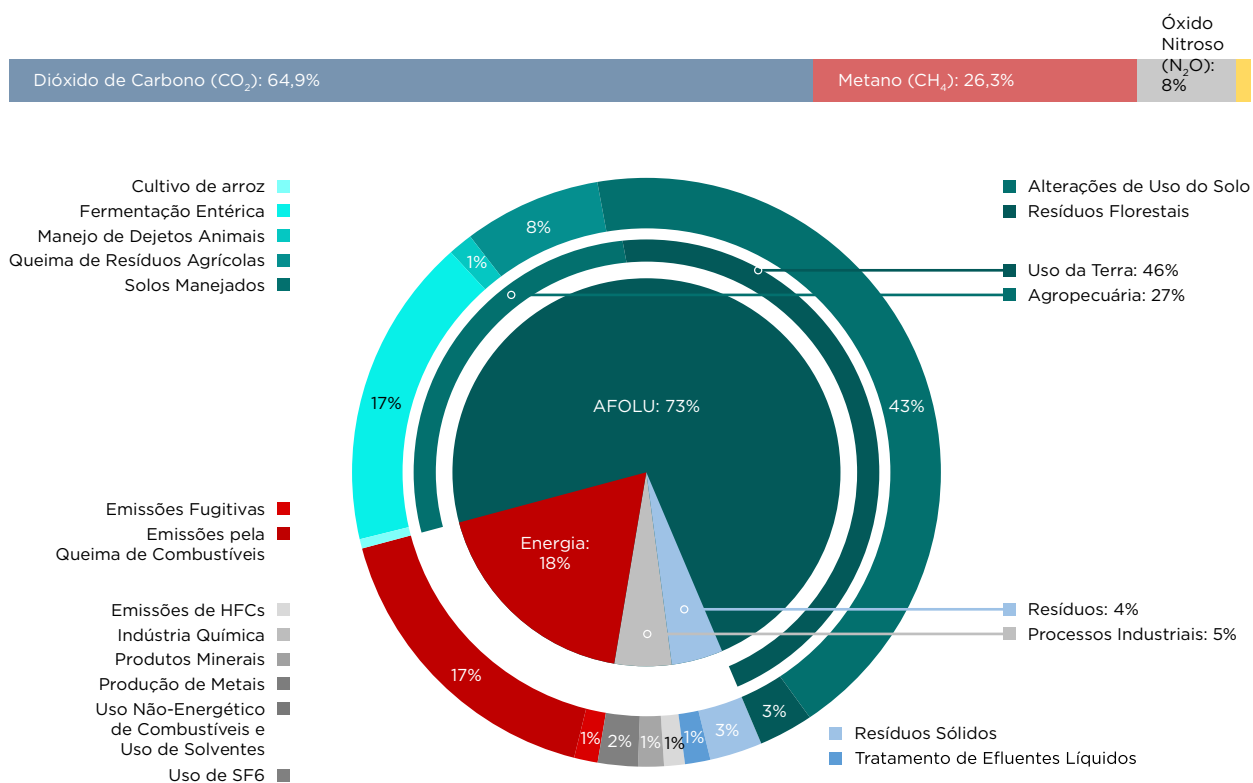
2.3 EMISSÕES BRASILEIRAS

O perfil de emissões de GEE do Brasil é único e quando comparado ao perfil global, percebe-se uma alteração da composição das emissões setoriais, bem como também alteração na proporção dos diferentes gases emitidos, como representado no **Gráfico 5**. Essa mudança ocorre principalmente pela característica agrícola e de uso da terra do país. O território brasileiro é composto por 851 milhões de hectares, dos quais 31,0% correspondem à agropecuária, cerca de 263,1 milhões de hectares, divididos em pastagem, agricultura e silvicultura.

De acordo com o Sistema de Registro Nacional de Emissões (SIRENE) (MCTI, 2016), a principal fonte de emissões é o setor AFOLU, que em 2016 respondeu por 62% (970 Mt CO₂eq) do total das emissões brasileiras (1.576 Mt CO₂eq), com a agropecuária sendo responsável por 36% e a categoria de uso da terra por 26%. Em 2020, de acordo com o

Sistema de Estimativa de Emissões de Gases De Efeito Estufa (SEEG, 2020) houve aumento da participação do setor AFOLU nas emissões totais do Brasil, explicado principalmente pelo avanço do desmatamento. O setor em 2020 passou a responder por 73% do total das emissões brasileiras, com a agricultura sendo responsável por 27% e a categoria de uso da terra por 46%. O setor de Energia corresponde a 18% das emissões totais, restando, portanto, 5% para os Processos Industriais e outros 4% para Resíduos.

Gráfico 5: Emissões brasileiras de gases de efeito estufa por setor e por tipo de gás em 2020

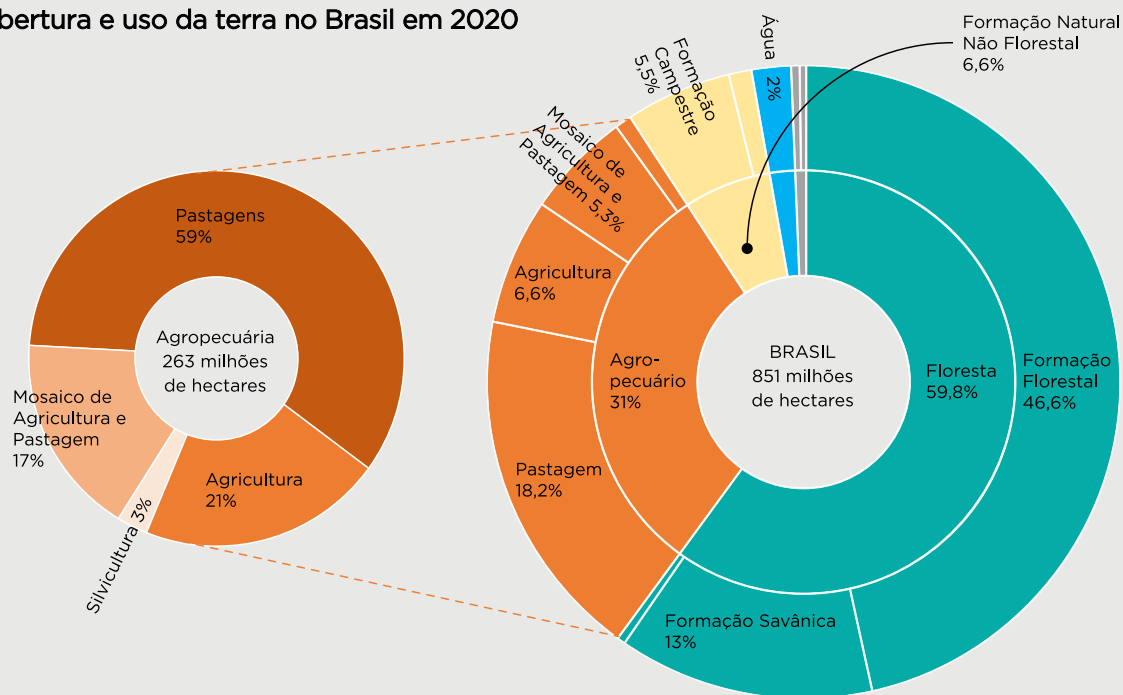


Fonte: Sistema de Estimativa de Emissões de Gases de Efeito Estufa (SEEG), 2022.

O PAPEL DO USO DA TERRA NAS EMISSÕES SETORIAIS

O Brasil apresenta uma área total de 851 milhões de hectares, desse total, cerca de um terço é destinado a áreas cobertas com agricultura, silvicultura e pastagens. Apenas as áreas com pastagem ocupam cerca de 160,9 milhões de hectares¹¹ (Laboratório de Processamento de Imagens e Geoprocessamento - Lapig, 2022).

Cobertura e uso da terra no Brasil em 2020



Fonte: MapBiomias, 2022.

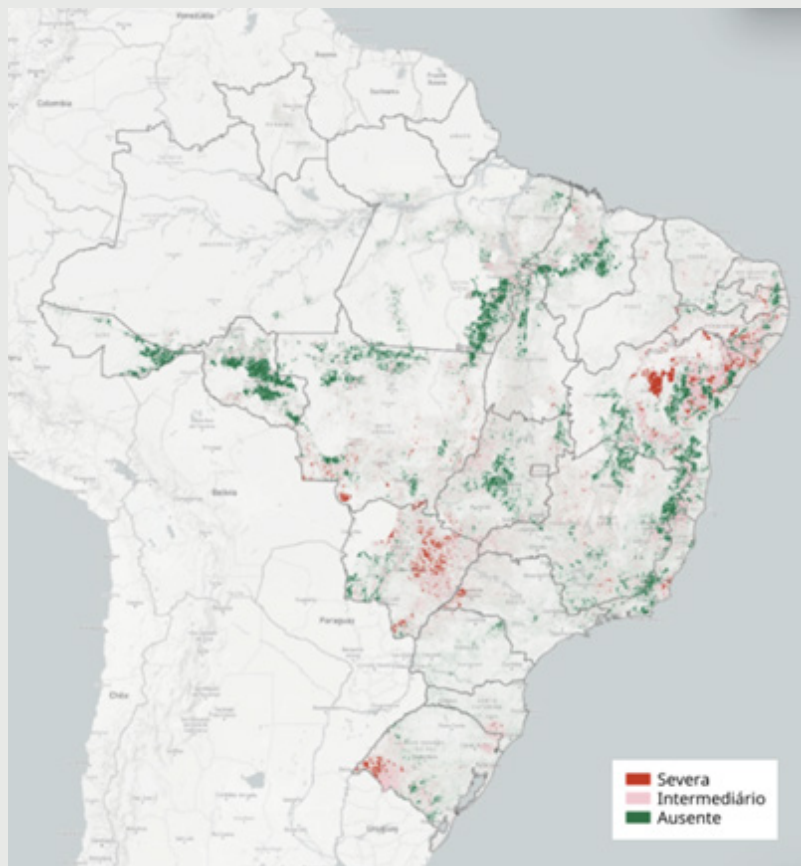
Em 2020, cerca de 45,9% da área total de pastagens (73,9 Mha) não apresentava sinais de degradação, 39,4% (63,4 Mha) apresentava um nível intermediário de degradação e os 16,0% restantes (25,7 Mha) apresentavam degradação severa. Degradação das pastagens é definida por Macedo & Zimmer (1993) como “um processo evolutivo da perda do vigor, de produtividade, da capacidade de recuperação natural das pastagens para sustentar os níveis de produção e a qualidade exigida pelos animais, bem como o de superar os efeitos nocivos de pragas, doenças e invasoras, culminando com a degradação avançada dos recursos naturais em razão de manejos inadequados”.

A degradação de pastagens afeta diretamente a capacidade de suporte, caracterizada pelo número de animais por área de pastagem em que a produtividade é mantida sem o detrimento do desempenho da produção animal ou do desenvolvimento da pastagem. O processo de

¹¹ Nota: O MapBiomias apresenta dados referentes à área da pecuária divididos entre as categorias Pastagens e Mosaico de Agricultura e Pastagens. Segue a definição deste último: “Áreas de uso agropecuário, onde não foi possível distinguir entre pastagem e agricultura. Pode incluir áreas de cultivos, pastagens de inverno ou de verão e de horticultura. Inclui as áreas de descanso entre safras agrícolas (pousio)”. Já o Lapig não faz essa diferenciação, além disso a métrica de cálculo das duas instituições pode diferir entre si, portanto os valores referentes a pastagens reportados por ambos podem diferenciar entre si

degradação, além de gerar prejuízos econômicos ao produtor, tem impactos negativos ao meio ambiente, como impactos nos recursos hídricos e incrementos de emissões de gases de efeito estufa na atmosfera.

QUALIDADE DAS PASTAGENS BRASILEIRA EM 2020



Fonte: Laboratório de Processamento de Imagens e Geoprocessamento (Lapig/UFG), 2022.

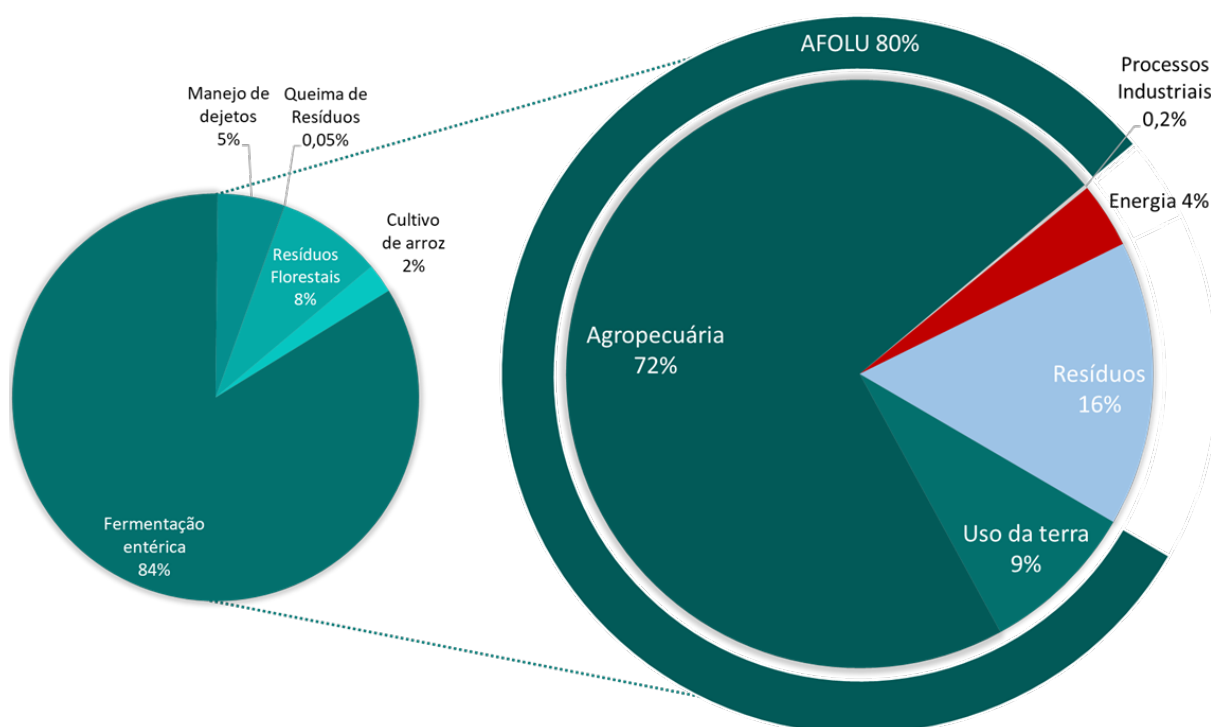
A degradação é, portanto, um processo contínuo que se destaca pela diminuição da capacidade de suporte dos animais e pela baixa qualidade da forragem. O manejo inadequado é o principal fator que ocasiona o empobrecimento do solo e a degradação da pastagem. Quanto mais avançado o estágio de degradação, maiores as quantidades de insumos e operações necessárias para sua recuperação, acarretando maiores custos ao longo do tempo.

Quando comparado a um pasto degradado, a recuperação de pastagem proporciona maior estoque de carbono ao sistema já que, com o acúmulo de matéria orgânica no solo, as perdas de CO_2 para a atmosfera são interrompidas. Além disso, a transição de pastagens para um sistema de manejo de qualidade, caracterizado pelo incremento de produtividade vegetal, cobertura e proteção do solo e melhoria de parâmetros qualitativos do solo, fazem com que a pastagem se torne um sumidouro de CO_2 . Além disso, a reposição de nutrientes na pastagem melhora a qualidade da dieta animal, influenciando o ganho de peso vivo e, conseqüentemente, reduzindo o tempo de abate e, com isso, a emissão de gás metano (CH_4) pela fermentação entérica (KURIHARA et al., 1999), além de aliviar a pressão para converter novas áreas naturais em pastagem.

As emissões de metano no Brasil correspondem a 26,3% das emissões totais - 20,2 Mt de CH₄ (566,7 Mt CO₂eq¹²) ao ano. O metano está presente em todos os grandes setores comumente apresentados nos inventários de emissões. O Setor AFOLU responde, majoritariamente, por essas emissões - 80% do todo o metano emitido vem da Agropecuária e Uso da terra, conforme **Gráfico 6**.

Especificamente, essas emissões de CH₄ têm como principal origem a fermentação entérica dos ruminantes, mas também são provenientes dos resíduos florestais, manejo de dejetos e cultivo de arroz. A emissão gerada pela fermentação entérica dos ruminantes foi de 13,3 Mt CH₄ - 372,4 Mt CO₂eq. A redução das emissões de CH₄ é um importante avanço para a agenda de sustentabilidade da agropecuária brasileira.

Gráfico 6: Emissões brasileiras de metano por setor em 2018



Fonte: Sistema de Estimativa de Emissões de Gases de Efeito Estufa (SEEG), 2022.

Nesse contexto, em 2022 o Brasil criou o **Programa Nacional de Redução de Emissões de Metano - Metano Zero**, voltado para o aproveitamento energético e para o desenvolvimento da produção de combustíveis derivados de resíduos ou produtos orgânicos como fontes de biogás e biometano.

¹² Considera-se a conversão pela métrica GWP-100-AR5.

ASPECTOS REGULATÓRIOS DO COMPROMISSO GLOBAL DE METANO

A despeito da importância do tema, a regulação das emissões do metano só foi endereçada recentemente na COP 26 das Nações Unidas sobre o Clima (UNFCCC), em 2021. Algumas Partes da Convenção, liderados pelos Estados Unidos e União Europeia, pela primeira vez decidiram de forma expressa em criar um instrumento internacional para redução das emissões do metano, o **Compromisso Global de Metano** (*Global Methane Pledge*¹³). Neste novo acordo as atuais 111 Partes signatárias, incluindo o Brasil¹⁴, se comprometeram em reduzir em 30% as emissões de metano até 2030, comparado com os níveis de 2020.

Entretanto, na perspectiva do Direito Internacional, o Compromisso Global de Metano não está atrelado a Convenção de Clima (UNFCCC) ou de seu Protocolo de Quioto ou Acordo de Paris, os quais constituem tratados internacionais e, portanto, fontes vinculantes de obrigações¹⁵, já devidamente internalizados pelo ordenamento jurídico nacional¹⁶. Assim, o Compromisso Global de Metano possui caráter voluntário e não obrigatório, não correspondendo às metas de redução de gases previstas na Contribuição Nacionalmente Determinada do Brasil (NDC), é somente uma iniciativa coletiva.

Entretanto, a despeito da falta de caráter vinculante do compromisso, não impede que o Brasil de fato atinja o objetivo nele pretendido, bem como crie atos normativos endereçando a redução das emissões de metano gerado no país, em especial pelo rebanho bovino e suíno, os quais ainda são incipientes.

Neste sentido, recentemente o Ministério do Meio Ambiente expediu a Portaria 71 de 21 de março de 2022, lançando o **Programa Nacional de Redução de Emissões de Metano - Metano Zero**. A portaria de forma breve cria o programa, estabelecendo diretrizes gerais como fomentar planos e acordos setoriais, estimular a implantação de tecnologias que permitam a utilização de biogás e biometano, fomentar medidas e mecanismos para estimular a redução das emissões de metano etc. Bem como, lista seus instrumentos: o Programa Nacional de Crescimento Verde, o Fundo Nacional sobre Mudança do Clima e linhas de pesquisa das agências de fomento. Porém, em nenhum momento define metas, objetivos específicos ou metodologias setoriais, necessitando de maior regulamentação e clareza na sua implementação.

É positivo que os países Parte tenham estabelecido o Compromisso Global de Metano, mas como este não é fonte vinculante de direito, é essencial que de fato haja interesse e iniciativas domésticas no controle das emissões de metano, ou caso contrário, será mais um documento sem efeitos práticos.

¹³ Disponível em <https://www.ccacoalition.org/en/resources/global-methane-pledge>

¹⁴ Até 01/04/2022.

¹⁵ Ver Estatuto da Corte Internacional de Justiça sobre fontes dos vinculantes do Direito Internacional, artigo 38.

¹⁶ Constituição Federal de 1988, artigo 49, I.

Apesar desses esforços ajudarem a conduzir o Brasil para uma economia mais sustentável e colaborarem com a desaceleração do aquecimento global, surpreendentemente, a principal fonte de emissão de metano - fermentação entérica dos ruminantes - não está contemplada no Programa.

Focar nas reduções de metano, por um lado, pode ser considerado estratégico, já que o CH₄ apresenta ciclo de vida mais curto. Portanto, reduzir sua quantidade na atmosfera significa reduzir de forma rápida suas emissões e frear o aumento da temperatura. Entretanto é importante considerar que ainda há um caminho longo a ser percorrido, esse caminho envolve reduzir ou compensar as emissões vindas da fermentação entérica, que respondem por 65,8% de todo o metano emitido no país em 2018. Considerando que o rebanho nacional conta com 218 milhões de cabeças de gado e apresenta trajetória de crescimento ao longo do tempo, estratégias para reduzir essas emissões são desafiadoras e demandam esforços que vão desde o produtor, passando por governos locais, governo federal, bem como o próprio setor.

Para projetar políticas eficazes para deter o aquecimento global, tão importante quanto definir estratégias de mitigação de metano é compreender as diferenças e possíveis impactos entre as diferentes métricas de cálculo da conversão dessas emissões em CO₂eq. As métricas existentes endereçam resultados distintos e podem guiar de formas diferentes o processo de tomada de decisão de todos os agentes envolvidos na busca de um setor que atinja a neutralidade climática.

DIFERENÇAS ENTRE CARBONO NEUTRO, NET ZERO E NEUTRALIDADE CLIMÁTICA

O IPCC (2021) define **Carbono Neutro (*carbon neutral*)** como a condição em que as emissões antropogênicas de CO₂ são balanceadas pelas remoções antropogênicas de CO₂. Esse conceito é definido para qualquer entidade, podendo ser um país, uma organização, uma região, um setor ou uma produção ou produto agrícola. A neutralidade do carbono é geralmente determinada pelo ciclo de vida, incluindo emissões indiretas, porém também pode ser limitada às emissões e remoções que ocorrem durante um período específico de tempo no qual a entidade tem controle direto sobre essas emissões.

As emissões de **CO₂ Net Zero (*Net zero CO₂ emissions*)** são definidas pelo IPCC (2021) como a condição na qual as emissões antropogênicas de CO₂ são balanceadas por suas remoções antropogênicas durante um período especificado. Em escala global, os termos **carbono neutro** e emissões **CO₂ Net Zero** são equivalentes. Em escalas menores, as emissões **CO₂ Net Zero** geralmente são aplicadas a emissões e remoções sob controle direto ou responsabilidade territorial da entidade que reporta as emissões, enquanto o **Carbono Neutro** geralmente inclui emissões e remoções dentro e fora do controle direto ou responsabilidade territorial da entidade relatora (por exemplo, emissões do ciclo de vida).

As emissões **GHG Net Zero (Net zero GHG emissions)** são definidas pelo IPCC (2021) como a condição na qual as emissões antropogênicas de GEE, ponderadas metricamente, associadas a uma entidade, são balanceadas pelas remoções antropogênicas de GEE. O GHG Net Zero é frequentemente avaliado ao longo do ciclo de vida, incluindo emissões indiretas (ou seja, “escopo 3”), mas também pode ser limitado às emissões e remoções durante um período específico, sobre o qual a entidade tem controle direto, conforme determinado por um órgão competente. A quantificação das emissões e remoções de GEE depende da métrica de emissões escolhida para comparar as emissões e remoções dos diferentes gases, bem como o horizonte temporal escolhido para essa métrica.

A **Neutralidade Climática (Climate Neutrality)** não é formalmente definida pelo IPCC, entretanto, no senso comum, pode ser vista como o equivalente ao atingir nenhum impacto climático adicional das atividades de uma entidade em escala regional, subnacional ou nacional (Pineda e Faria, 2019). A **Neutralidade Climática** pode ser vista como equivalente ao aquecimento líquido zero e é caracterizada por alcançar e manter as emissões líquidas em um patamar de aquecimento equivalente a zero CO₂.

O aquecimento líquido zero (**Net zero warming**) não é formalmente definido pelo IPCC, entretanto, foi descrito por Cain et al. (2019) como **Net Zero** (emissões mais remoções) emissões CO₂ *warming equivalent* calculadas usando GWP* para poluentes climáticos de vida curta, como CH₄. O aquecimento **Net Zero** implica que as atividades de uma entidade em escala regional, subnacional ou nacional não levariam a um aquecimento adicional e poderiam ser definidas alcançando e mantendo emissões **Net Zero** CO₂ *warming equivalent*.

3. MÉTRICAS DE CONVERSÃO E IMPLICAÇÕES SOBRE A CONVERSÃO DE METANO EM DIÓXIDO DE CARBONO EQUIVALENTE

Os gases de efeito estufa existem naturalmente na atmosfera e são essenciais para a manutenção da vida no planeta, pois bloqueiam parte da radiação solar, regulando a temperatura terrestre. Os principais GEE são o vapor d'água (H₂O), dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄), óxido nitroso (N₂O) e ozônio (O₃). Ações antrópicas, especialmente após a revolução industrial, têm causado um aumento no nível de concentração desses gases, especificamente de dióxido de carbono, metano e óxido nitroso, que se destacam em termos de impactos nas mudanças climáticas (Machado, 2005).

Durante a Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas (*United Nations Framework Convention on Climate Change* ou UNFCCC, em inglês) estabeleceu-se um tratado ambiental entre os países para combater a interferência humana no sistema climático, principalmente através do controle das emissões de GEE e pela estabilização de suas concentrações na atmosfera. O objetivo foi estabelecer as concentrações máximas de GEE para a manutenção do equilíbrio e recuperação dos ecossistemas diante dos efeitos das mudanças climáticas provenientes do aumento da temperatura global. Diante da dependência e interconexão das atividades humanas e dos ecossistemas, o estabelecimento e cumprimento de ações que envolvem os acordos firmados no âmbito da UNFCCC, como o **Protocolo de Kyoto** e o **Acordo de Paris**, são essenciais para assegurar a produção alimentar e o desenvolvimento sustentável das nações.

Especificamente, o **Acordo de Paris** tem como objetivo limitar o aquecimento global a níveis abaixo de 2°C, preferível a 1,5°C, em comparação com os níveis pré-industriais (UNFCCC, 2021). Além disso, o **Acordo de Paris** é único quando comparado com acordos climáticos globais anteriores, como o **Protocolo de Kyoto**, que se concentrou nas metas de emissões de GEE. Em vez de focar nas metas, o **Acordo de Paris** se concentrou na mudança de temperatura. Consequentemente, é importante que as métricas climáticas sejam adequadas para representar os impactos das mudanças de temperatura em cenários futuros de emissões. Em outras palavras, é importante quantificar as emissões de GEE pela forma como elas impactam a temperatura ao longo do tempo.

Nesses acordos foram elaborados planos e objetivos visando a redução das emissões de GEE, as chamadas Contribuições Nacionalmente Determinadas (da sigla em inglês NDC, *Nationally Determined Contribution*). Surge-se, então, a necessidade de parametrizar o impacto de diferentes GEE de maneira a quantificar as emissões através da elaboração de métricas de conversão.

3.1 MÉTRICAS DE PARAMETRIZAÇÃO DOS GASES

Os GEE possuem características distintas, por exemplo, o CO₂ permanece por um longo período de tempo na atmosfera, já o CH₄ possui um tempo de vida curto, se decompondo em dióxido de carbono de longa duração e água em cerca de 12 anos, o que significa que mesmo depois da permanência da molécula na atmosfera, o metano tem um efeito de aquecimento residual com persistência variável (Enright, 2022).

Para que seja possível parametrizar o efeito dos diversos gases na atmosfera foi criado o Dióxido de carbono equivalente, métrica que converte a emissão dos gases chamados de não-CO₂ em uma emissão CO₂ equivalente (CO₂eq), possibilitando a comparação do potencial de impacto climático entre diferentes GEE, com base na importância relativa de cada um em relação ao CO₂.

Logo, cada gás possui um valor baseado no tempo de permanência na atmosfera e no seu impacto, seja na contribuição para aumento da temperatura do planeta ou no potencial de aquecimento global, sendo estas as chamadas métricas de parametrização. As métricas servem para quantificar de maneira simples os impactos climáticos dos diferentes tipos de gases sem a necessidade de um modelo para cada um deles.

▶ GLOBAL WARMING POTENTIAL (GWP)

Em 1990 o IPCC divulgou a métrica de Potencial de Aquecimento Global, o **GWP**, que foi formulado com base no potencial de um gás absorver calor e aquecer o planeta. Tal capacidade é chamada de forçante radiativa média¹⁸. Além disso, também foi considerado o horizonte de tempo como variável do parâmetro. O IPCC reporta, em seus relatórios, valores de GWP para 20, 100 ou 500 anos, sendo este o período de avaliação do impacto. A partir do *Fifth Assessment Report* (AR5, 2014) do IPCC, valores para 500 anos deixaram de ser publicados devido ao longo período de projeção e sua incerteza. Logo, o **GWP** possui valores para um período de 20 e 100 anos, sendo o último amplamente adotado pelo IPCC.

O **GWP₁₀₀**, portanto, foi estabelecido como padrão internacional de contabilização de gases desde sua criação e também foi adotado como métrica comum para avaliação das metas propostas pelo Acordo de Paris.

A **Tabela 1**, a seguir, apresenta a diferença entre os valores de **GWP₁₀₀** e também **GWP₂₀** publicados pelos últimos três relatórios do IPCC, indicando uma mudança ao longo dos anos, fato que ocorre devido ao refinamento dos estudos e compreensão a respeito do comportamento dos gases na atmosfera.

¹⁸ A forçante radiativa, devido a um agente climático, é definida como a diferença em irradiância líquida na tropopausa, entre um estado de referência e um estado perturbado devido ao agente climático. As temperaturas de superfície e da troposfera são mantidas fixas, mas permite-se que a estratosfera atinja o equilíbrio radiativo. O estado de referência pode ser a ausência do agente climático, ou seu impacto em uma dada situação ou época, como, por exemplo, no início da Revolução Industrial (ca. 1750) adotado pelo IPCC, Intergovernmental Panel on Climate Change (Forster et al., 2007). São as forçantes que indicam os cenários RCP8,5 e RCP4.5 dos modelos climáticos.

Tabela 1: Valores potenciais de aquecimento global para os horizontes temporais de 20 e 100 anos (GWP₂₀ E GWP₁₀₀)

GEE	GWP ₂₀			GWP ₁₀₀		
	2º Relatório de Avaliação	4º Relatório de Avaliação	5º Relatório de Avaliação	2º Relatório de Avaliação	4º Relatório de Avaliação	5º Relatório de Avaliação
	IPCC (SAR) 1996	IPCC (AR4) 2006	IPCC (AR5) 2014	IPCC (SAR) 1996	IPCC (AR4) 2006	IPCC (AR5) 2014
CO ₂	1	1	1	1	1	1
CH ₄	56	72	84	21	25	28
N ₂ O	-	298	264	310	298	265

Fonte: IPCC - SAR (1997), AR4(2004) e AR5 (2014).

Quando se opta pelo uso do **GWP₁₀₀**, além da forçante radiativa, a métrica considera o impacto integrado mais de 100 anos após o pulso de emissão de CO₂ (Ambrizzi e Araújo, 2014). Portanto, ele reflete as consequências da emissão mesmo 100 anos após ela ter sido emitida, uma vez que o gás continua na atmosfera durante esse período, absorvendo parte da radiação infravermelha emitida pela superfície. O mesmo ocorre para o **GWP₂₀**, que reflete as consequências da emissão em um período de 20 anos. Diferente da métrica anterior e mais longa, os valores de conversão para o período mais curto são maiores, uma vez que em um prazo estendido há uma “diluição” dos efeitos pelo tempo.

O **GWP₂₀**, conseqüentemente, apresenta valores maiores para os GEE de curta duração, que, como o próprio nome sugere, são Poluentes Climáticos de Vida Curta (SLCP) que permanecem na atmosfera por um período de tempo menor do que os chamados Poluentes Climáticos de Vida Longa (LLCP). Os principais poluentes de curta duração são o carbono negro¹⁹, o metano (CH₄), o ozônio troposférico (O₃) e os hidrofluorcarbonetos (HFCs) e os de longa duração são CO₂ e o N₂O, que permanece na atmosfera centenas de anos e continuam provocando aquecimento em todo o período.

Já o **GWP₁₀₀** nivela o potencial de aquecimento global dos GEE num horizonte temporal de 100 anos, não representando o potencial dos gases de curta duração no tempo. A métrica é sempre baseada em 1kg de emissão de um determinado composto em relação a 1kg do gás de referência, no caso o CO₂ (IPCC, 2013). O metano, como um gás potente, tem a pontuação de 28 e o óxido nítrico, 265. Em outras palavras, 1 quilo de metano é 28 vezes mais potente do que 1 quilo de dióxido de carbono em 100 anos (valor expressivamente menor quando comparado ao **GWP₂₀** com fator de conversão de 84 para o metano).

¹⁹ Gerado pela queima de combustíveis fósseis e biomassa.

Segundo dados do IPCC, para **GWP₂₀**, considera-se uma incerteza de $\pm 30\%$ e para o **GWP₁₀₀** $\pm 40\%$. A incerteza é dominada pelo CO_2 e pelos efeitos indiretos. Para gases com vida útil de até algumas décadas, como o metano, a incerteza estimada é na ordem de $\pm 25\%$ e $\pm 35\%$ por 20 e 100 anos, respectivamente. Já os gases com vida útil de um século ou mais a ordem é de $\pm 20\%$ e $\pm 30\%$ para horizontes de 20 e 100 anos, respectivamente (IPCC, 2014).

Em geral, essas incertezas aumentam com o horizonte de tempo. Além disso, para gases de vida mais curta, como o metano, o uso da métrica GWP pode distorcer os efeitos climáticos, já que considera um valor constante de potencial de aquecimento por todo o período.

Apesar do **GWP₁₀₀** ter sido a primeira métrica apresentada pelo IPCC e continuar sendo a mais utilizada, existem diversas críticas acerca dessa metodologia. O **GWP** não representa o impacto das emissões de GEE na temperatura global, uma vez que se baseia na força de radiação integrada no tempo, que não dá uma indicação única do efeito das emissões na temperatura e também apresenta dificuldades em representar os efeitos dos gases de curta duração.

► GLOBAL TEMPERATURE CHANGE POTENTIAL (GTP)

Buscando apresentar alternativas ao **GWP**, em 2005 foi proposta uma nova métrica: O **Potencial de Temperatura Global (GTP)** (Shine et al., 2005). O **GTP** é baseado na razão entre a mudança da temperatura média global da superfície, em um determinado período de tempo (IPCC, 2013). Logo, o **GWP** avalia o potencial de aquecimento do planeta através das características da molécula e o **GTP** avalia o impacto da emissão de um GEE sobre as temperaturas médias globais da superfície em um ponto específico no tempo após sua emissão.

Somente a partir do AR5 do IPCC (2014) foram apresentados os valores oficiais para a métrica **GTP**. O IPCC afirma ainda que o **GTP** é mais adequado para políticas baseadas em metas de contenção do aquecimento global, enquanto o **GWP** não está diretamente relacionado a um limite de temperatura. Diante disso, a métrica de **GTP** seria a mais consistente para monitoramento de medidas que visam conter o aumento da temperatura média global abaixo de 2°C em relação aos níveis pré-industriais (IPCC, 2013).

Para ambos os índices o valor do CO_2 sempre será 1, entretanto, para outros demais gases a métrica varia muito de um índice para o outro, fazendo com que os gases não- CO_2 tenham um potencial de impacto climático diferente quando analisados em **GWP** ou **GTP** (IPCC, 2013).

O quadro a seguir mostra as equivalências para os GEE incluídos nas estimativas deste estudo em **GWP100** e **GTP100**. Por exemplo: 1 tonelada de metano (CH_4) corresponde a 28 toneladas de CO_2eq **GWP** ou 4 toneladas de CO_2eq **GTP**.

Tabela 2: Valores de potencial de aquecimento global (GWP) e potencial de temperatura global para o horizonte temporal de 100 anos.

GEE	GTP ₁₀₀	GWP ₁₀₀
CO ₂	1	1
CH ₄	4	28
N ₂ O	234	265

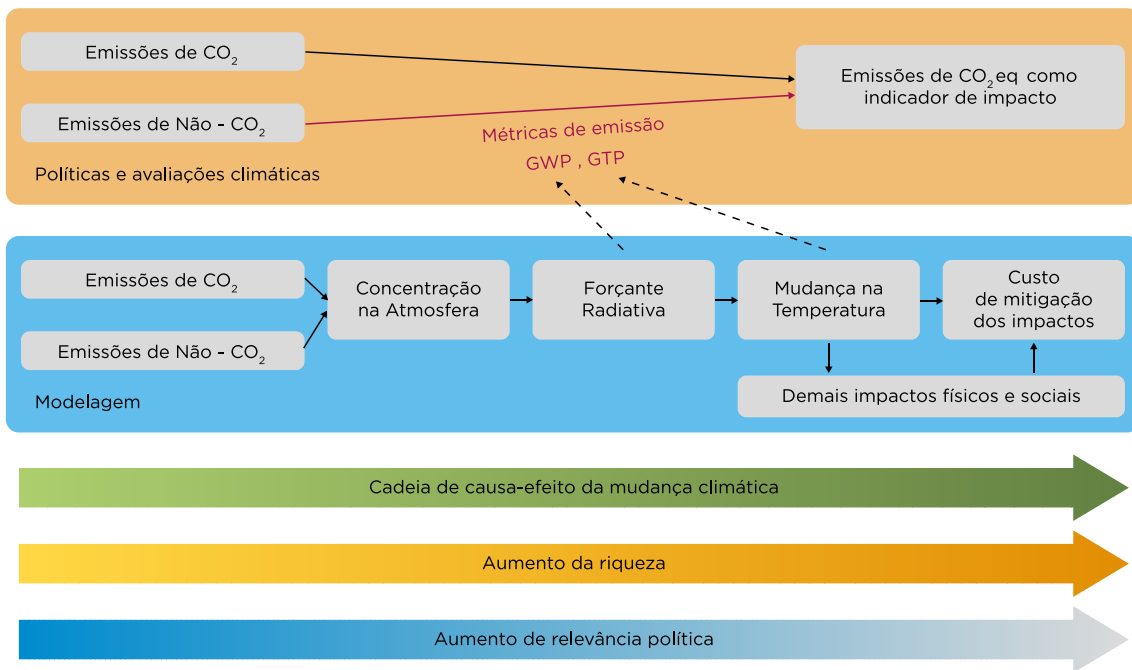
Fonte: IPCC, 2014.

Embora as duas métricas possam ser parecidas, elas diferem muito, principalmente nos gases considerados SLCP. A diferença entre os SLCP e LLCP implica diretamente sobre a forma como as emissões por eles geradas irão afetar o clima terrestre (Costa jr et al, 2021). A concentração atmosférica dos LLCP irá aumentar de forma cumulativa, podendo causar aquecimento por gerações. Já os SLCP exercem grandes impactos durante períodos de tempo menores. Além disso, se as taxas de emissão de SLCP permanecerem fixas, o gás atingirá uma concentração estável na atmosfera (Costa jr et al, 2021).

A **Figura 3** apresenta o *trade-off* entre níveis de incerteza e relevância política na cadeia causa-efeito da mudança climática, indicando que quanto mais próximo dos impactos físicos e sociais e custos de mitigação relacionados, maiores são as incertezas agregadas à métrica.

A figura também busca representar em qual ponto da cadeia de causa-efeito da mudança do clima as métricas se baseiam, indicando que são métodos que utilizam abordagem distintas de cálculo do processo de equivalência de emissões.

Além das diferentes abordagens métricas utilizadas no processo de cálculo de equivalências, variáveis físicas e sociais distintas influenciam os impactos e efeitos da mudança climática. Dessa forma, uso de emissões de CO₂eq como indicadores de impacto, apresentam um maior nível de incerteza ao mesmo tempo em que tem alta relevância política. Em contrapartida, diminuir a incerteza acarreta uma distorção da representatividade dos impactos e custos de mitigação, e conseqüentemente da importância política.



Fonte: Adaptação de Tanaka et al, 2020 e IPCC, 2014. Nota: Políticas e avaliações climáticas (área laranja a cinza) consideram as emissões de CO₂-eq como um indicador dos impactos climáticos, enquanto as abordagens de modelagem (área azul a cinza) apontam mais diretamente para o processo de mudança de temperatura e outros impactos físicos e sociais como um indicador dos impactos climáticos. Os blocos em cinza mostram fatores, tais como emissões e mudança de temperatura, ao longo da cadeia de causa-efeito da mudança climática da esquerda para a direita (barra verde-acinzentada), seguindo a Fig. 8.27 do IPCC AR5 (IPCC, 2013). Setas sólidas representam relações de causa-efeito entre tais fatores. A seta onde as métricas de emissão são aplicadas é destacada em vermelho. Se for usado GWP, a conversão de emissões não equivalentes a CO₂ para emissões equivalentes a CO₂ utiliza implicitamente valores da forçante radiativa, já o GTP se baseia-se em cálculos de temperatura (setas tracejadas). Já a seta em amarelo-vermelho indica que, quanto mais a direita, maior é a incerteza das métricas de representar os impactos reais e a seta azul-cinza indica que, ao mesmo tempo que aumenta a incerteza, aumenta o interesse de atuação das políticas. Para fins de clareza, apenas as relações de primeira ordem foram apresentadas. Os aspectos temporais e espaciais são suprimidos na figura.

Com isso pode-se perceber que tanto o **GWP** quanto o **GTP** buscam representar apenas um fator de toda a cadeia e por isso possuem fragilidades, principalmente por distorcer os efeitos climáticos de SLCPs (Fuglestvedt et al., 2003; Lauder et al., 2013), gases que apresentam alta eficiência radiativa e causam um impacto maior nas temperaturas globais de maneira mais imediata e um menor impacto após 20 ou 100 anos.

Estudos recentes mostram que para os SLCPs, como o metano, a métrica **GWP₁₀₀** não reflete adequadamente o efeito real desse do gás sobre a temperatura atmosférica (Allen et al, 2018; Lynch, et al, 2020). A estabilização da concentração de CH₄ na atmosfera resulta em um aquecimento adicional limitado e a redução nas emissões desse gás poderia reduzir o aquecimento atmosférico (Lesschen, 2021).

3.2 NOVAS MÉTRICAS: AR6 E GWP*

O IPCC lançou recentemente seu mais novo relatório: *Sixth Assessment Report, Climate Change 2021 (AR6)*. Assim como os relatórios anteriores, esse também traz revisões a respeito das

Figura 1: O uso de métricas de emissão de gases de efeito estufa nas políticas e avaliações climáticas e suas relações com as abordagens de modelagem

métricas, seja propondo novos valores, como propondo novas metodologias. Apesar de ainda não ter sido publicada sua versão oficial, documentos parciais já foram divulgados, como o “*Sixth Assessment Report, Climate Change 2021: The Physical Science Basis*” que traz novas análises e reflexões a respeito das métricas de padronização dos gases (IPCC, 2021).

Um ponto inédito do documento é em relação a proposição de diferentes métricas de conversão relacionadas a um mesmo gás, como por exemplo o metano, que pode ser proveniente de diferentes fontes de emissão. Nesse caso, o documento indica valores métricos de emissão ligeiramente mais altos para metano proveniente de combustíveis fósseis e mais baixos para os de fontes biogênicas, uma vez que a queima desses combustíveis acarreta um aporte adicional de CO₂ fóssil na atmosfera.

METANO BIOGÊNICO X METANO FÓSSIL

O metano atmosférico tem origem tanto em fontes não biogênicas como biogênicas. O CH₄ não biogênico inclui emissões provenientes da mineração e queima de combustíveis fósseis (gás natural, petróleo e carvão), queima de biomassa, tratamento de resíduos e fontes geológicas (CH₄ fóssil proveniente da infiltração de gás natural em bacias sedimentares e CH₄ geotérmico/vulcânico). Entretanto, as emissões de fontes biogênicas respondem por mais de 70% do total global. Essas fontes incluem zonas úmidas, agricultura de arroz, pecuária, aterros sanitários, florestas e oceanos. Alternativamente, as fontes de CH₄ podem ser divididas em antropogênicas e naturais. As fontes antropogênicas incluem a agricultura de arroz, pecuária, aterros sanitários e tratamento de resíduos e queima de combustíveis fósseis. O CH₄ natural é emitido de fontes como zonas úmidas, oceanos, florestas, fogo, cupins e fontes geológicas (IPCC, 2007).

Cada molécula de metano na atmosfera, de origem biogênica ou fóssil, tem o mesmo impacto climático, porém, a fonte de emissão determinará o quanto a molécula de CO₂ resultante contribui para o aquecimento global. As emissões derivadas da extração de combustíveis fósseis representam novas transferências de estoques de carbono geológicos de longo prazo para a atmosfera. Essa é uma transferência do ciclo geológico do carbono - o ciclo lento - para o ciclo biológico - o ciclo rápido (Costa Jr et al, 2021).

O metano fóssil, como o gás natural, é o carbono que ficou estocado no solo por milhões de anos e é extraído e queimado em residências e empresas. A emissão desse gás transfere diretamente para a atmosfera o carbono armazenado no solo (carbono geológico) na forma de CO₂. Esse carbono se acumula na atmosfera, contribuindo para as mudanças climáticas por centenas de anos. O metano fóssil, portanto, aumenta a quantidade total de carbono na atmosfera, o que impulsiona o aquecimento (Mitloehner, 2020).

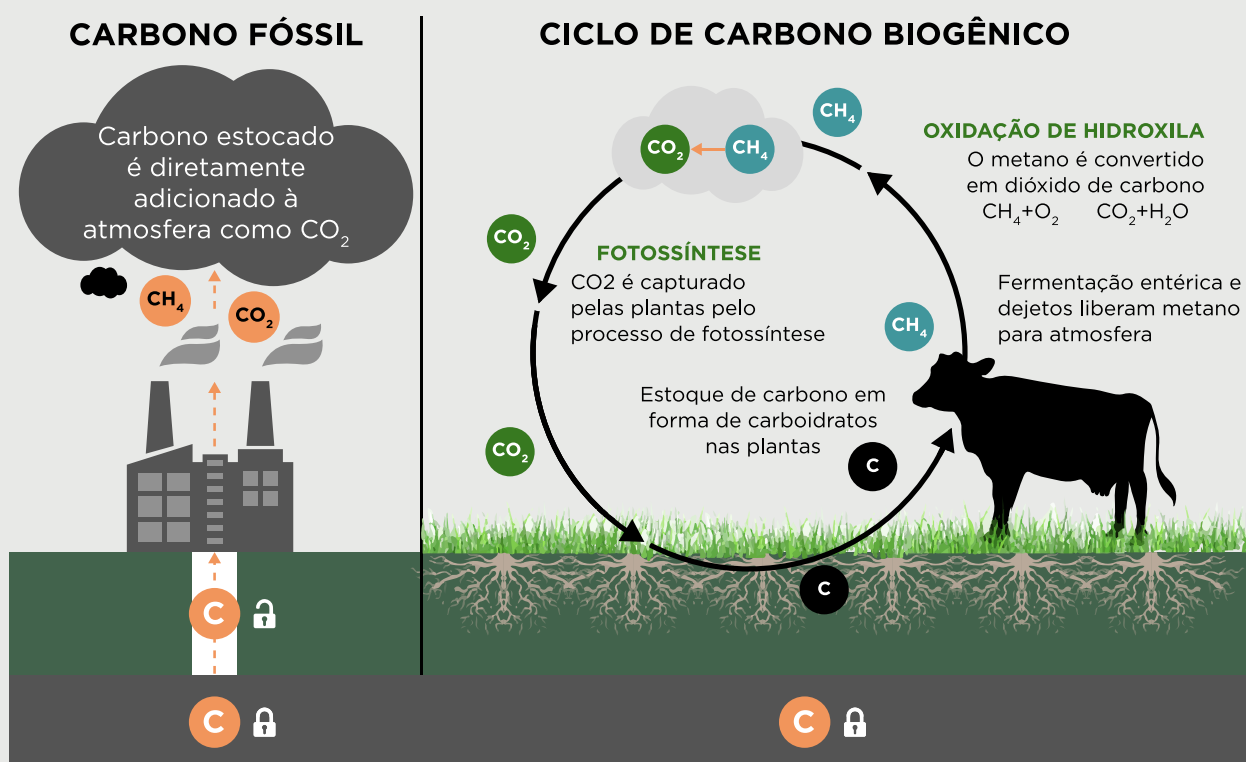
Para o metano biogênico, trata-se de carbono recentemente derivado do dióxido de carbono (CO₂) presente na atmosfera. Quando esse metano é emitido, causa um aquecimento

adicional, porém com o tempo, a molécula se decompõe e é convertida em CO_2 , sem aumentar a concentração desse gás a longo prazo, uma vez que faz parte do ciclo biológico do carbono entre a atmosfera e a biosfera.

Com o passar dos anos, parte desse carbono será incorporado aos estoques geológicos, como por exemplo, sedimentos oceânicos incorporados via placas tectônicas, um processo extremamente lento. Logo, a distinção entre essas duas fontes de emissões de CH_4 é importante pois a transferência de carbono do ciclo geológico para o biológico contribui de maneira significativa para as mudanças climáticas (Costa Jr et al, 2021).

A **Figura 4** a seguir representa graficamente de que maneira o carbono proveniente de fontes fósseis se diferencia do metano biogênico, que pertence ao ciclo do carbono biogênico. A imagem traz como referência as emissões provenientes da pecuária.

Figura 4. REPRESENTAÇÃO DA EMISSÃO DO CARBONO FÓSSIL EM COMPARAÇÃO AO CICLO DO CARBONO BIOGÊNICO.



Fonte: Adaptação de Mitloehner, 2020. Nota: o ciclo biogênico se inicia quando as plantas capturam dióxido de carbono da atmosfera como parte da fotossíntese e posteriormente servem como fonte de alimentação ao animal no pasto. Por serem ruminantes, o carbono ingerido se transforma em gás metano que é então expelido pelo boi. Este metano permanece por 12 anos na atmosfera e em seguida, sofre oxidação de hidroxila e se torna dióxido de carbono (CO_2) e vapor de água (H_2O). O CO_2 resultante é reciclado e retorna ao ciclo através da fotossíntese. Como parte do ciclo biogênico, o carbono originalmente utilizado pela planta é devolvido à atmosfera, não contribuindo com ganho líquido de CO_2 (Mitloehner, 2020).

Figura 4: Representação da emissão do carbono fóssil em comparação ao ciclo do carbono biogênico.

Como um gás SLCP, o metano presente há cerca de uma década na atmosfera está sendo destruído à medida que novas moléculas do gás são adicionadas. Seu impacto no aquecimento não é determinado por quanto está sendo emitido, já que é convertido com relativa rapidez, mas pela variação do metano emitido ao longo de um período de tempo. Se um rebanho emite a mesma quantidade de metano ao longo de 12 anos, contribui para o aquecimento apenas nesse período. Posteriormente, a quantidade que está sendo emitida é igual à que está sendo convertida pelo processo de oxidação. Conseqüentemente, o aquecimento é neutro se as emissões de metano permanecerem constantes, no caso de redução das emissões do rebanho, há um efeito de redução do aquecimento (Mitloehner, 2020).

Tendo em vista os diferentes ciclos, o relatório parcial do IPCC de 2021 (AR6) sugere valores diferentes para métrica **GWP** relacionadas ao metano fóssil e biogênico, números que serão oficializados após a divulgação do relatório final que deve ocorrer no segundo semestre de 2022. No entanto, apesar da distinção entre as fontes de emissões, a metodologia **GWP** continuará a apresentar restrições com relação à representação da dinâmica dos SLCP.

► **GLOBAL WARMING POTENTIAL STAR (GWP*)**

Visando superar as dificuldades apresentadas, uma métrica alternativa, denominada **GWP*** (Allen et al, 2018), foi desenvolvida para GEE de curta duração. Essa métrica não é baseada na emissão anual, mas sim na variação das emissões ao longo do tempo (Lynch, et al, 2020) e tem grandes implicações sobre a trajetória das emissões da pecuária, que derivam predominantemente do gás metano.

O **GWP*** considera os impactos em diferentes momentos da permanência do gás na atmosfera, multiplicando o acúmulo de CO₂ emitido no período pela resposta climática transitória às emissões cumulativas de dióxido de carbono, sendo esta a razão da variação da temperatura média global da superfície por unidade de dióxido de carbono (CO₂) emitido. Essa equação pode ser adaptada para todos os SLCPs de acordo com a seguinte fórmula (Smith et al., 2021):

$$ECO_2we = 4,53 \times E100(t) - 4,25 \times E100(t-20) \quad (1)$$

Em que **E100** corresponde às emissões CO₂eq calculadas sob a métrica **GWP₁₀₀**. Esse valor é necessário para determinar as taxas atuais de emissão, **E100(t)**, bem como as de 20 anos atrás, **E100(t-20)**.

A métrica **GWP*** reporta as emissões em termos *warming-equivalents*, ou seja, o resultado é dado em forma de impactos de aquecimento semelhantes, sem exigir uma ponderação equivalente por emissão. Portanto, o **GWP*** possibilita o cálculo direto das emissões *warming-equivalents*.

Se houver uma grande diferença entre essas duas taxas de emissão, o resultado de **ECO₂we** será alto, enfatizando que o impacto das mudanças nas taxas de emissão será rápido e significativo. Para emissões constantes, o **GWP*** estima um efeito climático menor:

$$ECO_{2we} = (4,53 - 4,25) = 0,28 \times GWP_{100} \quad (2)$$

Quando os GEE são agregados usando métricas padrão como **GWP** ou **GTP**, as emissões cumulativas de CO₂eq não são necessariamente proporcionais aos futuros resultados da temperatura global da superfície. Alguns autores já afirmam que o cálculo **GWP*** permite capturar melhor a remoção constante de emissões de metano passadas da atmosfera ao distinguir o comportamento não cumulativo dos SLCPs (Costa Jr et al, 2021).

Os principais debates em torno do **GWP*** estão relacionados ao CH₄. O **GWP*** apresenta-se como uma ferramenta útil para entender melhor o impacto que a redução das emissões de metano pode ter - a rápida redução de suas emissões pode contribuir para que haja um efeito de aquecimento global reduzido. Especificamente, o **GWP*** se mostra útil quando as emissões de metano estão estáveis ou em declínio, a métrica gera implicações importantes sobre como as metas de “*Net Zero*” ou “Neutralidade Climática” são consideradas para setores que emitem diferentes composições de gases (Lynch, et al, 2020).

4. ENTENDENDO O USO DAS MÉTRICAS: O CASO DA PECUÁRIA BRASILEIRA

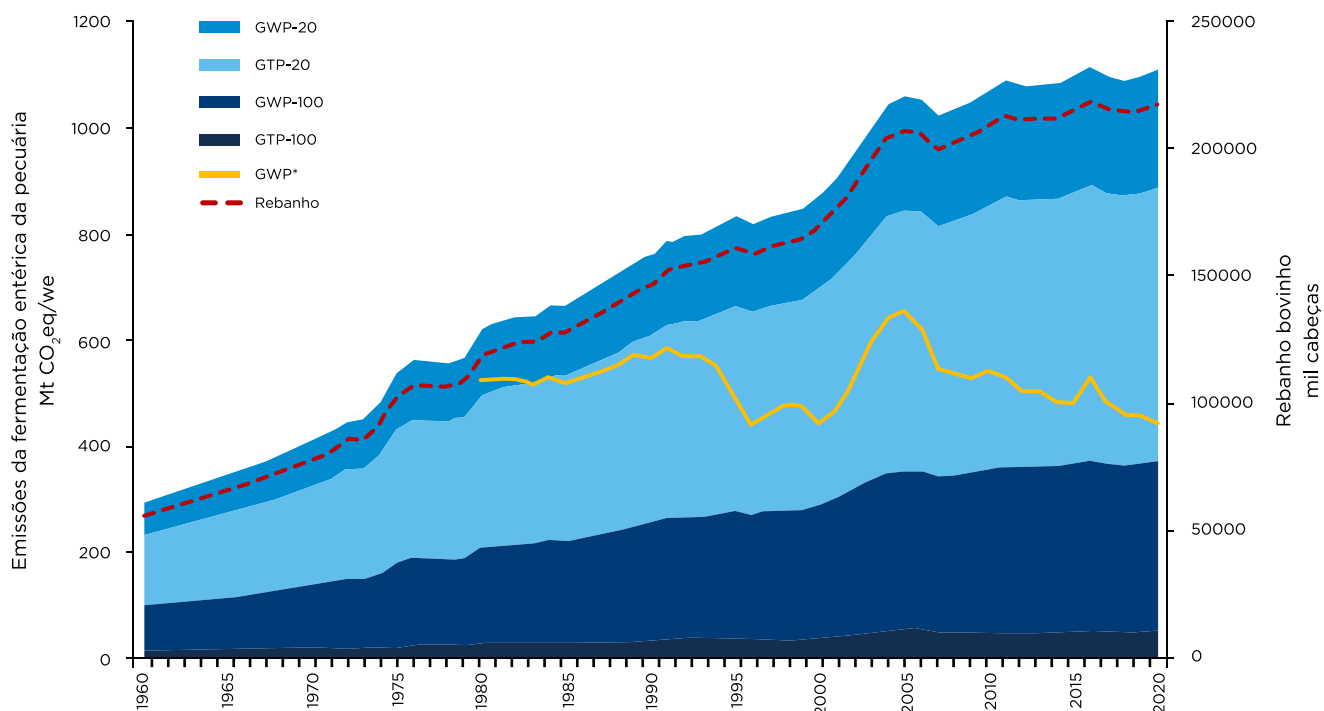
Primeiramente, é preciso deixar claro que atualmente a ciência das mudanças climáticas já possui bem estabelecido o modo como os diferentes gases de efeito estufa contribuem para as mudanças climáticas e que esse efeito é independente da métrica utilizada.

Uma vez que o uso dessas métricas de conversão é amplamente utilizado em diferentes setores, como por exemplo, indústria e agricultura, bem como para definição de políticas agroambientais, muitas vezes a métrica é confundida como uma medida de impacto do GEE no clima, ao invés de ser diretamente interpretada como um número capaz de balizar decisões (Costa Jr. et al 2021). Assim, qualquer assimetria de informação ou distorção do uso e interpretação das métricas de conversão podem induzir *policy makers* e setores inteiros a estratégias equivocadas.

Para colocar isso em perspectiva, foram comparadas aqui as diversas métricas em relação a **GWP₁₀₀** e **GWP*** em diferentes cenários de emissões para a pecuária brasileira. Conforme apresentado anteriormente, a métrica **GWP*** tem o objetivo de corrigir distorções na utilização ampla da métrica **GWP₁₀₀** e, portanto, melhor refletir o impacto do metano nas mudanças do clima (Costa Jr. et al 2021).

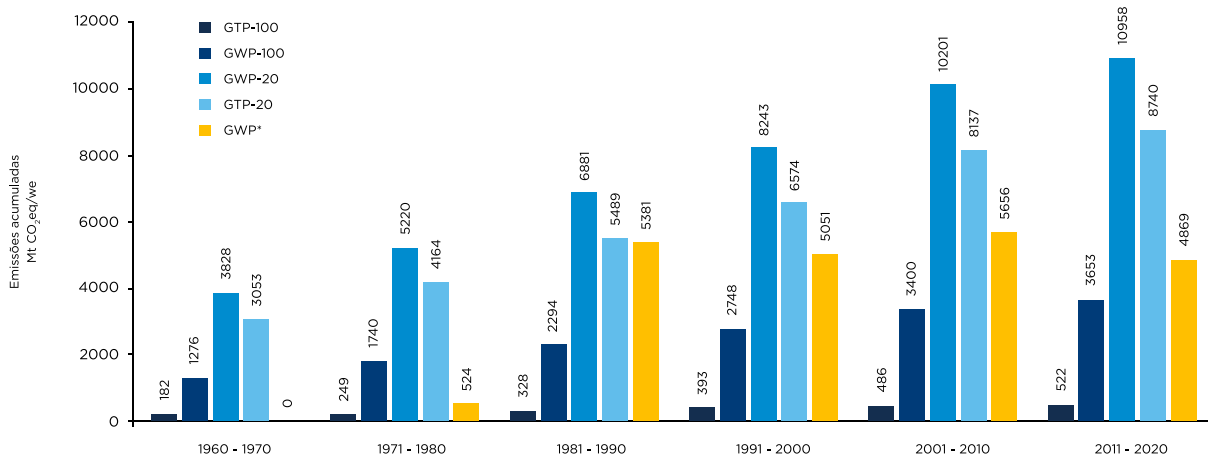
O **Gráfico 7** mostra como o uso de diferentes métricas pode alterar o entendimento a respeito das emissões de CH₄ na atividade de pecuária no Brasil e sua contribuição para as emissões globais de metano. Considerando o ano de 2020, as emissões de CH₄ sob a métrica **GWP₁₀₀** - amplamente utilizada no cenário internacional e referência nos inventários de emissões do Brasil - foi de cerca de 371 Mt CO₂eq. Contudo, o efeito climático das emissões de metano pode ser 86% menor (53 Mt CO₂eq considerando a GTP₁₀₀) ou 200% maior (1.113 Mt CO₂eq considerando a GWP₂₀) em relação à métrica GWP₁₀₀. Quando se considera a métrica **GWP*** o efeito climático é 20% maior - 444 Mt CO₂we (*warming equivalent*).

Figura 7: Emissões de metano da fermentação entérica dos bovinos sob diferentes métricas de conversão para CO₂EQ



Esse resultado é similar quando se considera as emissões acumuladas a cada 10 anos, conforme o **Gráfico 8**. Sob a métrica **GWP***, o efeito acumulado de aquecimento do metano entre 2011-2020 é 33% maior que a métrica de referência **GWP₁₀₀**.

Gráfico 8: Emissões acumuladas de metano da fermentação entérica dos bovinos sob diferentes métricas de conversão para CO₂EQ



Nota: o nível das emissões sob a métrica GWP* é determinado somente a partir de 1980 devido sua definição, pois considera as emissões passadas. Assim não há valor para o período de 1960-1970 e, para o período de 1971-1980 somente o valor de 1980 é considerado.

A mesma ideia pode ser aplicada em cenários futuros de emissões de metano da pecuária brasileira. São analisados três cenários que reproduzem três diferentes trajetórias de crescimento do rebanho bovino no Brasil²⁰.

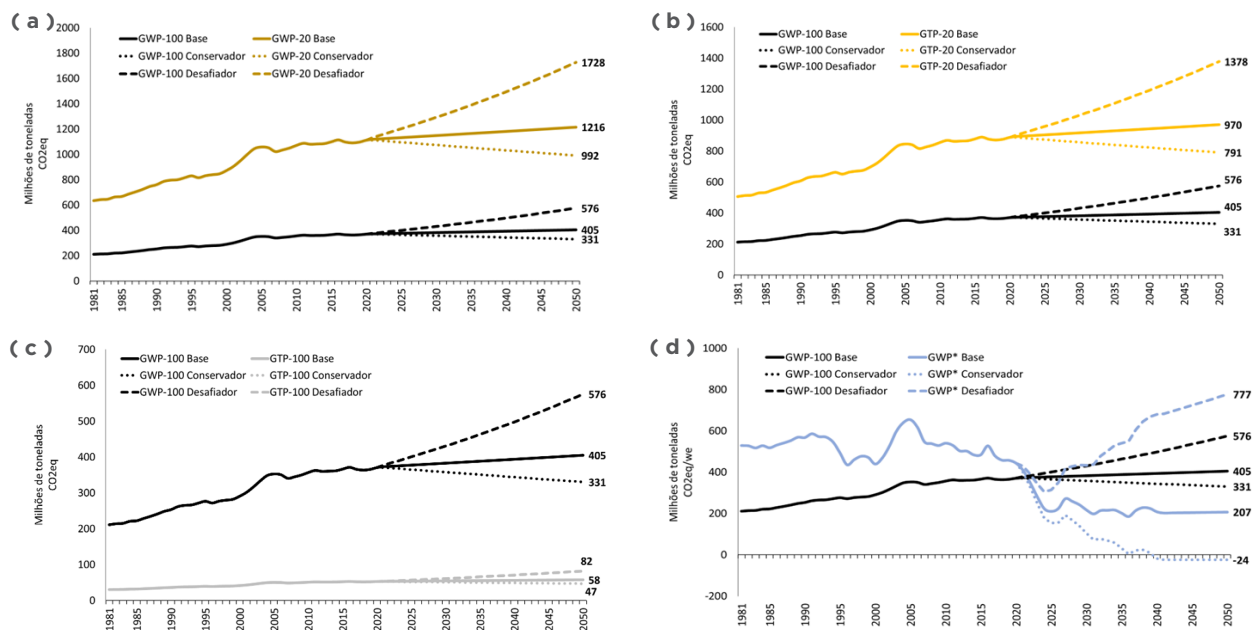
No cenário de referência (**base**) considera-se um crescimento estável do rebanho (**+0,33% a.a.**) conforme observado na última década (ASSAD et al, 2022). Já no cenário “**desafiador**” considera-se uma aceleração do crescimento do rebanho a taxa de **1,5% a.a.** representando um aumento dos desafios enfrentados pelo setor para reduzir suas emissões de GEE. Por fim, no cenário chamado “**conservador**” considera-se uma redução no tempo de abate dos animais o que implicaria uma desaceleração do crescimento do rebanho à taxa de **-0,35% a.a.**. Esse cenário representa uma possível estratégia de adaptação do setor através da adoção de tecnologias que promovem ganhos de produtividade animal. Naturalmente, todos os cenários de crescimento do rebanho impactam diretamente as emissões de metano.

Quando diferentes trajetórias são levadas em consideração os resultados são bastante heterogêneos, como pode ser observado no **Gráfico 9**.

As métricas **GWP₂₀** e **GTP₂₀** produzem trajetórias onde as emissões de metano podem variar entre 992 a 1.728 Mt CO₂eq (GWP₂₀) e 791 a 1.358 Mt CO₂eq (GTP₂₀) em 2050 (Gráfico 9, painéis a e b, respectivamente). Aqui fica claro que o esforço de mitigação de políticas setoriais é amplificado sob as métricas **GWP₂₀** e **GTP₂₀** quando comparado com a tradicional métrica **GWP₁₀₀**.

²⁰ Os cenários construídos neste relatório levam em consideração o histórico de produtividade do setor, bem como o crescimento do rebanho. Não há restrições de tecnologia ou da ordem econômica em cada cenário, uma vez que o objetivo é somente evidenciar como as métricas de conversão de metano em CO₂eq ou CO₂we influenciam os resultados em distintas trajetórias de crescimento setorial. As condições tecnológicas e econômicas que podem exacerbar ou restringir os cenários estão em fase de construção e serão apresentados nos próximos produtos do Observatório de Bioeconomia.

Gráfico 9: Trajetórias de emissões da fermentação entérica da pecuária sob as métricas GWP₁₀₀, GWP₂₀, GTP₂₀ e GWP*



Sob a métrica **GWP₁₀₀** as emissões de CO₂eq podem variar entre 331 a 576 Mt CO₂eq - o que equivale a apenas 32% e 41% dos níveis de emissões das métricas **GWP₂₀** e **GTP₂₀** no cenário **desafiador**, respectivamente.

Quando a métrica **GWP*** é considerada (Gráfico 9, painel d), os cenários de emissões da pecuária mudam drasticamente. No cenário **base**, somente seguindo sua tendência histórica de crescimento, a pecuária retornaria suas emissões aos níveis dos anos iniciais da década de 1980 - cerca de 220 Mt CO₂eq permanecendo nesse patamar até 2050. Esse resultado representa um corte de 1,25% a.a. nas emissões de CH₄ sob a métrica **GWP***. No mesmo cenário, a métrica **GWP₁₀₀** sugere emissões de 405 Mt CO₂eq em 2050, um potencial de aquecimento 1,95 vezes superior ao indicado pela métrica **GWP*** em 2050 no mesmo cenário.

No cenário **conservador**, em que se considera uma redução do tempo de abate do rebanho durante o período de 2021 até 2050, o setor poderia ser neutro em relação ao aquecimento provocado pelas emissões de metano até 2040, ou seja, a pecuária não teria implicações na variação de temperatura adicional do clima. Em 2020, a fermentação entérica correspondeu a 91% das emissões de metano do setor agropecuário, considerando todas as demais emissões constantes, inclusive o uso da terra e outras emissões indiretas, a fermentação entérica reduziria sua participação para apenas 2% do total das emissões de metano do setor agropecuário. Uma redução de 97% na sua contribuição direta para variações de aquecimento do clima.

Em comparação, os resultados sob a métrica **GWP₁₀₀** sugerem menores reduções das emissões. No cenário **conservador** as emissões em 2050 chegariam em 331 Mt CO₂eq o que representa uma redução de apenas 0,39% a.a. o que equivale a 41 Mt CO₂eq a menos em relação aos níveis de 2020.

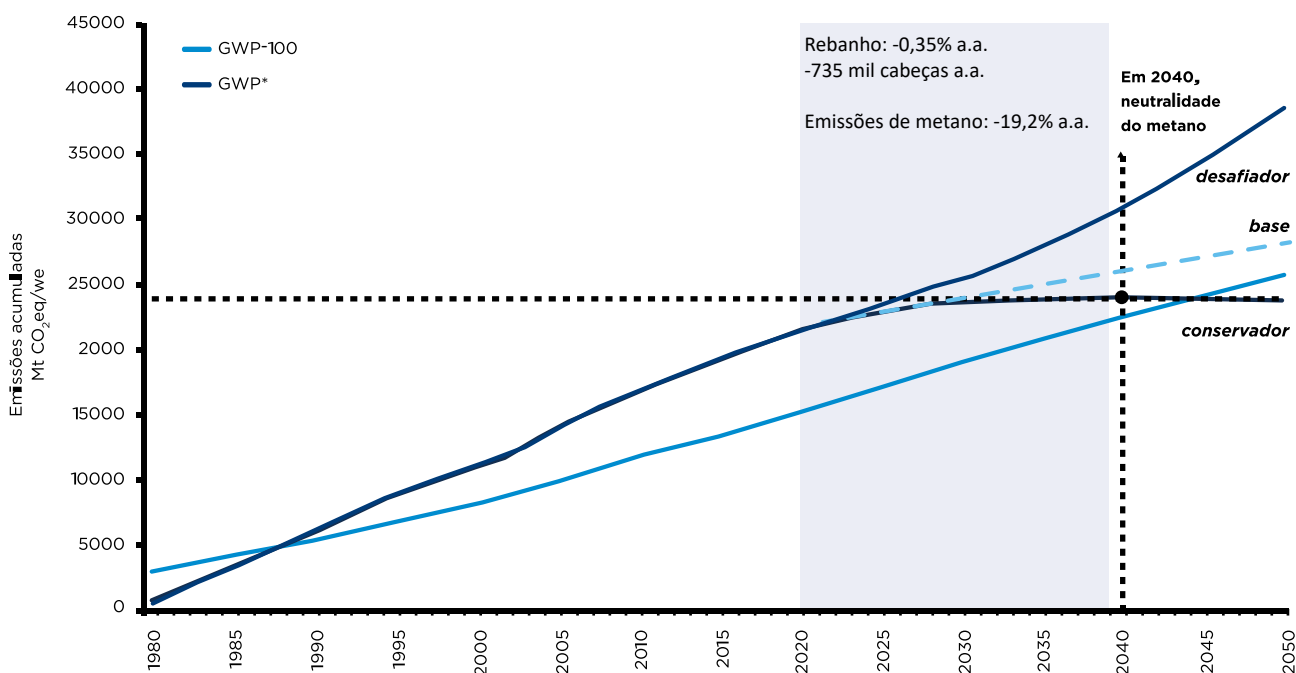
A métrica **GWP*** mostra que o efeito de curto prazo do metano é maior do que na métrica **GWP₁₀₀**, mas menor no longo prazo. O **GWP₁₀₀** pode, portanto, ser considerado como um compromisso entre os impactos de curto e longo prazo (Lesschen, 2021). Além disso, o uso do **GWP*** mostra que uma redução das emissões de metano poderia ser responsável por um efeito de redução do aquecimento, em contrapartida, um aumento dessas emissões causaria uma contribuição proporcionalmente maior para o aquecimento global, quando comparado com o **GWP₁₀₀** como será apresentado a seguir.

Existem diferenças significativas entre as métricas **GWP₁₀₀** e **GWP*** em cenários futuros em que há maiores desafios para mitigação e adaptação às mudanças climáticas. No cenário **desafiador**, onde considera-se um crescimento do rebanho, as emissões em 2050 sob a métrica **GWP*** atingiriam 777 Mt CO₂we sugerindo uma contribuição da pecuária para o aquecimento global 1,34 vezes maior em relação ao cenário **desafiador** na métrica **GWP₁₀₀** (576 Mt CO₂eq).

No cenário **desafiador** haveria uma escalada das emissões de aproximadamente 3,18% a.a. (**GWP***) aumentando significativamente o potencial de contribuição da pecuária para a temperatura global. O aumento das emissões seria de 334 Mt CO₂we a mais em relação aos níveis de 2020. No mesmo cenário, a métrica **GWP₁₀₀** sugere que o nível de emissões aumentaria em 198 Mt CO₂eq em relação aos níveis de 2020, o que equivale a um crescimento de 1,45% a.a. das emissões de CH₄.

Um importante ponto para discussão é que a pecuária brasileira pode atingir a neutralidade climática no longo prazo sob a métrica **GWP***. O **Gráfico 10** coloca as emissões acumuladas no contexto da discussão da métrica **GWP*** em comparação com a métrica **GWP₁₀₀**. A neutralidade do metano é alcançada quando as atividades da pecuária não adicionam mais emissões de carbono às emissões totais. Nos cenários analisados a neutralidade seria atingida somente no cenário **conservador**, isso significa dizer que a pecuária contribuiria para o aquecimento global até meados do século, porém ao atingir a neutralidade do metano e manter as emissões nesse nível deixaria de contribuir para o aquecimento global.

Gráfico 10: Emissões acumuladas da pecuária em diferentes cenários na métrica GWP* e cenário base para GWP₁₀₀



Nota: o gráfico apresenta as emissões acumuladas de CO₂eq cenário base para a métrica GWP₁₀₀ e as emissões acumuladas de CO₂we cenários base, desafiador e conservador para a métrica GWP*. A neutralidade do metano é atingida somente no cenário conservador (GWP*).

Quadro 1: Cenários analisados para a produção da pecuária atingir neutralidade de carbono em 2040 relativo ao ano base de 2020

	2020	2030	2040	2050	Δ% 2020/ 2050
Cenário conservador					
Tamanho do rebanho (mil cabeças)	218.150	210.647	203.402	196.406	-10,0%
Emissão FE CH ₄ (Mt)	13,3	12,8	12,3	11,8	-10,9%
Emissão CO ₂ eq GWP ₁₀₀ (Mt)	371	358	344	331	-10,9%
Emissão CO ₂ we GWP* (Mt)	444	103	-18	-24	-105,5%
Cenário base					
Tamanho do rebanho (mil cabeças)	218.150	225.471	233.037	240.857	10,4%
Emissão FE CH ₄ (Mt)	13,3	13,7	14,1	14,5	9,2%
Emissão CO ₂ eq GWP ₁₀₀ (Mt)	371	383	394	405	9,2%
Emissão CO ₂ we GWP* (Mt)	444	218	209	207	-53,3%
Cenário desafiador					
Tamanho do rebanho (mil cabeças)	218.150	253.454	294.472	342.127	56,8%
Emissão FE CH ₄ (Mt)	13,3	15,4	17,8	20,6	55,2%
Emissão CO ₂ eq GWP ₁₀₀ (Mt)	371	431	498	576	55,2%
Emissão CO ₂ we GWP* (Mt)	444	433	679	777	75,2%

Nota Quadro 1: as emissões de CO₂eq são determinadas pela métrica GWP₁₀₀ com potencial de aquecimento de 28 para o CH₄; e as emissões CO₂we pela métrica GWP* segundo Smith et al (2021). FE: fermentação entérica.

Os resultados apresentados nesses cenários exemplificam quais seriam as consequências da representação e conversão do metano para carbono equivalente usando diferentes métricas, como a **GWP*** e **GWP₁₀₀**. Ampliando a análise para a quantidade de cabeças abatidas e volume de carne bovina produzida pode-se ter uma segunda dimensão de como essas métricas podem distorcer a determinação da pegada de carbono do setor (*carbon footprint*).

O **Quadro 2** apresenta os dados da Pesquisa Trimestral do Abate²¹ para diferentes períodos desde 1997 até 2020. Os dados indicam um crescimento estável da produção de carne por animal, atingindo cerca de 245,1 Kg/cabeça na última década. Consequentemente, esses dados se refletem na pegada de carbono sob ambas as métricas - **GWP*** e **GWP₁₀₀**.

Quadro 2: Pegada de carbono da produção de carne no Brasil sob as métricas GWP* e GWP₁₀₀

	Unidade	1997-2000	2001-2010	2011-2020
Animais abatidos	mil cabeças	63.665	261.099	313.859
Produção de carne	milhões t de carne	14.439	60.455	76.932
Produção por animal	kg / cabeça	226,8	231,5	245,1
GWP ₁₀₀	tCO ₂ eq/cabeça	1,72	1,71	1,70
GWP*	tCO ₂ we/cabeça	2,80	2,84	2,27
GWP ₁₀₀	kg CO ₂ eq/kg carne	7,6	7,4	7,0
GWP*	kg CO ₂ we/kg carne	12,4	12,3	9,3

Nota: as emissões de CO₂eq são determinadas pela métrica GWP100 com potencial de aquecimento de 28 para o CH₄; e as emissões CO₂we pela métrica GWP* segundo Smith et al (2021). FE: fermentação entérica.

A pegada de carbono indica a contribuição potencial de cada animal ou volume de carne produzido para o aquecimento global. Os dados indicam uma contribuição estável em cerca de 1,7 tCO₂eq/cabeça (**GWP100**), já sob a métrica **GWP***, o potencial de cada animal para o aquecimento do clima aumenta em média 1,54 vezes, gerando cerca de 2,8 tCO₂we/cabeça no período 1997-2000, já entre 2011-2020 esse valor chega a 2,27 tCO₂we/cabeça. Embora o potencial de contribuição da métrica **GWP*** seja maior, esse valor diminuiu consideravelmente (19%) no período entre 1997-2000 e 2011-2020, ou seja, em períodos maiores de tempo a métrica **GWP*** reduz a contribuição de cada animal no aquecimento do clima.

O mesmo padrão pode ser observado para a pegada de carbono no volume de carne produzida. Segundo a métrica **GWP100** cada kg de carne gera cerca de 7,3 kg de CO₂eq. Esse valor diminuiu cerca de 8,1% entre 1997-2000 e 2011-2020, indicando uma melhora na

²¹ Disponível em <https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/abate/tabelas>

pegada de carbono da produção de carne, ou seja, com as emissões de metano estáveis e aumento da produtividade por animal, naturalmente, espera-se uma redução da relação kg CO₂eq/kg de carne.

Da mesma forma, a métrica **GWP*** aumenta a pegada de carbono da produção de carne para 12,4 kg CO₂we/kg de carne em 1997-2000 e 9,3 kg CO₂we/kg de carne para 2011-2020. Entretanto, a pegada de carbono reduz 25% entre esses mesmos períodos, ou seja, a métrica **GWP*** no longo prazo, associado a mitigação de CH₄, reduz consideravelmente a pegada de carbono da produção de carne no Brasil. Associando esses resultados com os apresentados anteriormente, a pegada de carbono da produção de carne no Brasil poderia atingir a neutralidade em um cenário de redução das emissões (**GWP*** - cenário **conservador**) e ganhos de produtividade do setor.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A atividade pecuária tem um papel fundamental para mitigar as emissões de metano - principal GEE emitido pela atividade - e ter uma reversão do seu papel nos debates sobre mudanças climáticas. Nesse sentido, diversas alternativas já estão disponíveis para o setor, - como práticas e tecnologias de baixo carbono - e podem contribuir para acelerar o processo de mitigação do metano e, muitas delas, entregam benefícios paralelos que precisam ser levados em consideração.

A mitigação das emissões de metano pode ser obtida pela adoção de melhores práticas do manejo de dejetos ou pela adoção de biodigestores (Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI), 2020). Da mesma forma, o aumento da qualidade da dieta e saúde animal pode contribuir para o ganho de peso vivo (MCTI, 2020), redução do tempo de abate e, conseqüentemente, redução do tamanho do rebanho. Essas práticas e tecnologias mostram que é possível reverter o papel da pecuária nas mudanças climáticas.

Pelo lado da definição de políticas de mitigação e adaptação, o **Programa Nacional de Redução de Emissões de Metano - Metano Zero** é um passo importante para o atingimento da neutralidade das emissões de metano. Entretanto, o programa precisa obrigatoriamente incluir a atividade de pecuária em seu escopo e ser alimentado com metas e objetivos e, principalmente, metodologias setoriais para clarificar uma melhor regulamentação das emissões do setor e sua implementação.

As implicações das diferentes métricas apresentadas nesse relatório são significativas para amplificar o entendimento da importância relativa do metano no cenário climático nacional e internacional, ainda que as implicações sobre políticas agroambientais sejam modestas. A discussão da métrica vai além de reforçar a atenção às emissões de metano, sobretudo, as novas metodologias mostram que quaisquer ações de mitigação podem entregar resultados significativos em termos de emissões, acelerando assim o atingimento das metas propostas até 2030. Assim como em outras métricas, é possível o atingimento da neutralidade climática das emissões do metano, porém as ações de mitigação são urgentes. Dado o crescimento estável do setor de pecuária no Brasil e, portanto, das emissões de CH₄, os desafios para atingir a neutralidade ainda são consideravelmente grandes.

Novas métricas, como o GWP*, permitem a avaliação de como a trajetória de emissões contribui para a mudança global de temperatura, algo que não pode ser derivado em métricas tradicionais como a GWP100, por exemplo (Lesschen, 2021). O uso da métrica GWP* reforça a importância e os benefícios associados de ações que promovem a mitigação das emissões de metano no curto e curtíssimo prazo. Mesmo em um cenário estável de emissões, o potencial de contribuição da pecuária para a redução do aquecimento global se reduz consideravelmente. Por outro lado, um cenário com modestas reduções das emissões pode entregar um grande benefício em termos de contenção das mudanças climáticas, aumentando a contribuição do setor para retardar os efeitos do aquecimento do planeta.

Com o Pacto do Metano, por exemplo, pode fazer sentido avaliar a meta usando a métrica GWP*. Dessa forma, seria possível compreender melhor o horizonte temporal em que a redução aconteceria, bem como o impacto relativo dos esforços em redução de emissões de metano comparado aos esforços na redução de emissões de GEE de longa duração.

Um ponto a se considerar é que o GWP* baseia-se na mudança das emissões ao longo de um determinado período, o que implica que os níveis de emissão atuais e históricos devem ser conhecidos. Esse ponto abre a discussão sobre a utilização dessa métrica em nível nacional para NDCs ou para relatórios de emissões de GEE em nível de produção. Um exemplo prático dessa discussão é que a contribuição para o aquecimento global causada pelo aumento histórico da produção de pecuária nos países desenvolvidos permaneceria não contabilizada em suas NDCs.

Por fim, o IPCC indica que as métricas não são responsáveis por definir políticas e metas gerais, mas sim, facilitar a avaliação e a implementação de políticas de multigases para atender a metas específicas. Todas as escolhas de métricas contêm julgamentos relacionados a valores implícitos: tanto o GWP, GTP e GWP* possuem limitações relacionadas à comparação de efeitos diretos e indiretos das emissões de GEE. Não há recomendação específica relacionada a escolha das métricas de equivalência de emissões, pois a mais apropriada depende do objetivo e do contexto político, e sua escolha depende de quais aspectos das mudanças climáticas são considerados mais importantes em um determinado horizonte de tempo. Portanto, o IPCC indica que a escolha da métrica ideal é uma questão voltada para os formuladores de políticas, para que decidam qual a mais aplicável às suas necessidades.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALLEGUE, L. Bailón; HINGE, Jørgen; ALLÉ, Kongsvang. Biogas and bio-syngas upgrading. **Danish Technological Institute**, p. 5-97, 2012.

ALLEN, Myles R. et al. New use of global warming potentials to compare cumulative and short-lived climate pollutants. **Nature Climate Change**, v. 6, n. 8, p. 773-776, 2016.

ALLEN, M.R., SHINE, K.P., FUGLESTVEDT, J.S., MILLAR, R.J., CAIN, M., FRAME, D.J. and MACEY, A.H. A solution to the misrepresentations of CO₂-equivalent emissions of short-lived climate pollutants under ambitious mitigation. **Npj Climate and Atmospheric Science**, 1(1), pp.1-8. 2018.

AMBRIZZI, T., ARAÚJO, M. "Base científica das mudanças climáticas." Contribuição do Grupo de Trabalho 1. 2014.

ASSAD, E. D. et al. (2022). Potencial de Mitigação de Gases de Efeito Estufa das Ações de Descarbonização da Pecuária até 2030. Observatório de Conhecimento e Inovação em Bioeconomia, Fundação Getúlio Vargas - FGV-EESP, São Paulo, SP, Brasil. <https://eesp.fgv.br/centros/observatorios/bioeconomia>

BRASIL. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação – MCTI, 2016. Sirene - Sistema de Registro Nacional de Emissões. Disponível em: www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/sirene. Acesso em: 18 abr. 2022.

CAIN, M., M. ALLEN, & J. LYNCH. 2019. Net zero for agriculture. Disponível em: <https://www.oxfordmartin.ox.ac.uk/publications/net-zero-for-agriculture/>. Acesso em: 11 abr. 2022.

CAIN, M., LYNCH, J., ALLEN, M.R., FUGLESTVEDT, J.S., FRAME, D.J. and MACEY, A.H. Improved calculation of warming-equivalent emissions for short-lived climate pollutants. **NPJ climate and atmospheric science**, 2(1), pp.1-7. 2019.

CENTRO DE ESTUDOS AVANÇADOS EM ECONOMIA APLICADA (CEPEA/ESALQ-USP). PIB AGRO. Disponível em: <http://cepea.esalq.usp.br/pib/>. Acesso em: mar. 2022.

CHANG-KE, W; XIN-ZHENG, L; HUA, Z. Share differences of greenhouse gas emissions calculated with GTP and GWP for major countries. **Advances in Climate Change Research**, v. 4, n. 2, p. 127-132, 2013.

CLIMATE WATCH. Washington, D.C.: World Resources Institute. Disponível em: www.climatewatchdata.org. Acesso em: abril de 2022.

COSTA Jr. C, WIRONEN M, RACETTE K, Wollenberg, E. Global Warming Potential* (GWP*): Understanding the implications for mitigating methane emissions in agriculture. **CCAFS Info Note**. Wageningen, The Netherlands: CGIAR Research Program on Climate Change, Agriculture and Food Security (CCAFS). 2021.

ENRIGHT, N. What the *? Should we be enticed by GWP*?. **Sustain Success**. 16 ago. 2021.

Disponível em: <https://www.sustainsuccess.co.uk/what-the-should-we-be-enticed-by-gwp>. Acesso em: 13 abr. 2022.

FORSTER, P., et al. Changes in atmospheric constituents and in radiative forcing. Chapter 2. In *Climate change 2007. The physical science basis*. 2007.

FUGLESTVEDT J.S., BERNTSEN T.K., GODAL O., et al. Metrics of Climate Change: Assessing Radiative Forcing and Emission Indices. *Climatic Change* 58:267–331. 2003.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY - IEA (2022), *Global Methane Tracker 2022*, IEA, Paris www.iea.org/reports/global-methane-tracker-2022.

IPCC, 2013: *Resumo para Decisores*. In: *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribuição do Grupo de Trabalho I para o Quinto Relatório de Avaliação do Painel Intergovernamental sobre Alterações Climáticas* [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido e Nova Iorque, NI, EUA.

IPCC, 2014: *Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 151 pp.

IPCC, 2021: *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S.L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M.I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T.K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu, and B. Zhou (eds.)]. Cambridge University Press. In Press.

IPEA - INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA. IPEA - INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA. Carta de conjuntura n. 55. Nota de Conjuntura 14 – 2 ° trimestre de 2022. Brasília. 2022.

LAUDER, A.R., ENTING I.G., CARTER J.O., et al. Offsetting methane emissions—an alternative to emission equivalence metrics. *International Journal of Greenhouse Gas Control*. 12:419–429. 2013.

LESSCHEN, J.P. Consequences of an alternative emission metric. *Nature Food*, 2(12), pp.918–919, 2021.

LYNCH, J., CAIN, M., PIERREHUMBERT, R. and ALLEN, M. Demonstrating GWP*: a means of reporting warming-equivalent emissions that captures the contrasting impacts of short-and long-lived climate pollutants. *Environmental Research Letters*, 15(4), p.044023. 2020.

MACEDO, M.C.M.; ZIMMER, A.H. Sistemas pasto-lavoura e seus efeitos na produtividade agropecuária. In: FAVORETTO, V.; RODRIGUES, L.R.A.; REIS, R.A. (Eds.) *Simpósio Sobre Ecossistemas das Pastagens*, 2, 1993. Jaboticabal. Anais... Jaboticabal: FUNEP: UNESP, 1993, p.216-245.

MACHADO, P.L.O.A. Carbono do solo e a mitigação da mudança climática global. *Embrapa Solos. Quim. Nova*, Vol. 28, No. 2, 329-334, 2005.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO MAPA. Agrostat. Brasília: MAPA, 2022. Disponível em: <https://indicadores.agricultura.gov.br/agrostat/index.htm>. Acesso em: abril 2022.

MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO (MCTI). Quarta Comunicação Nacional do Brasil à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima. 2020.

MITLOEHNER, F., KEBREAB, E., BOCCADORO, M. Methane, Cows, and Climate Change: California Dairy's Path to Climate Neutrality. UC Davis. 2020. Disponível em: <https://clear.ucdavis.edu/blog/methane-gwp100-not-measuring>. Acesso em: abril de 2022.

PINEDA, A.C. & P. FARIA. Towards a science-based approach to climate neutrality in the corporate sector. Discussion paper. Disponível em: <https://sciencebasedtargets.org/resources/files/Towards-a-science-based-approach-to-climate-neutrality-in-the-corporate-sector-Draft-for-comments.pdf>. Acesso em: abril de 2022.

POORE J, NEMECEK T. Reducing food's environmental impacts through producers and consumers. **Science**. 2018 Jun 1;360(6392):987-92.

TANAKA, Katsumasa et al. Cost-effective implementation of the Paris Agreement using flexible greenhouse gas metrics. **Science advances**, v. 7, n. 22, p. eabf9020, 2021.

SCHIERMEIER Q., Global methane levels soar to record high. **Nature**. 2020 Jul 14. doi: 10.1038/d41586-020-02116-8. Epub ahead of print. PMID: 32669724.

SEEG. Sistema de Estimativas de Emissões de Gases de Efeito Estufa. Disponível em: www.seeg.eco.br/. Acesso em: abril 2022.

SHINE, K.P., et al. Alternatives to the Global Warming Potential for Comparing Climate Impacts of Emissions of Greenhouse Gases. **Climatic Change** 68, 281-302. <https://doi.org/10.1007/s10584-005-1146-9>. 2005.

SMITH, M. A., CAIN M., ALLEN, M. R. "Further improvement of warming-equivalent emissions calculation." **NPJ Climate and Atmospheric Science** 4, no. 1 (2021): 1-3. 2021.

STRASSBURG, B. B. N. et al. When enough should be enough: Improving the use of current agricultural lands could meet production demands and spare natural habitats in Brazil. **Global Environmental Change**, v. 28, p. 84-97, Sep. 2014.

UNITED NATIONS CLIMATE CHANGE (UNFCCC). 2021. The Paris Agreement. Disponível em: <https://sciencebasedtargets.org/resources/files/Towards-a-science-based-approach-to-climate-neutrality-in-the-corporate-sector-Draft-for-comments.pdf>. Acesso em Abril de 2022.

Universidade Federal de Goiás – UFG. Laboratório de Processamento de Imagens e Geoprocessamento – LAPIG. (2020). LAPIG MAPS. Recuperado em 31 de agosto de 2020, de <https://www.lapig.iesa.ufg.br/lapig/index.php/produtos/dados-geograficos>



Rua Itapeva, 474 - Bela Vista
CEP 01332-000 - São Paulo - SP - Brasil
Telefone: (11) 3799-3645
gvagro@fgv.br

<https://eesp.fgv.br/centros/observatorios/bioeconomia>