

Descarbonização da matriz de combustíveis

DASHBOARD

Luciano Rodrigues
Sabrina Matos

O **DASHBOARD DE DESCARBONIZAÇÃO DA MATRIZ DE COMBUSTÍVEIS**, em conjunto com o “Relatório Trimestral de Monitoramento”, é uma iniciativa do **Observatório de Inovação e Conhecimento em Bioeconomia (OCBio)** da Fundação Getulio Vargas (FGV). Seu objetivo é acompanhar a dinâmica de consumo de combustíveis no Brasil, com atenção especial à análise e compreensão dos efeitos da bioenergia na redução das emissões de gases causadores do efeito estufa (GEE). Nesta edição, o **OCBio** apresenta os principais destaques em 2023 e a atualização dos indicadores até o final do 1º trimestre de 2024.

Principais destaques desta edição

- As **emissões evitadas** pela bioenergia alcançaram **53,6 gCO₂eq/MJ** em 2023, o que equivale ao plantio de 130 mil hectares de árvores nativas.
- No 1º trimestre de 2024, o consumo energético de combustíveis leves cresceu **3,5%** e o do ciclo diesel aumentou **3,6%**.
- A participação do etanol hidratado avançou e atingiu **26,4%** do consumo total da frota leve no 1º trimestre de 2024.
- A intensidade de carbono da matriz de combustíveis leves alcançou **62,6 gCO₂eq/MJ** no 1º trimestre de 2024, registrando o **melhor valor observado desde o início de 2021**.
- A intensidade de carbono do ciclo diesel alcançou **78,7 gCO₂eq/MJ** nos primeiros meses de 2024, atingindo o **menor valor observado desde o início do RenovaBio**.
- No 1º trimestre de 2024, as **emissões de GEE na matriz de combustíveis atingiram 69,8 milhões de toneladas de gCO₂eq**, sendo 26,7 milhões de toneladas no ciclo Otto e 43,1 milhões de toneladas no ciclo diesel.
- As emissões evitadas pela bioenergia no primeiro trimestre de 2024 alcançaram **14,9 milhões de toneladas de CO₂eq (+26,41%)**, o que equivale ao plantio de 36 mil hectares de árvores nativas.
- A contribuição da bioenergia em termos de **emissões de GEE evitadas** nos dois últimos trimestres (4º trimestre de 2023 e 1º de 2024) registrou **recorde** da série que se inicia no primeiro ano de funcionamento do RenovaBio.

1. MATRIZ DE COMBUSTÍVEIS LEVES (CICLO OTTO)

1.1 Consumo e intensidade de carbono

O consumo energético de combustíveis pela frota de veículos leves cresceu 6,6% em 2023 na comparação com o valor registrado no ano anterior. No primeiro trimestre de 2024, o crescimento da demanda total por combustíveis do ciclo Otto também avançou, registrando aumento de 3,5% - foram 426.312,7 terajoules (TJ) em 2024, contra 411.758,0 terajoules no primeiro trimestre do ano anterior.

Conforme detalhado na **Figura 1**, a participação do etanol hidratado na venda total de combustíveis leves atingiu 20,1% em 2023, registrando patamar similar àquele observado em 2022 (20,3%). De acordo com os dados apresentados na **Figura 2**, em termos regionais houve ligeiro aumento na participação do etanol hidratado nas regiões Norte (20,97%), Sul (8,66%) e Centro-Oeste (1,66%).

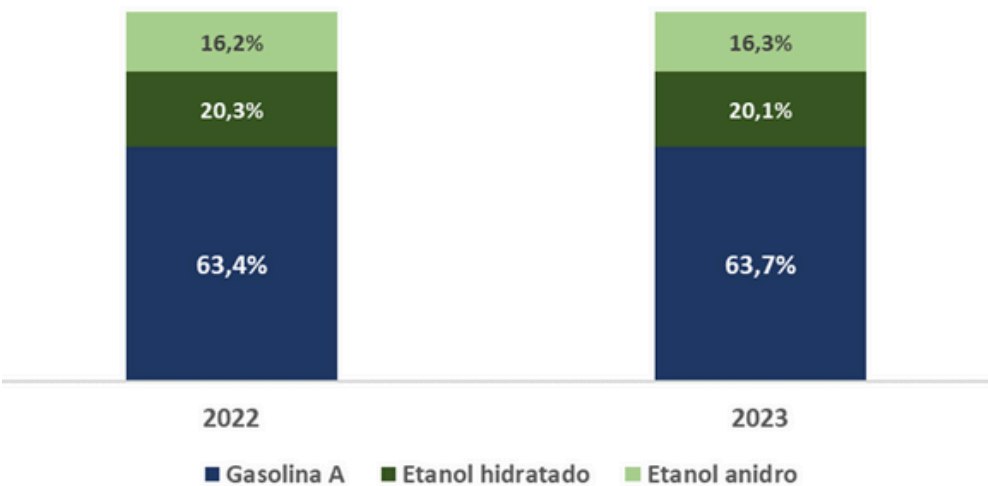


Figura 1. Participação energética dos combustíveis na matriz do ciclo Otto em 2022 e 2023.

Fonte: Elaborada pelos autores a partir de dados da ANP (2024).

A despeito dessa aparente estabilidade, a dinâmica do mercado de etanol hidratado apresentou comportamento muito distinto ao longo do último ano. No primeiro semestre de 2023, as vendas do biocombustível foram comprometidas pelo adiamento do término da desoneração tributária dos combustíveis leves, a qual havia sido iniciada no segundo semestre de 2022 e tinha previsão para terminar no final do mesmo ano.

De fato, as Medidas Provisórias nº 11.157/2023 e nº 11.163/2023 postergaram o retorno dos impostos sobre combustíveis no início de 2023, permitindo que ela acontecesse de maneira integral apenas a partir de 1º de julho. Nesse período, a diferenciação tributária entre etanol hidratado e gasolina foi prejudicada e reduziu significativamente a atratividade do biocombustível para os proprietários de veículos flex-fuel.

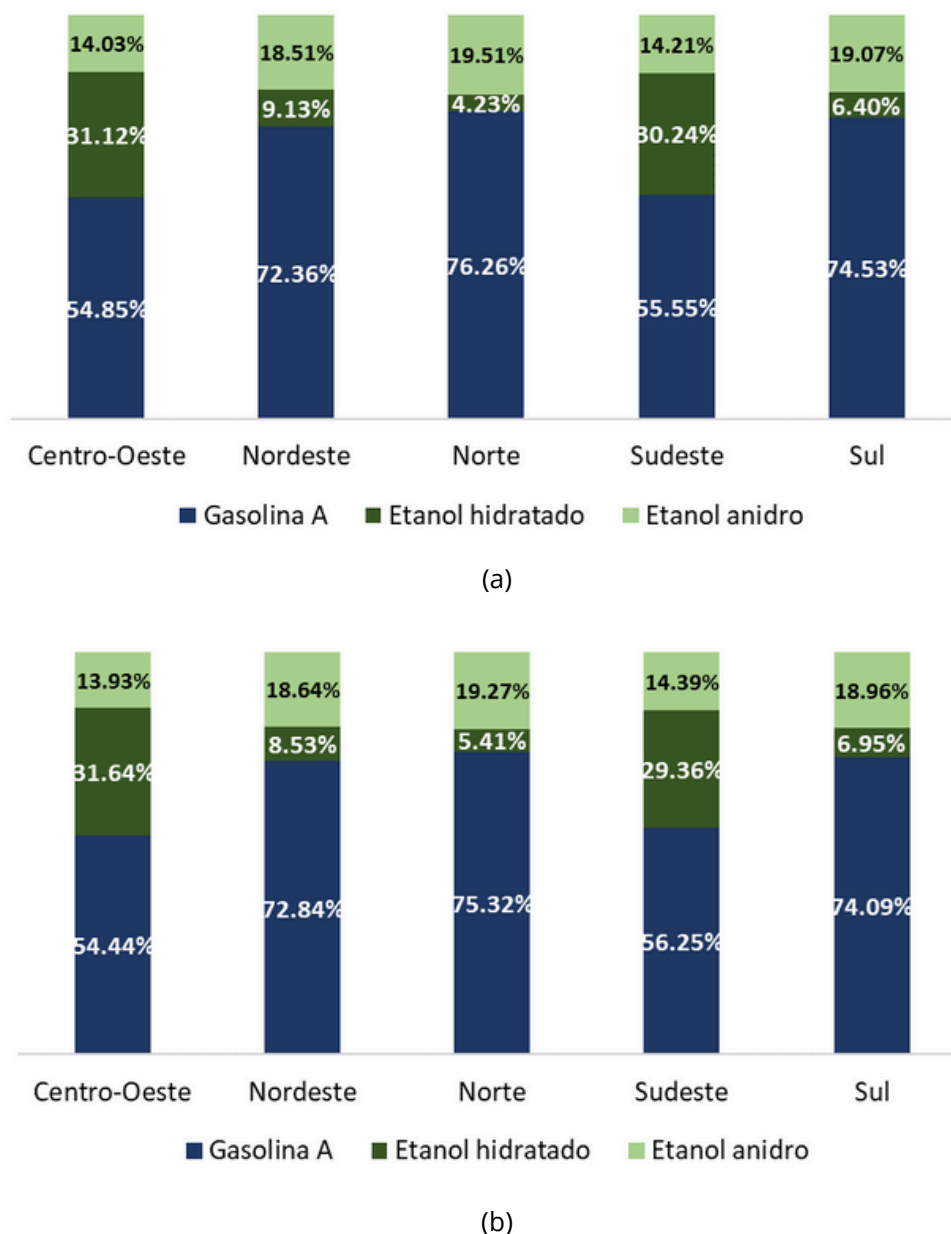


Figura 2. Participação energética dos combustíveis na matriz do ciclo Otto nas Grandes Regiões em 2022 (a) e 2023 (b).

Fonte: Elaborada pelos autores a partir de dados da ANP (2024).

Como consequência desse cenário, a participação energética do hidratado no consumo da frota leve atingiu apenas 17,8% no primeiro semestre de 2023. Essa condição começou a ser revertida na segunda metade do ano e a participação do biocombustível atingiu 22,2% no segundo semestre do ano passado, chegando a 24,0% no último trimestre do 2023.

A vantagem econômica do etanol e a safra recorde no ciclo 2023/2024 intensificaram essa tendência no início de 2024, permitindo que participação do hidratado atingisse expressivos 26,3% no primeiro trimestre deste ano – valor significativamente superior aos 17,7% observados no mesmo período de 2023 (**Figura 3**).

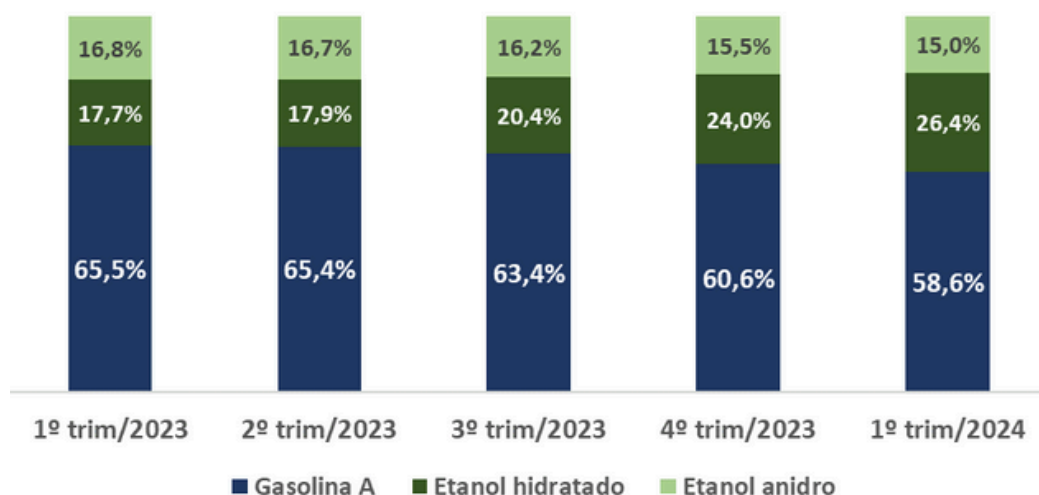


Figura 3. Participação energética dos combustíveis na matriz do ciclo Otto ao longo dos trimestres de 2023 e nos primeiros três meses de 2024.

Fonte: Elaborada pelos autores a partir de dados da ANP (2024).

No primeiro trimestre de 2024, a participação do etanol no consumo energético do ciclo Otto variou significativamente em todas as grandes regiões do País, registrando aumento de 0,14 ponto percentual (p.p) no Centro-Oeste, 0,11 p.p no Sudeste, 0,06 p.p no Sul, 0,05 no Nordeste e 0,03 p.p no Norte. Nas regiões Sudeste e Centro-Oeste, o etanol foi responsável pela maior parte da energia consumida pela frota de veículos leves (**Figura 4**).

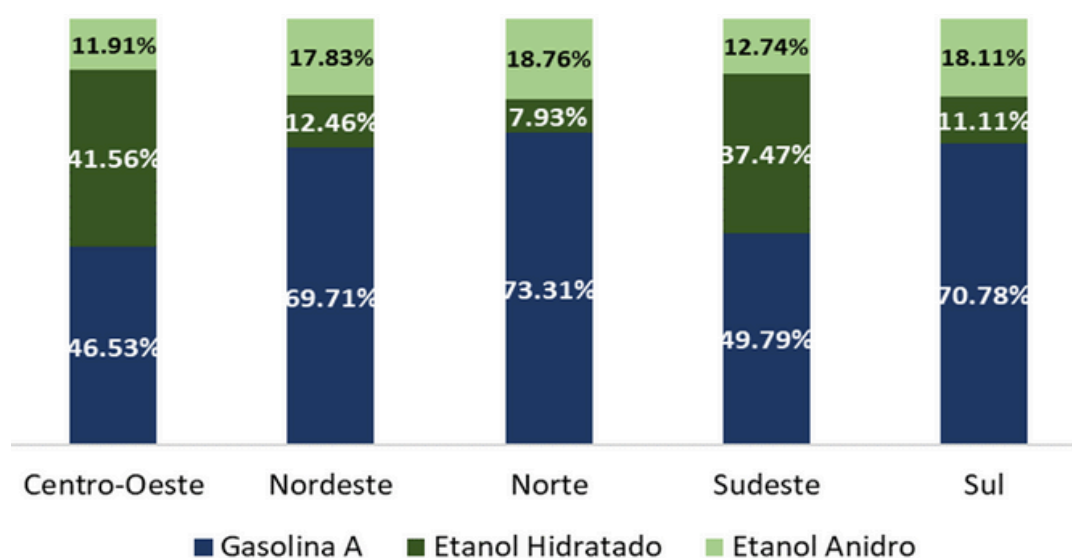


Figura 4. Participação energética dos combustíveis na matriz do ciclo Otto, considerando as Grandes Regiões brasileiras no primeiro trimestre de 2024.

Fonte: Elaborada pelos autores a partir de dados da ANP (2024).

Em resumo, é possível afirmar que 2023 se caracterizou como um ano de recuperação do etanol no mercado de combustíveis leves. Como pode ser observado na **Figura 5**, a participação do biocombustível retraiu significativamente em 2021, quando a seca histórica registrada nas regiões produtoras de cana-de-açúcar reduziu o rendimento agrícola do canavial e, como consequência, a oferta do biocombustível.

No início de 2022, a participação do etanol hidratado no ciclo Otto ainda ensaiava recuperação quando houve a mudança na estrutura tributária sobre os combustíveis, reduzindo substancialmente a diferenciação tributária entre etanol e gasolina. Essa condição prejudicou a atratividade do etanol por cerca de um ano, no período compreendido entre o segundo semestre de 2022 e a primeira metade de 2023.

A partir do terceiro trimestre de 2023, entretanto, o restabelecimento das alíquotas de tributos federais sobre os combustíveis e a safra recorde de etanol de cana-de-açúcar e milho no Centro-Sul permitiram uma recuperação persistente da penetração do biocombustível no mercado nacional. Nos três primeiros meses de 2024, o etanol anidro misturado à gasolina e o etanol hidratado consumido diretamente pelos veículos foram responsáveis por 41,4% da energia consumida pelos veículos leves - esse valor é o maior registrado ao longo dos últimos 12 trimestres da série.

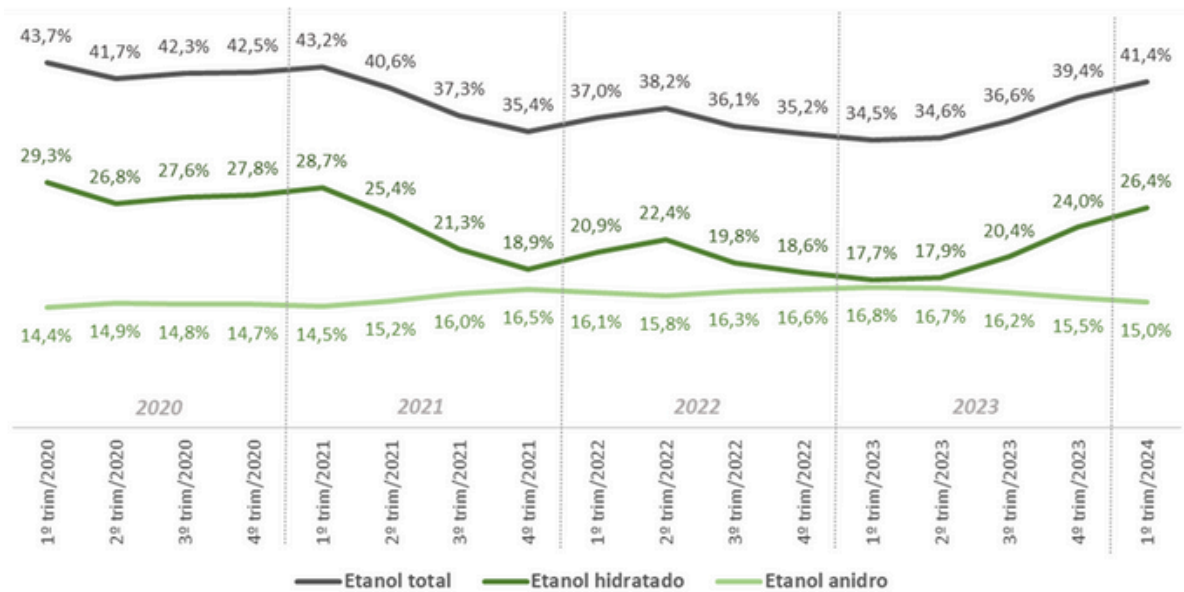


Figura 5. Evolução da participação energética do etanol (anidro, hidratado e total) nas vendas de combustíveis leves no Brasil.

Fonte: Elaborada pelos autores a partir de dados da ANP (2024).

Esse aumento da participação do etanol garantiu uma redução importante na intensidade de carbono da matriz de combustíveis leves nos últimos trimestres (a intensidade de carbono avalia as emissões de gases de efeito estufa originadas da queima de uma unidade de energia pelos veículos leves).

Enquanto no primeiro trimestre de 2023 o índice médio da matriz registou 66,8 gCO₂eq/MJ, no último trimestre do ano a intensidade de carbono do ciclo Otto atingiu 63,7 gCO₂eq/MJ, melhoria de 4,6%.

Entre as unidades da federação, a variação da intensidade média de carbono da matriz do ciclo Otto foi bastante significativa. Como pode ser observado na **Figura 6**, em 2023, Mato Grosso (51,7 gCO₂eq/MJ), Goiás (57,5 gCO₂eq/MJ) e São Paulo (58,2 gCO₂eq/MJ) foram os Estados com maior presença da bioenergia e menor quantidade de emissões de GEE originadas da queima de um megajoule de energia pelos veículos leves.

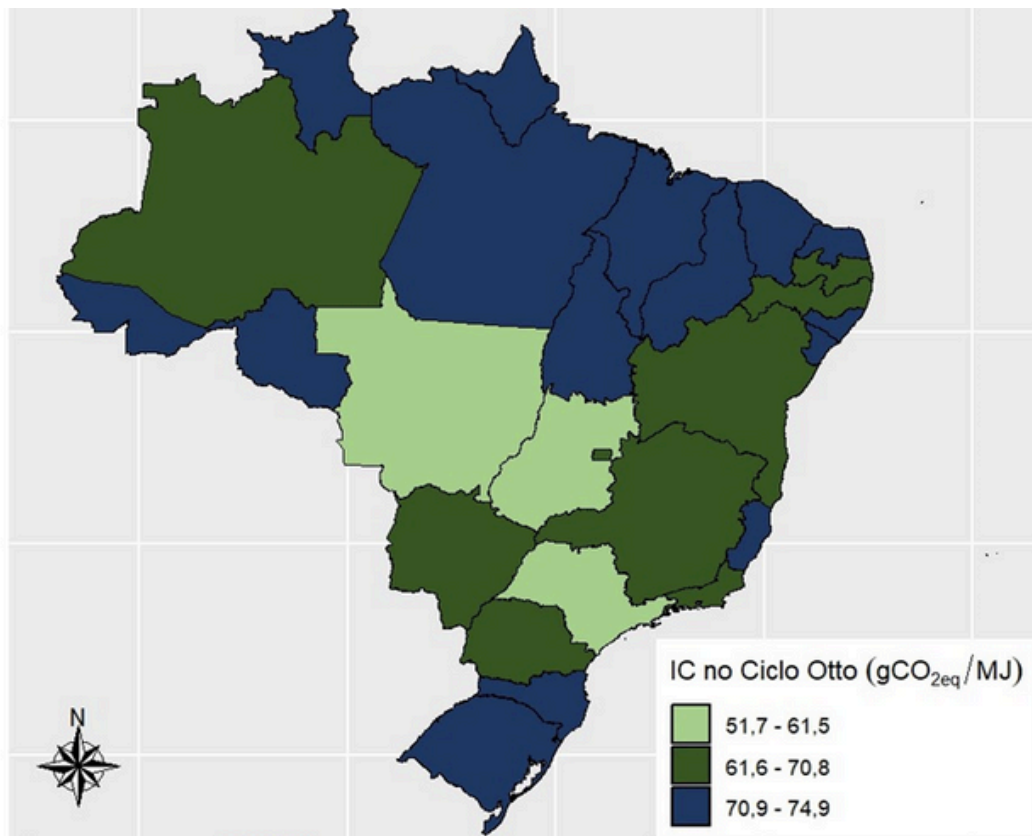
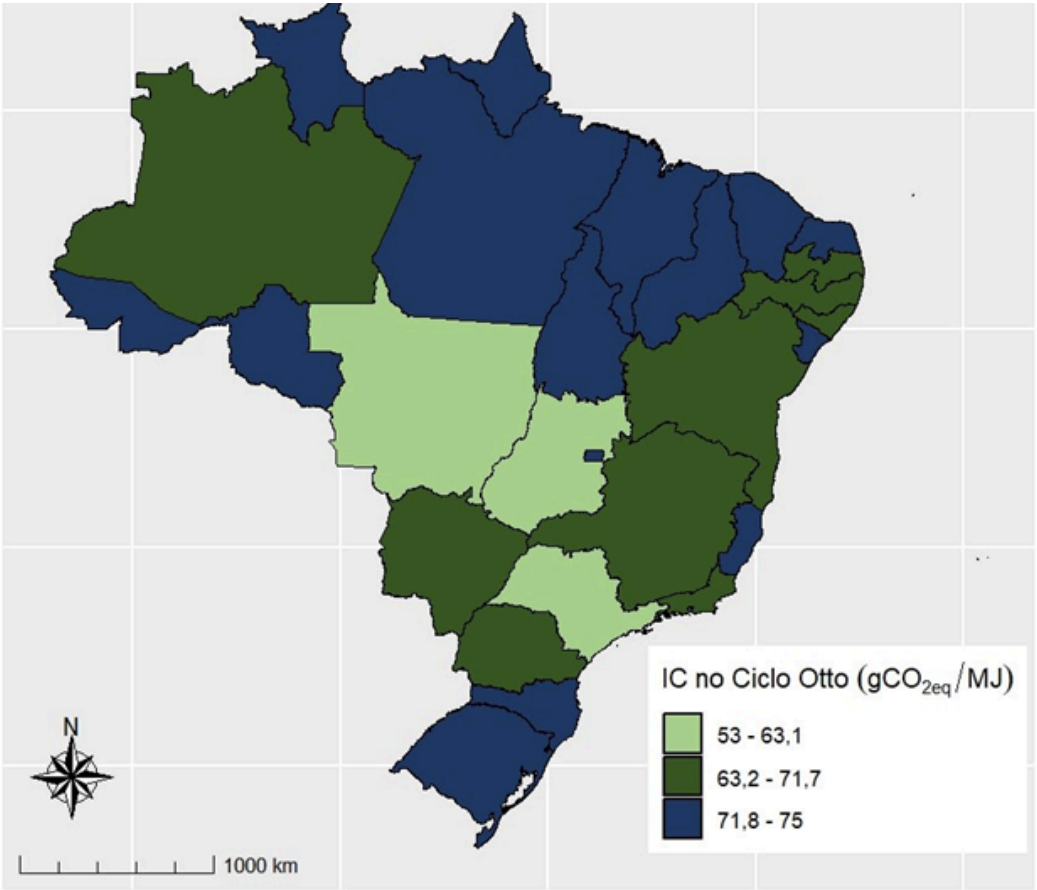


Figura 6. Intensidade média de carbono na matriz do ciclo Otto no ano de 2023, considerando as unidades federativas.

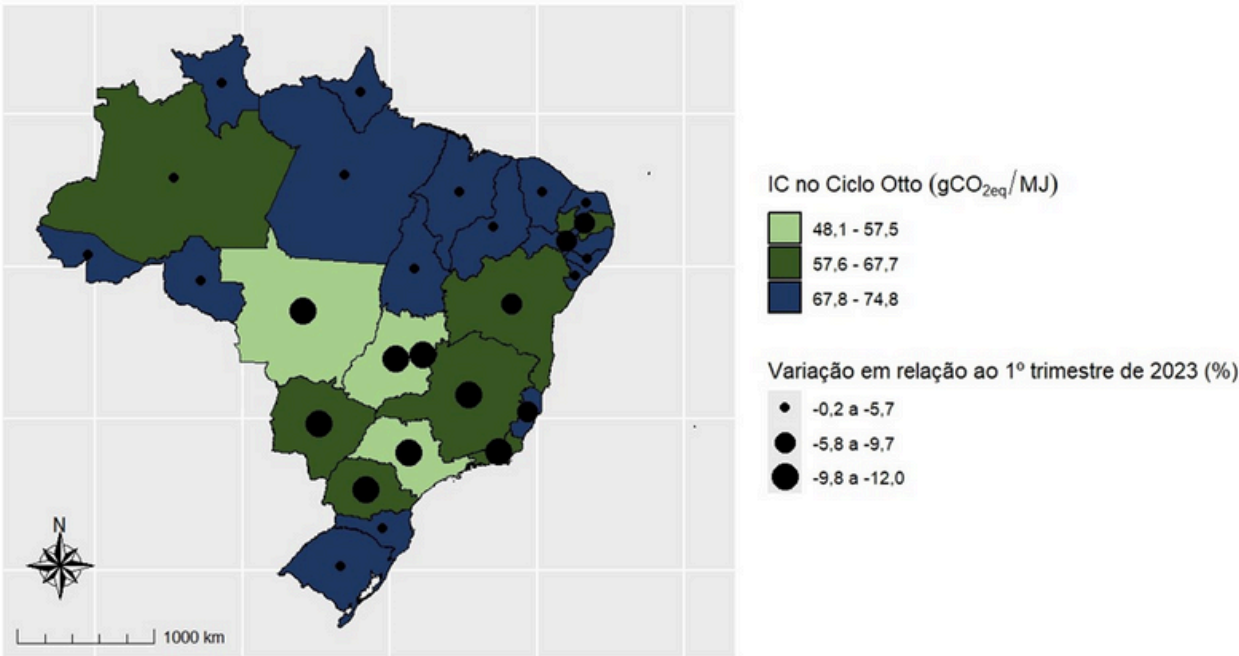
Fonte: Elaborada pelos autores.

Nos três primeiros meses de 2024, a intensidade da matriz atingiu 62,6 gCO₂eq/MJ, contabilizando queda de 6,3% na comparação com o mesmo período do ano anterior e se consolidando como o menor valor observado desde o primeiro trimestre de 2021.

Quando consideradas as unidades federativas, é possível observar que a intensidade de carbono no primeiro trimestre de 2024, comparativamente à intensidade de carbono observada no mesmo período do ano anterior, foi reduzida em todos os estados brasileiros. A **Figura 7**, que apresenta a intensidade de carbono entre as unidades federativas no primeiro trimestre de 2023 (a) e no primeiro trimestre de 2024 (b), evidencia que os estados nos quais foram verificadas as maiores reduções na intensidade de carbono da matriz foram Distrito Federal (12,02%), Mato Grosso do Sul (11,91%), Goiás (10,12%), Mato Grosso (9,18%), Minas Gerais (9,03%) e São Paulo (8,78%).



(a)



(b)

Figura 7. Intensidade média de carbono na matriz do ciclo Otto no primeiro trimestre de 2023 (a) e no primeiro trimestre de 2024 (b), considerando as unidades federativas.

Fonte: Elaborada pelos autores.

Outro responsável pela melhora no índice de carbono da matriz foi o ganho de eficiência energético-ambiental do etanol comercializado no período avaliado. Isso porque, a intensidade média de carbono (IC) do etanol hidratado apresentou ganho de 1,3% no 1º trimestre de 2024, saindo de 28,4 gCO₂eq/MJ no início de 2023 para 28,0 gCO₂eq/MJ neste ano. O mesmo movimento foi observado no caso do etanol anidro, cuja IC atingiu 26,38 gCO₂eq/MJ no 1º trimestre de 2024, ante 26,7 gCO₂eq/MJ no mesmo período do último ano.

No acumulado desde o início de funcionamento do RenovaBio (1º trimestre de 2020) até o primeiro trimestre desse ano, a intensidade de carbono do etanol hidratado apresentou melhora de 2,8%. No caso do etanol anidro, a redução de intensidade de carbono registrada no período atingiu 2,7%.

1.2 Número de plantas certificadas

Até o final de março deste ano, 280 plantas industriais apresentavam certificação válida na Política Nacional de Biocombustível. No caso do etanol anidro, o número de plantas certificadas no final do primeiro trimestre de 2024 totalizava 188 empresas.

1.3. Emissões de GEE e emissões evitadas pela bioenergia

Em 2023, as emissões de GEE associadas à queima de combustíveis na matriz de ciclo Otto totalizaram 111,9 milhões de toneladas de CO₂eq, aumento de 6,6% na comparação com o valor registrado no ano anterior. Como, na média do ano, a participação do etanol no consumo total se manteve estável, todo aumento de consumo de combustíveis resultou em maior emissão de GEE.

As emissões de GEE evitadas pela presença da bioenergia na matriz de combustíveis leves atingiram 37,2 milhões de toneladas de CO₂eq em 2023. Esse valor representa o aumento de emissões de GEE que aconteceria caso a matriz brasileira fosse composta apenas por combustíveis fósseis.

A **Tabela 1** apresenta as emissões de GEE e as emissões de GEE evitadas pela bioenergia entre as unidades federativas no ano de 2023. Além disso, são destacadas as variações das emissões em relação ao ano anterior e a participação de cada estado. Como pode ser observado, São Paulo foi responsável pela maior parcela das emissões originadas na matriz do ciclo Otto, contudo, também foi o estado no qual a presença da bioenergia representou melhor resultado em termos de emissões de GEE evitadas.

Diferente do que aconteceu em 2023, no primeiro trimestre de 2024 as emissões de GEE associadas ao uso de combustíveis leves contabilizaram queda de 3,0%, atingindo 26,7 milhões de toneladas de CO₂eq, ante 27,5 milhões de toneladas de CO₂eq registradas em igual período de 2023 (**Figura 8**).

Nesses três primeiros meses deste ano, as emissões evitadas pela bioenergia alcançaram 10,6 milhões de toneladas de CO₂eq, representando o segundo maior valor trimestral registrado desde o início do RenovaBio (**Figura 8**). Para se ter o mesmo resultado em termos de emissões, seria necessário o plantio de 26,2 mil hectares de florestal tropical.

Tabela 1. Emissões de GEE e emissões de GEE evitadas associadas à matriz do ciclo Otto em 2023.

Estado	Emissões (tCO ₂ eq)	Variação em relação ao ano de 2022	Parcela das emissões totais (%)	Emissões evitadas pela bioenergia (tCO ₂ eq)
SP	28.143.343,9	3,9	25,16	14.153.589,4
MG	11.766.732,5	10,1	10,52	4.121.911,3
RS	8.530.153,2	6,3	7,63	1.476.301,4
PR	8.055.560,2	6,2	7,20	2.397.912,1
SC	6.953.436,5	5,1	6,22	1.269.723,2
RJ	5.830.592,3	16,8	5,21	1.790.501,5
BA	5.473.904,2	8,2	4,89	1.456.589,7
GO	4.457.208,8	10,6	3,98	2.327.914,0
CE	3.477.848,4	7,0	3,11	747.259,9
PE	3.380.391,0	7,6	3,02	809.349,5
PA	3.103.733,2	6,5	2,77	571.339,7
DF	2.459.227,9	3,5	2,20	626.094,7
MA	2.418.491,0	7,2	2,16	449.461,7
ES	2.267.387,2	0,3	2,03	451.930,4
MT	2.077.000,2	4,6	1,86	1.442.236,3
MS	1.928.674,1	7,2	1,72	549.077,2
PB	1.763.902,6	8,3	1,58	439.360,8
RN	1.524.674,9	8,1	1,36	315.277,1
AM	1.475.858,5	-2,0	1,32	439.521,1
PI	1.416.849,4	11,2	1,27	304.226,2
AL	1.160.576,6	7,6	1,04	267.153,1
RO	1.069.789,3	3,9	0,96	192.005,0
TO	970.310,3	8,2	0,87	197.177,6
SE	950.699,9	9,5	0,85	196.884,6
AP	442.891,8	1,7	0,40	73.873,0
RR	408.870,8	-1,3	0,37	71.306,4
AC	350.969,3	4,6	0,31	68.868,3

Fonte: Elaborada pelos autores.

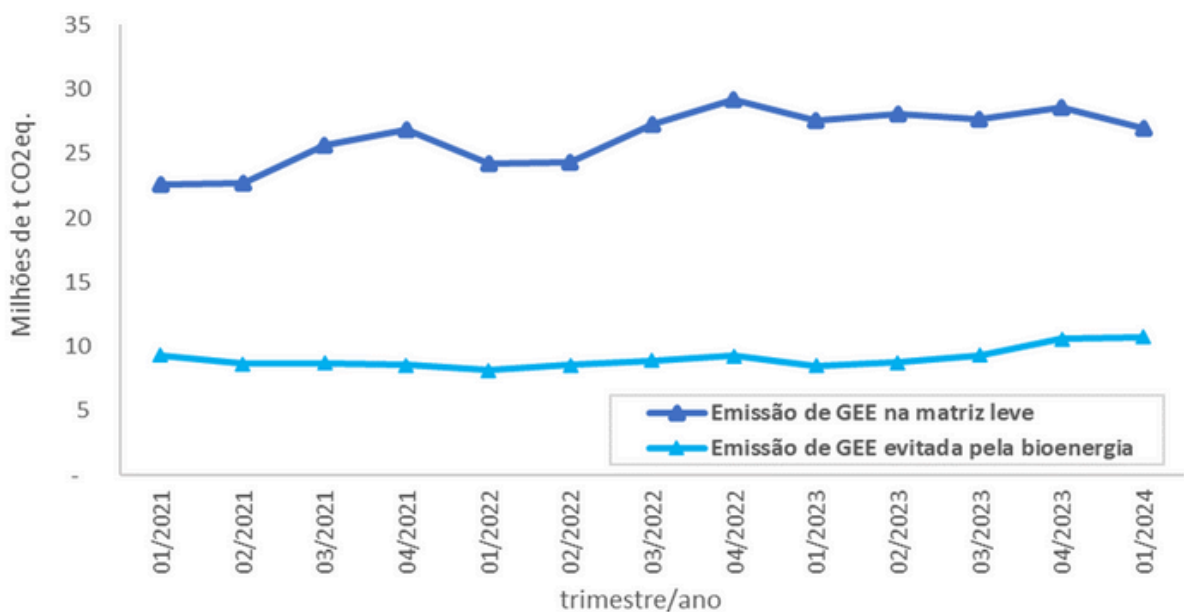


Figura 8. Evolução das emissões totais de GEE na matriz de combustíveis leves e das emissões evitadas pela bioenergia.
Fonte: Elaborada pelos autores.

2. MATRIZ DO CICLO DIESEL

2.1 Consumo e intensidade de carbono

O consumo de diesel B (mistura de diesel puro com biodiesel) atingiu 65,5 bilhões de litros em 2023, com aumento de 3,6% na comparação com o volume comercializado no ano anterior (63,2 bilhões de litros).

No primeiro trimestre de 2024, essa tendência foi mantida e o aumento no consumo atingiu 2,4%, com 15,6 bilhões de litros vendidos ante 15,2 bilhões contabilizados no mesmo trimestre de 2023.

Assim como no caso do etanol, a intensidade de carbono da matriz do ciclo diesel apresentou melhora ao longo dos trimestres de 2023: enquanto nos primeiros três meses do ano a intensidade média alcançou 80,4 gCO2eq/MJ, no último trimestre o índice atingiu 79,1 gCO2eq/MJ.

Esse fato decorre de dois movimentos distintos. O primeiro deles remete ao aumento do teor de mistura de biodiesel de 10% para 12% no início do segundo trimestre de 2023. O segundo está relacionado ao ganho de 2,7% na eficiência energético-ambiental do biodiesel comercializado ao longo de 2023 – a intensidade de carbono do biocombustível passou de 21,6 gCO2eq/MJ no 1º trimestre de 2023 para 21,0 gCO2eq/MJ no último trimestre do ano.

No primeiro trimestre de 2024, a intensidade de carbono do biodiesel atingiu 21,0 gCO₂eq/MJ, com melhora (queda) de 2,8% em relação ao índice observado no primeiro trimestre de 2023. Como consequência, a IC da matriz do ciclo diesel alcançou 78,7 gCO₂eq/MJ, se configurando como o menor valor observado desde o início do RenovaBio.

2.2 Número de plantas certificadas

Até o final de março deste ano, a produção de biodiesel contava com 39 plantas certificadas na Política Nacional de Biocombustível.

2.3 Emissão de GEE observada e emissões evitadas pela bioenergia

As emissões de GEE na matriz de combustíveis do ciclo diesel totalizaram 183,4 milhões de toneladas de CO₂eq em 2023, registrando crescimento de 2,3% na comparação com a quantidade emitida em igual período de 2022 (179,3 milhões de toneladas de carbono equivalente).

O aumento nas emissões de GEE pela frota pesada remete ao crescimento no consumo de diesel B no País, e só não foi maior devido ao aumento do percentual de biodiesel misturado ao combustível fóssil e ao ganho de eficiência energético-ambiental deste biocombustível. Na ausência de biodiesel no mercado nacional, as emissões da matriz em 2023 teriam sido ampliadas em 16,4 milhões de toneladas de CO₂eq.

A **Tabela 2** apresenta as emissões de GEE e as emissões de GEE evitadas pela bioenergia entre as unidades federativas no ano de 2023. Além disso, são destacadas a variação das emissões em relação ao ano anterior e a parcela das emissões de GEE atribuída a cada estado. Como pode ser observado, São Paulo, Minas Gerais e Paraná foram responsáveis por, aproximadamente, 43% das emissões originadas na matriz do ciclo diesel, contudo, também foram os estados nos quais a presença da bioenergia representou melhor resultado em termos de emissões de GEE evitadas (cerca de 7 milhões de toneladas de CO₂eq deixarem de ser emitidas).

Tabela 2. Emissões de GEE e emissões de GEE evitadas associadas à matriz do ciclo diesel em 2023.

Estado	Emissões (tCO ₂ eq)	Variação em relação ao ano de 2022	Parcela das emissões totais (%)	Emissões evitadas pela bioenergia (tCO ₂ eq)
SP	37.677.978,51	2,35	20,55	3.375.407,63
MG	22.698.418,67	3,77	12,38	2.028.382,79
PR	17.834.789,71	3,24	9,73	1.588.739,08
MT	10.949.005,69	4,61	5,97	974.143,13
RS	10.945.201,99	0,46	5,97	974.412,95
BA	9.779.166,54	6,87	5,33	874.875,04
GO	9.738.576,16	3,59	5,31	869.749,18
SC	8.406.584,25	-0,80	4,58	748.784,94
PA	8.322.441,27	1,75	4,54	744.168,65
RJ	7.626.676,83	7,01	4,16	680.341,87
MS	5.514.291,90	3,13	3,01	491.764,92
MA	4.697.281,09	6,88	2,56	420.699,98
PE	4.350.976,05	-0,14	2,37	387.411,48
ES	3.751.373,49	0,53	2,05	334.215,42
TO	3.543.141,84	0,21	1,93	315.582,94
CE	3.193.144,42	2,74	1,74	285.328,84
AM	2.667.735,36	-9,71	1,45	236.785,56
RO	2.541.975,77	-10,63	1,39	227.465,69
PI	1.805.733,96	2,97	0,98	161.806,22
PB	1.322.674,44	6,02	0,72	117.878,50
RN	1.314.789,56	-1,09	0,72	117.225,45
AL	1.172.639,71	4,78	0,64	103.931,10
DF	1.082.554,01	-5,05	0,59	96.610,79
SE	1.067.230,47	0,14	0,58	94.860,16
RR	650.591,43	-31,01	0,35	57.992,72
AC	453.062,28	-5,27	0,25	40.431,38
AP	279.066,70	-13,22	0,15	24.932,69

Fonte: Elaborada pelos autores.

No primeiro trimestre de 2024, as emissões de GEE do ciclo diesel alcançaram 43,1 milhões de toneladas, registrando praticamente o mesmo valor observado no primeiro trimestre do ano anterior (**Figura 9**). As emissões evitadas pela bioenergia no ciclo diesel atingiram 4,4 milhões de toneladas de CO₂eq no primeiro trimestre de 2024 - para se ter esse mesmo resultado seria necessário o plantio de 10,5 mil hectares de florestal tropical.

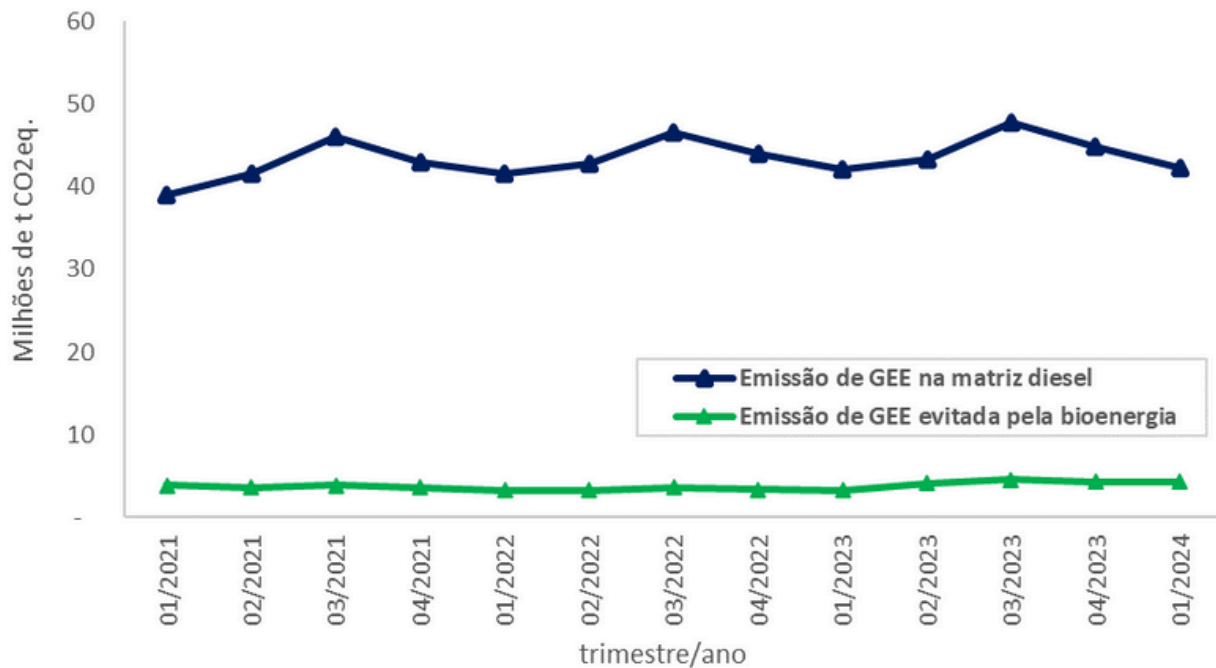


Figura 9. Evolução das emissões totais de GEE na matriz de combustíveis do ciclo diesel e das emissões evitadas pela bioenergia.

Fonte: Elaborada pelos autores.



+55 11 3799-1533

@ocbiofgv

www.agro.fgv.br

www.agro.fgv.br/observatorio-de-bioeconomia/dashboards

PATROCÍNIO

