EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E EMISSÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA: LIMITES EXPLICATIVOS DO ODEX NA TRAJETÓRIA RECENTE DAS EMISSÕES SETORIAIS NO BRASIL[1]

Matheus Rocha Fernandes[2]

SINOPSE

O trabalho investiga por que os ganhos de eficiência energética observados no Brasil entre 2005 e 2024 não se traduziram em reduções proporcionais de emissões de gases de efeito estufa. Contrastando o indicador ODEX (Odyssee Energy Efficiency Index) do *Atlas da eficiência energética: Brasil 2025* (EPE, 2025) com os dados de emissões (SEEG, 2025) do Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa (SEEG), são identificados descompassos setoriais expressivos nos transportes, na indústria e no setor residencial, que são atribuídos à composição da matriz energética, à heterogeneidade intrassetorial e ao efeito rebote, evidenciando os limites de indicadores agregados como o ODEX para avaliar trajetórias de descarbonização. Argumenta-se que os ganhos de eficiência energética constituem condição necessária, mas não suficiente, para a redução das emissões, tornando-se efetivos quando associados à transição das fontes de energia e ao desenho de políticas capazes de antecipar as respostas decorrentes desses ganhos.

Palavras-chave: eficiência energética; ODEX; emissões de GEE; descarbonização; efeito rebote.

1 INTRODUÇÃO

A eficiência energética ocupa posição central nos debates contemporâneos sobre desenvolvimento econômico, competitividade e mitigação das mudanças climáticas. Em geral, espera-se que setores mais eficientes utilizem menos energia para produzir a mesma quantidade de bens ou serviços, reduzindo custos econômicos e, potencialmente, impactos ambientais. Nesse contexto, indicadores de intensidade e de eficiência energética tornaram-se instrumentos amplamente utilizados para monitorar o desempenho dos diferentes setores da economia.

Entre os compromissos climáticos assumidos pelo Brasil no âmbito do Acordo de Paris e reafirmados na *Contribuição nacionalmente determinada* apresentada em 2024, a eficiência energética ocupa posição central nas estratégias de mitigação das emissões de gases de efeito estufa (GEE) e de transição para uma economia de baixo carbono (Brasil, 2024; IEA, 2024; UNFCCC, 2015).

O *Atlas da eficiência energética: Brasil 2025* aponta ganhos expressivos de eficiência energética em diferentes setores econômicos entre 2005 e 2024, especialmente nos transportes, no setor residencial e em determinados segmentos industriais (EPE, 2025). Entretanto, a evolução recente seja das emissões de GEE ou apenas das emissões de dióxido de carbono nos diferentes setores da economia brasileira sugere que a relação entre eficiência energética e descarbonização não é direta. Nesse contexto, surge uma questão relevante para a formulação de políticas públicas: qual é a relação entre os ganhos de eficiência energética observados e a trajetória recente das emissões nos diferentes setores da economia brasileira?

1. DOI: https://dx.doi.org/10.38116/radar82art2.

2. Técnico de planejamento e pesquisa na Diretoria de Estudos e Políticas Setoriais, de Inovação, Regulação e Infraestrutura do Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (Diset/Ipea). *E-mail*: matheus.fernandes@ipea.gov.br.

Para contribuir com esse debate, este trabalho contrasta as evidências do *Atlas da eficiência energética: Brasil 2025* (EPE, 2025) com os dados do Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de GEE (SEEG), cujas estimativas para o setor de energia seguem as recomendações metodológicas do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (em inglês, Intergovernmental Panel on Climate Change – IPCC) e as definições do Inventário Nacional de Emissões (SEEG, 2025).

2 INTENSIDADE ENERGÉTICA: O QUE ELA MEDE E O QUE ELA NÃO MEDE

A intensidade energética relaciona o consumo de energia a uma medida de atividade econômica ou física, como o produto interno bruto (PIB), o valor adicionado, os passageiros-quilômetro ou as toneladas-quilômetro. Reduções da intensidade energética indicam que determinada atividade passou a demandar menos energia por unidade produzida, sendo frequentemente interpretadas como evidência de ganhos de eficiência energética (EPE, 2025).

Quando calculada para a economia como um todo, considerando-se o PIB como medida de atividade, sua evolução pode refletir não apenas avanços tecnológicos, mas também transformações estruturais – mudanças na composição setorial da produção, deslocamentos entre atividades mais e menos intensivas em energia e alterações nos padrões de consumo (EPE, 2025; Lapillonne, 2020). Para atenuar esse efeito estrutural, recorre-se a indicadores construídos com base em medidas físicas setorialmente específicas.

3 O ODEX COMO MEDIDA DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA[3]

Com o objetivo de reduzir a influência de mudanças estruturais sobre a mensuração da eficiência energética, o *Atlas da eficiência energética* adota o ODEX como seu principal indicador de desempenho energético. Desenvolvido no âmbito do projeto europeu Odyssee-Mure, o indicador busca isolar os ganhos de eficiência tecnológica e operacional por meio de indicadores físicos específicos para cada setor (Lapillonne, 2020; EPE, 2023).

Nos transportes, o ODEX utiliza medidas relacionadas ao consumo energético por passageiro-quilômetro ou tonelada-quilômetro; na indústria, indicadores de consumo por unidade produzida; e, no setor residencial, medidas associadas aos diferentes usos finais da energia. Esses indicadores são posteriormente agregados em um índice sintético ponderado pelo consumo energético dos setores analisados, produzindo uma medida mais adequada para monitorar a evolução da eficiência energética (EPE, 2025).

4 RESSALVAS METODOLÓGICAS

A comparação entre as duas bases requer quatro considerações metodológicas, descritas a seguir.

1) Elas mensuram fenômenos distintos: o ODEX é um índice de eficiência energética baseado no consumo final de energia (EPE, 2023); e o SEEG estima as emissões de GEE decorrentes da queima de combustíveis nesse consumo (SEEG, 2025). Por isso, a análise compara tendências, e não níveis, indexando as emissões ao mesmo ano-base do ODEX.

3. Como o ODEX mensura a eficiência nos usos finais da energia, o indicador não contempla o setor de *uso da terra, mudança de uso da terra e silvicultura* (em inglês, *land use, land-use change, and forestry* – LULUCF). Assim, as conclusões deste trabalho restringem-se aos setores consumidores de energia abrangidos pelo ODEX e não explicam a trajetória agregada das emissões brasileiras, fortemente influenciada pela dinâmica do uso da terra (IPCC, 2006; SEEG, 2025).

2) Os setores foram compatibilizados ao escopo do atlas – indústria, residencial e transportes –, excluindo-se serviços, agropecuária, produção de combustíveis, geração elétrica pública, processos industriais e geração elétrica associada à indústria (EPE, 2025; SEEG, 2025).

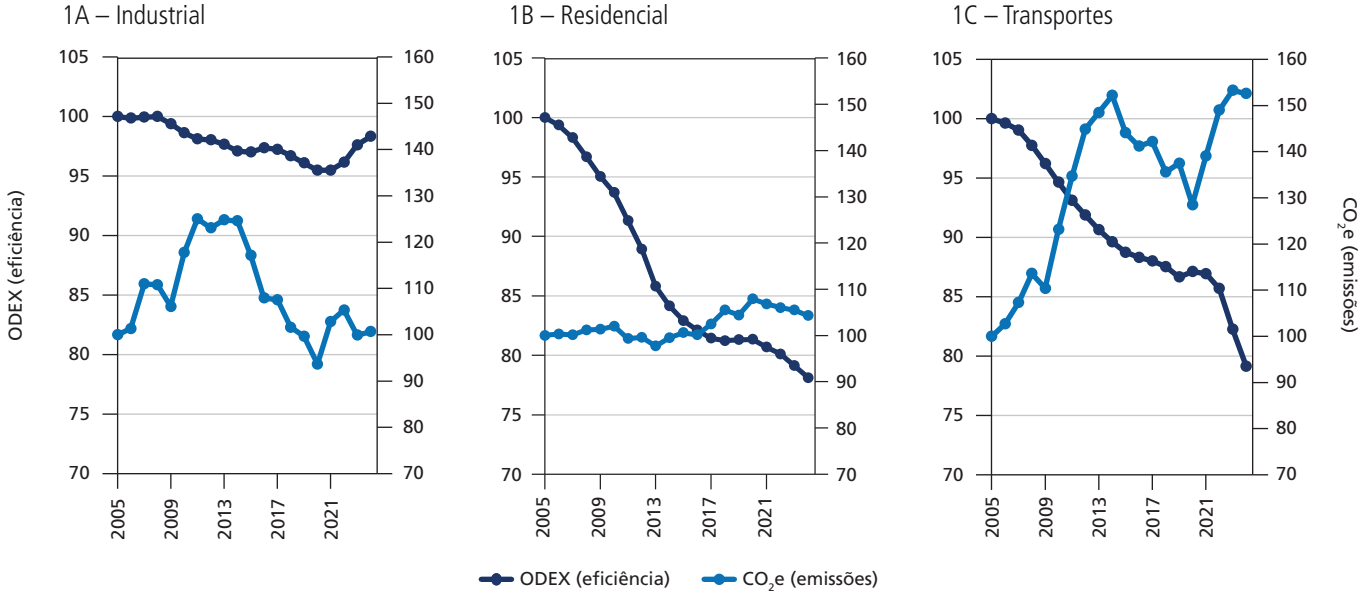
3) Foram adotadas as emissões em CO_2 (dióxido de carbono) equivalente (CO_2e), calculadas segundo os potenciais de aquecimento global do IPCC (2013). Essa métrica agrega as emissões de CO_2, CH_4 (metano) e N_2O (óxido nitroso)[4] e permite captar os efeitos da substituição entre fontes fósseis e biomassa, já que o CO_2 da biomassa é contabilizado como neutro no SEEG (SEEG, 2025).

4) Excluíram-se as emissões de combustíveis de aviação e navegação internacionais (*bunkers*), em consonância com o escopo doméstico do ODEX (EPE, 2023).

5 EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E EMISSÕES: EVIDÊNCIAS SETORIAIS

O gráfico 1 confronta, para cada setor, a evolução do ODEX com a das emissões medidas em CO_2e, indexados a 2005 = 100. Ressalta-se que reduções do indicador de eficiência ao longo do tempo indicam ganhos de eficiência energética, enquanto aumentos sugerem deterioração da eficiência.

GRÁFICO 1
Evolução do ODEX e das emissões em CO_2e por setor (2005 = 100) – Brasil (2005-2024)



Fonte: EPE (2025); SEEG (2025).
Elaboração do autor.

O setor de transportes constitui o exemplo mais evidente dos limites explicativos do ODEX sobre as emissões. Entre 2005 e 2024, o indicador registrou ganho acumulado de eficiência superior a 20%. Ainda assim, as emissões continuaram crescendo em termos absolutos – cerca de 53% no período – e ampliaram sua participação relativa no total nacional (SEEG, 2025). A explicação reside primordialmente na composição energética e tecnológica da frota rodoviária: entre 2005 e 2024, a participação de caminhões pesados e semipesados na frota nacional passou de 44% para 64%, ampliando a capacidade de transporte de cargas

4. O CH_4 e o N_2O são GEE cujos potenciais de aquecimento global, em um horizonte de cem anos, variam de 28 a 34 e de 265 a 298 vezes o do CO_2, respectivamente (IPCC, 2013).

por viagem e promovendo ganhos de eficiência, com a adoção de veículos de padrões tecnológicos superiores (EPE, 2025). No mesmo período, a frota de caminhões no país cresceu 74%, enquanto o consumo de energia no transporte rodoviário aumentou mais de 80%. Em 2024, esse modo de transporte respondeu por aproximadamente 85% das emissões do setor, ao passo que as emissões dos modos menos intensivos em carbono apresentaram crescimento moderado ou mesmo recuaram (EPE, 2025; SEEG, 2025).

A indústria apresentou pequena evolução na eficiência energética (com a redução do ODEX de 100 para 98,3 entre 2005 e 2024), mas suas emissões, após crescerem cerca de 25% até o pico de 2011, recuaram aproximadamente 21%, encerrando 2024 em patamar próximo ao inicial e reduzindo sua participação no total. A decomposição emissiva por segmento industrial indica que essa reversão foi puxada sobretudo pela retração de setores específicos – química (-31%), mineração e pelotização (-33%) e têxtil (-64%). Em contrapartida, o setor de cimento apresentou forte crescimento emissivo (+65%), tornando-se o maior emissor industrial (aproximadamente 23% do total do setor em 2024), enquanto a siderurgia cresceu de forma moderada (+10%) (SEEG, 2025). No cimento, o coprocessamento de resíduos e o uso de combustíveis alternativos atenuaram a intensidade de emissão por unidade produzida, sem impedir o aumento absoluto; no papel e celulose, o uso do licor preto como coproduto energético renovável – cujo CO_2 é neutro na base SEEG – pode explicar por que esse segmento industrial apresentou razão CO_2e/CO_2 perceptivelmente acima da unidade – cerca de 1,12 em 2024 (SEEG, 2025; EPE, 2025).

Entre os setores analisados, o residencial apresentou o maior ganho de eficiência, com o ODEX recuando para 78,1 em 2024. Paralelamente, as emissões cresceram de forma modesta e reduziram sua participação no total. O fator determinante para essa dinâmica, contudo, foi a recomposição das fontes de energia domiciliar. A decomposição por combustível mostra que o CO_2 residencial cresceu cerca de 16% entre 2005 e 2024, impulsionado pela expansão do gás liquefeito de petróleo (GLP), de +12%, e do gás natural (+145%, ainda que sobre base reduzida), como indica a tabela 1.

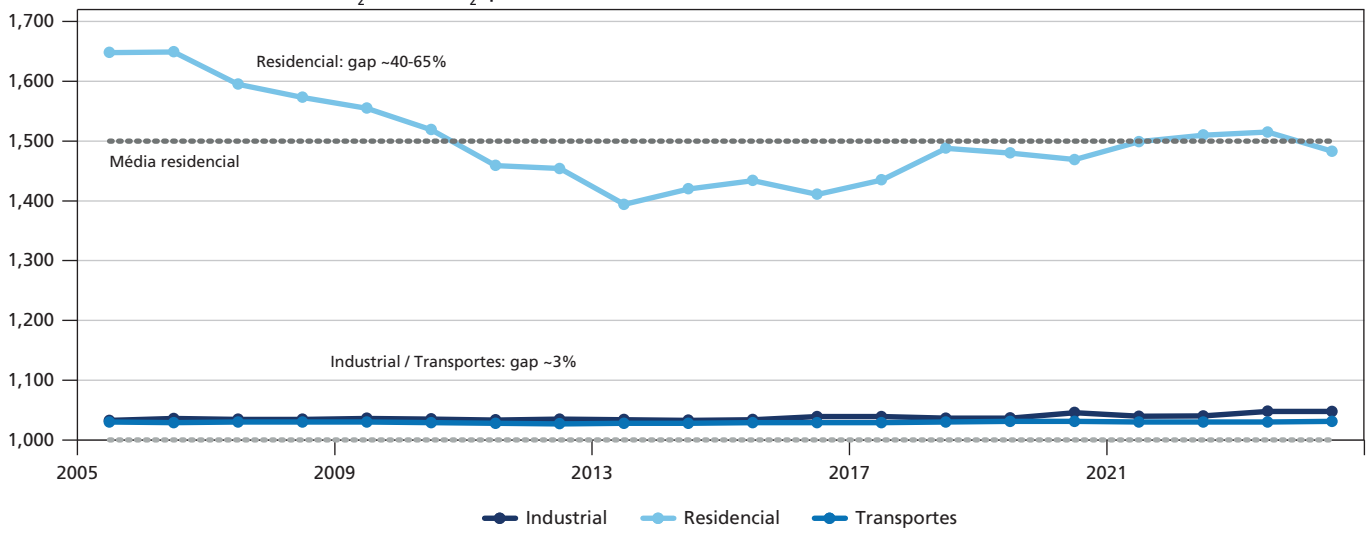
TABELA 1
Variação emissiva do setor residencial por produto – Brasil (2005 e 2024)

Produto	CO_2 (t)		Variação CO_2 (%)	CO_2e (t) GWP-AR5		Variação CO_2e (%)
	2005	2024		2005	2024	
Carvão vegetal	-	-	-	175.955,70	122.462,89	-30
Gás natural seco	448.158,90	1.096.142,45	145	450.499,50	1.101.867,49	145
GLP	15.092.116,83	16.956.449,67	12	15.181.745,04	17.057.151,12	12
Lenha	-	-	-	9.825.218,00	8.495.660,31	-14
Querosene iluminante	50.373,28	14.375,46	-71	50.680,85	14.463,23	-71
Residencial total	15.590.649,01	18.066.967,57	16	25.684.099,09	26.791.605,04	4

Fonte: SEEG (2025).
Elaboração do autor.

Simultaneamente, as emissões de CH_4 e de N_2O associadas à queima de biomassa – captadas apenas na métrica em CO_2e – recuaram cerca de 14%, refletindo a substituição da lenha por combustíveis fósseis modernos. A compensação entre esses movimentos manteve as emissões em CO_2e praticamente estáveis (+4%), a despeito do aumento do CO_2 – dinâmica sintetizada no gráfico 2, em que a razão CO_2e/CO_2 do setor é a única sistematicamente afastada da unidade.

GRÁFICO 2
Razão entre emissões em CO_2e e em CO_2, por setor – Brasil (2005-2024)



Fonte: SEEG (2025).
Elaboração do autor.

Esse padrão é corroborado pelo atlas, que registra a redução da participação da biomassa (lenha e carvão vegetal) na matriz residencial de consumo energético para cocção de alimentos – principal uso final de energia no setor – de 62,2% para 53,9% entre 2005 e 2024, com correspondente aumento do gás natural e do GLP (de 37,4% para 41,0%) e da eletricidade (de 0,4% para 5,1%) (EPE, 2025). A redução do uso de biomassa não foi, porém, linear: o atlas atribui a estabilização do ODEX residencial entre 2017 e 2020 a uma intensificação do uso de lenha para cocção, associada ao aumento das restrições orçamentárias e ao peso do GLP nas despesas das famílias de baixa renda (EPE, 2025).

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A comparação entre os indicadores do *Atlas da eficiência energética: Brasil 2025* (EPE, 2025) e os dados do SEEG (SEEG, 2025) evidencia que a eficiência energética permanece componente importante das políticas climáticas e energéticas brasileiras. Entre 2005 e 2024, os indicadores de eficiência registraram avanços relevantes, especialmente nos setores de transportes e residencial (EPE, 2025). Esses ganhos, contudo, não se traduziram em reduções proporcionais das emissões.

A leitura setorial sugere três mecanismos que ajudam a explicar esse descompasso. O primeiro é a composição da matriz energética: nos transportes, a predominância do diesel limita o efeito dos ganhos de eficiência sobre as emissões; no setor residencial, a substituição da lenha por GLP e eletricidade além da maior eficiência dos equipamentos contribuíram para sua estabilização em CO_2e. O segundo é a heterogeneidade intrassetorial: na indústria, a redução das emissões após 2011 refletiu a retração de segmentos específicos, mas setores em expansão, como o cimento, elevaram suas emissões, apesar de avanços como o coprocessamento de resíduos cuja contribuição pode ter menor visibilidade no ODEX agregado. Por fim, o terceiro é o efeito rebote, que ocorre quando ganhos de eficiência estimulam maior uso dos serviços energéticos e reduzem parte da economia de energia esperada (EPE, 2025; Sorrell, 2007).

Do ponto de vista de política pública, os resultados indicam recomendações mais específicas do que a agenda genérica de "eficiência e descarbonização". Nos transportes, é necessário combinar renovação da frota com substituição do diesel por alternativas de menor emissão – biocombustíveis, eletrificação de rotas urbanas e de

última milha,[5] bem como incentivos ao transporte ferroviário e à cabotagem – além de mecanismos de internalização do efeito rebote, como instrumentos de precificação e regulação do uso de tecnologias mais eficientes. Na indústria, políticas horizontais de eficiência devem ser complementadas por medidas setoriais, como maior uso de sucata na siderurgia, coprocessamento de resíduos no cimento e expansão da autoprodução renovável em setores intensivos em energia. No setor residencial, destacam-se a eletrificação eficiente dos usos finais, a ampliação de programas como o Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE) e o Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (Procel) e a substituição da lenha por fontes mais limpas em domicílios de baixa renda.

A principal contribuição deste trabalho consiste em demonstrar que a interpretação dos ganhos de eficiência energética como vetor de redução de emissões requer uma análise integrada entre indicadores de eficiência, estrutura energética e dinâmica setorial. A análise sugere limites ao uso isolado de indicadores agregados, como o ODEX, para avaliar trajetórias de descarbonização, reforçando a necessidade de combinar métricas de eficiência com informações sobre composição das fontes, atividade econômica e transformações tecnológicas em cada setor. Assim, os ganhos de eficiência energética devem ser compreendidos como condição necessária, mas não suficiente, para a redução das emissões, tornando-se efetivos quando associados à transição das fontes de energia e ao desenho de políticas capazes de antecipar as respostas decorrentes desses ganhos.

REFERÊNCIAS

BRASIL. **Brazil's NDC**: national determination to contribute and transform. [*S. l.*: *s. n.*], 2024. Disponível em: https://unfccc.int/documents/643337.

EPE – EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **White paper**: conceitos e indicadores de eficiência energética. [*S. l.*]: EPE, 2023.

EPE – EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Atlas da eficiência energética**: Brasil 2025 – relatório de indicadores. [*S. l.*]: EPE, 2025.

IEA – INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. **Energy efficiency 2024**. Paris: IEA, 2024.

IPCC – INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. **2006 IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories**. Hayama: Iges, 2006. v. 4: agriculture, forestry and other land use – AFOLU.

IPCC – INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. **Climate change 2013**: the physical science basis – contribution of working group I to the fifth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Nova York: Cambridge University Press, 2013.

LAPILLONNE, B. **Odyssee-mure**: definition of energy efficiency index ODEX in ODYSSEE data base. Paris: Enerdata, 2020.

SEEG – SISTEMA DE ESTIMATIVAS DE EMISSÕES E REMOÇÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA. **Nota metodológica do Sistema de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa no Brasil (1970-2024)**: energia. São Paulo: Observatório do Clima, 2025. (Versão 13).

SORRELL, Steve. **The rebound effect**: an assessment of the evidence for economy-wide energy savings from improved energy efficiency. Londres: UKERC, out. 2007.

UNFCCC – CONVENÇÃO-QUADRO DAS NAÇÕES UNIDAS SOBRE MUDANÇA DO CLIMA. **Adoção do Acordo de Paris**. Paris: UNFCCC, 2015.

5. A "última milha" refere-se ao segmento final de distribuição urbana, realizado por vans leves e por caminhões pequenos em rotas curtas dentro de cidades (EPE, 2025).