

# Emissões de carbono das famílias brasileiras por meio da POF e da matriz de insumo-produto

Celso da Silveira Cachola <sup>I</sup>  
Sérgio Almeida Pacca <sup>II</sup>

**Resumo:** O objetivo deste trabalho é analisar a pegada de carbono das famílias brasileiras com base na Pesquisa de Orçamentos Familiares (POF) de 2008 e 2018. A metodologia utilizada neste artigo foi uma Avaliação de Ciclo de Vida híbrida. Segundo os nossos resultados, as famílias da classe de renda inferior emitiram cerca de 4,04 tCO<sub>2</sub>e/ano em 2008 e 3,81 tCO<sub>2</sub>e/ano em 2018, em contrapartida, as famílias da classe de renda mais alta emitiram cerca de 28,73 tCO<sub>2</sub>e/ano em 2008 e 25,94 tCO<sub>2</sub>e/ano em 2018, quase 7 vezes mais do que as famílias da classe de renda inferior. Enquanto as famílias mais pobres, que representavam 24,25% do total de famílias brasileiras em 2018, foram responsáveis por 11,97% do total de emissões, as famílias mais ricas foram responsáveis por 8,31% do total de emissões, embora representassem apenas 2,47% do total de famílias em 2018. Os mais ricos devem considerar uma mudança no seu padrão de consumo e buscar alternativas que impliquem em menos emissões para diminuir suas pegadas de carbono.

<sup>I</sup> Universidade de São Paulo (USP), São Paulo, SP, Brasil.

<sup>II</sup> Universidade de São Paulo (USP), São Paulo, SP, Brasil.

**Palavras-chave:** Pegada de Carbono. Sustentabilidade. Modelo Insumo-produto. Pesquisa de Orçamento Familiar. Disparidade Social.

São Paulo. Vol. 26, 2023

*Artigo Original*

DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/1809-4422asoc2022039r2vu2023L4AO>

## Introdução

Conforme o Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climática (IPCC), desde 1850 até 2019, a ação antrópica ocasionou um aquecimento do planeta em aproximadamente 1°C (IPCC, 2021a). Há um grau elevado de confiança científica que a mudança climática, induzida pelo homem, tenha causado danos generalizados e graves a seres humanos e sistemas naturais pelo aumento da frequência e/ou intensidade e/ou duração de eventos climáticos extremos, incluindo secas, incêndios florestais, ondas de calor terrestres e marítimas e ciclones (IPCC, 2021a). Se a redução de emissões de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) e outros gases de efeito estufa (GEE) não for alcançada, espera-se que as mudanças climáticas tenham efeitos negativos na natureza e na sociedade de forma global. Deste modo, a sociedade terá que ir além dos acordos mundiais existentes caso queira limitar o aquecimento do planeta (SKÖLD et al., 2018).

As atividades humanas, entre 1750 e 2019, foram responsáveis pela emissão de 2.560 GtCO<sub>2</sub> (IPCC, 2021). A fim de limitar o aquecimento global, até 2100, em 1,5°C, a massa restante de CO<sub>2</sub> adicional na atmosfera, entre 2020 e 2100, se limitaria a 500 GtCO<sub>2</sub> (IPCC, 2021a). A partir do início da era industrial, as emissões têm aumentado, e na última década (2010-2019) elas chegaram a 35,2 GtCO<sub>2</sub> (IPCC, 2021a). Como cerca de 44% do CO<sub>2</sub> emitido permanece na atmosfera, restariam para a humanidade cerca de 32 anos, mantendo o nível de emissão observado na última década.

Entre 2010 e 2019, a média das emissões anuais no Brasil foram de 1,9 GtCO<sub>2</sub> (SEEG, 2019). Apesar de representarem apenas 5% das emissões globais, as emissões brasileiras também contribuem para o aumento da concentração de CO<sub>2</sub> na atmosfera e, como signatário do Acordo de Paris, no âmbito da Convenção Quadro das Nações Unidas para a Mudança Climática, o país deve promover a redução de suas emissões.

Desigualdade econômica e mudança climática são questões urgentes que têm escalado no topo da agenda política global, mas as ações para mitigar ambas permanecem lentas (MILLWARD-HOPKINS; OSWALD, 2021). Mundialmente, estima-se que o consumo familiar seja responsável por mais de 72% das emissões de GEE. Entretanto, ainda existem lacunas importantes com relação aos padrões de tais emissões e seus fatores determinantes (DUBOIS et al., 2019; MINX et al., 2013).

As emissões de carbono estão fortemente relacionadas à renda familiar - tanto em uma determinada nação quanto entre as nações (BOUCHER, 2016). Dentre as dificuldades para diminuição da pegada de carbono estão a dissociação de aumento no consumo devido ao aumento na renda e a escolha de bens e serviços menos intensivos em carbono (BOUCHER, 2016). Desta forma, é essencial estudar a pegada de carbono, que representa a somatória das emissões de um indivíduo, grupo ou família (ABNT, 2021).

No panorama global, existem grandes diferenças entre as pegadas dos mais pobres e a dos mais ricos. O Banco Mundial classifica as famílias dos países em desenvolvimento em quatro categorias, sendo que a faixa de consumo mais modesto, que está abaixo de \$ 2,97, em paridade de poder de compra (PPP), corresponde à metade das famílias. Em média, para esta faixa, com a menor renda, a pegada de carbono é de 1,6 toneladas de dióxido de carbono equivalente (tCO<sub>2</sub>e) por ano, enquanto a pegada de carbono média

para pessoas de renda mais alta, os 10% da população, com renda superior a \$ 23,03 PPP per capita por dia, é 17,9 tCO<sub>2</sub>e por ano (HUBACEK et al., 2017a).

Em 2017, mundialmente, os mais ricos (pessoas de qualquer parte do planeta com renda superior a \$ 23 PPP por dia) representavam cerca de 10% da população, mas foram responsáveis por 36% das emissões de GEE para o consumo de bens e serviços emitidos no processo ao longo das cadeias globais de abastecimento. Os mais pobres (pessoas com renda inferior a \$ 2,97 PPP por dia) representavam 50% da população global, mas foram responsáveis por 15% das emissões totais de GEE (HUBACEK et al., 2017b).

Alguns países desenvolvidos diminuíram o lançamento de GEE na atmosfera, mas continuam sendo os maiores responsáveis pelo aquecimento global, pois não diminuíram seu consumo. A busca pelo crescimento a qualquer custo, especialmente nos países do Norte, com maiores níveis de consumo, deve ser questionada para garantir a sustentabilidade ambiental (MARTÍNEZ-ALIER, 2012). Assim, analisar as emissões de GEE, considerando apenas o local da produção de bens, possibilita a observação somente das emissões de forma direta, mas não a cadeia de suprimentos e o seu responsável, o consumo das famílias (IVANOVA et al., 2017).

As indústrias mudaram seus pátios, seguindo uma dinâmica de alocação das unidades de produção em função das vantagens comparativas de cada local (país, região, província, estado), assim como as externalidades socioambientais que caracterizam esses processos alocativos (IVANOVA et al., 2017). Os produtos podem acumular uma carga significativa de impactos ambientais, ao longo de suas cadeias globais de produção, antes que eles cheguem aos consumidores finais e tais efeitos são ignorados a partir de uma perspectiva puramente territorial dos precursores dos impactos (IVANOVA et al., 2017).

Por fim, destaca-se que poucos esforços foram feitos para quantificar as diferenças na pegada de carbono associada ao consumo doméstico em países de baixa e média renda, como os países da América Latina (ZHONG et al., 2020). Também, salienta-se que a formulação de medidas políticas direcionadas e eficazes para diminuição da pegada de carbono das famílias depende de uma compreensão completa dos padrões de consumo prevalentes e das consequências ambientais associadas, portanto, é substancial investigar e comparar comportamentos familiares e pegadas de carbono induzidos pelo estilo de vida (FROEMELT; WIEDMANN, 2020).

Assim, o objetivo deste artigo é analisar as emissões de carbono por uma ótica do consumo das famílias no Brasil, quantificando a massa de emissões de GEE (diretamente e indiretamente) por classe de renda no país nos anos de 2008 e 2018.

## Metodologia

As pegadas de carbono (PC) das famílias brasileiras resultaram da soma das emissões diretas (ED) e indiretas (EI) de GEE das mesmas (ver Equação 1), calculadas por meio do consumo médio de cada classe de renda (CR), sendo esses valores recuperados da Pesquisa de Orçamento Familiar (POF) do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). A unidade de medida foi a tonelada métrica de CO<sub>2</sub>e por ano, por isso o valor

das emissões foi multiplicado por 12, visto que as informações de consumo disponibilizadas pela POF têm como base temporal o mês.

$$\text{Equação 1: } PCCR = ED_{CR} \times 12 + EI_{CR} \times 12$$

As CRs foram divididas conforme a tabulação dos dados disponibilizados pelo IBGE em seu Sistema de Recuperação Automática (SIDRA) e a divisão correspondem ao salário-mínimo vigente nos respectivos anos (ver Tabela 1). Os valores dolarizados foram ajustados pela paridade de poder de compra de acordo com os dados da referência *Organization for Economic Co-operation and Development (OECD, 2023)*. Vale destacar que em 2008 o salário-mínimo nominal era de R\$ 830,00 e em 2018 o valor era de R\$ 1.908,00, sendo que o IBGE dividiu as classes de renda conforme a renda familiar tanto em 2008 quanto em 2018.

Tabela 1 - Separação das classes de renda (CR) conforme a renda mensal

Classe de renda	Renda familiar 2008	Renda familiar 2008 (em USD)	Renda familiar 2018	Renda familiar 2018 (em USD)	Renda familiar em salários-mínimos nominais
E	Até R\$ 830	Até US\$ 504,23	Até R\$ 1.908	Até US\$ 1.162,26	Até 2 salários
D2	Mais de R\$ 830 a R\$ 1.245	Mais de US\$ 504,23 a US\$ 756,34	Mais de R\$ 1.908 a R\$ 2.862	Mais de US\$ 1.162,26 a US\$ 1.743,42	De 2 a 3 salários
D1/C2	Mais R\$ 1.245 a R\$ 2.490	Mais de US\$ 756,34 a US\$ 1.512,68	Mais de R\$ 2.862 a R\$ 5.724	Mais de US\$ 1.743,32 a US\$ 3.486,85	De 3 a 6 salários
C1	Mais de R\$ 2.490 a R\$ 4.150	Mais de US\$ 1.512,68 a US\$ 2.521,13	Mais de R\$ 5.724 a R\$ 9.540	Mais de US\$ 3.486,85 a US\$ 5.811,40	De 6 a 10 salários
B2	Mais de R\$ 4.150 a R\$ 6.225	Mais de US\$ 2.521,13 a US\$ 3.781,69	Mais de R\$ 9.540 a R\$ 14.310	Mais de US\$ 5.811,40 a US\$ 8.717,10	De 10 a 15 salários
B1/A2	Mais de R\$ 6.225 a R\$ 10.375	Mais de US\$ 3.781,69 a US\$ 6.302,81	Mais de R\$ 14.310 a R\$ 23.850	Mais de US\$ 8.717,10 a US\$ 14.528,52	De 15 a 25 salários
A1	Mais de R\$ 10.375	Mais de US\$ 6.302,81	Mais R\$ 23.850	Mais de US\$ 14.528,52	Mais de 25 salários

Fonte: elaborado pelos autores com base em (DIEESE, 2021; IBGE, 2019a; IPEA, 2020; MENEZES, 2021; OECD, 2023).

O cálculo das pegadas de carbono das famílias brasileiras segue os escopos do GHG Protocol (FGV; WRI, 2008), sendo que o escopo 1 remete às emissões diretas de GEE - também denominada de emissões de CO<sub>2</sub>e -, oriundas da queima direta de combustíveis fósseis - gasolina e gás liquefeito de petróleo (GLP) - ; o escopo 2 remete as emissões ocasionadas pelo uso de eletricidade nos domicílios; e o escopo 3 corresponde às emissões indiretas calculadas por meio de modelos insumo-produto (MIP) com dados brasileiros.

O modelo de insumo-produto brasileiro faz parte do Sistema de Contas Nacionais (SCN) do IBGE. Trata-se de uma matriz composta pelos coeficientes técnicos, representando os fluxos econômicos entre cada um dos pares de setores da economia para um dado ano. Vale ressaltar que para calcular as emissões do escopo 3 foi realizada uma relação entre as despesas descritas na POF e as atividades econômicas do SCN do IBGE. Assim, o método utilizado segue uma avaliação do ciclo de vida híbrida, que combina as repercussões ambientais nas cadeias econômicas, por meio de um modelo de insumo produto associado às emissões de GEE, aos cálculos das emissões pelo consumo direto de vetores energéticos.

### **Cálculo das emissões diretas (escopos 1 e 2)**

As ED das famílias brasileiras foram calculadas por meio dos gastos mensais com combustíveis fósseis (o uso direto de biocombustíveis foi considerado como neutro em emissão) e energia elétrica. O valor monetário gasto em determinada categoria da POF (\$) foi dividido pelo seu preço médio praticado pelo mercado varejista na data da pesquisa ( $\bar{p}$ ). Desta forma, encontrou-se a quantidade do produto consumido no mês ( $Q_m$ ), conforme a Equação 2. Os valores de preço médio coletados foram os seguintes: R\$ 2,50/l (2008) e R\$ 4,20/l (2018) para gasolina (TREVIZAN, 2021); R\$ 2,13/kg (2008) e R\$ 5,33/kg (2018) para o GLP (MANFREDINI, 2019); R\$ 0,25/kWh (2008) e R\$ 0,55/kWh (2018) para energia elétrica (ANEEL, 2022).

$$\text{Equação 2: } Q_m = \frac{\$}{P}$$

Os fatores de emissão (Fe), que são a relação entre a quantidade de impacto gerado e a quantidade de matéria prima transformada ou queimada, de GEE dos combustíveis fósseis e energia elétrica considerados nessa pesquisa foram os seguintes: 1,7 kg/l (2008) e 1,6 kg/l (2018) para gasolina (BRASIL, 2015; EPE, 2021; IPCC, 2006); 0,003 t/kg para GLP (EPE, 2021; IPCC, 2006); 0,000025 t/kWh (2008) e 0,000074 t/kWh (2018) para energia elétrica (MCTIC, 2021). Vale destacar que foi considerada a mistura de etanol na gasolina, prevista por lei (BRASIL, 2015), diminuindo assim o Fe da mesma. Para 2008 foi considerado o valor vigente naquele período de 25% de mistura de etanol e para 2018 o valor vigente na época de 27% (BRASIL, 2015).

Para encontrar os valores de ED das famílias brasileiras multiplicou-se os valores de  $Q_m$  pelo Fe de cada item.

### Emissões indiretas das famílias brasileiras (escopo 3)

A quantificação das EI das famílias brasileiras foi feita por meio de três fontes de dados, criando assim os MIPs:

- dados tabulados das POF 2008 e 2018, recuperados do SIDRA do IBGE (IBGE, 2019a).
- matriz Leontief 2010 do SCN do IBGE (IBGE, 2020) e matriz Leontief 2018 recuperada do Núcleo de Economia Regional e Urbana da Universidade de São Paulo (NEREUS) (GUILHOTO; SESSO FILHO, 2005, 2010; NEREUS, 2020).
- inventário de emissões de GEE, tendo como principal base os Balanços Energéticos Nacional (BEN) 2009 (EPE, 2009) e 2019 (EPE, 2019).

Para os dados de consumo familiar foram calculadas duas pegadas: de energia e de carbono. A pegada de energia foi o ponto de partida para calcular as emissões de GEE por uso energético das atividades econômicas. As EI são o resultado da multiplicação da matriz Leontief (L), do vetor coluna das despesas da classe de renda ( $F_{CR}$ ) (dados da POF) e do vetor coluna dos coeficientes de emissão ( $C_e$ ). O resultado foi expresso para cada CR, conforme a Equação 3.

$$\text{Equação 3: } EI_{CR} = L \times C_e \times F_{CR}$$

A matriz (L) foi elaborada a partir de uma matriz intersetorial. A matriz intersetorial demonstra os fluxos econômicos intersetoriais de uma determinada economia, em outras palavras, o quanto cada atividade econômica consome monetariamente de outra, ou de si mesma. Em 2010, a matriz (L) brasileira foi disponibilizada em 3 dimensões: 12, 20 e 67 (IBGE, 2015). Neste trabalho utilizou-se a matriz de dimensão 67, referente aos anos de 2010 e 2018.

### Cálculo dos coeficientes de energia e emissão

Nesta subseção, demonstra-se o cálculo dos coeficientes dos modelos insumo-produto para quantificar as pegadas de carbono familiar brasileiras. Vale destacar que o modelo insumo-produto foi consolidado por Wassily Leontief no final dos anos 1930, sendo que a análise insumo-produto é um dos métodos mais amplamente aplicados em economia e desde o final da década de 1960 o método foi ampliado por diversos pesquisadores para quantificar a poluição ambiental associada à atividade interindustrial.

### Coeficientes de energia

Para o cálculo dos coeficientes de consumo de energia, foram utilizados os dados do Balanço Energético Nacional de 2009 e 2019. Os dados de consumo do BEN são di-

vididos em diversos setores econômicos, sendo: transporte aéreo, agricultura, alimentos e bebidas, fabricação de produtos cerâmicos, comercial, fabricação de ferro-gusa e aço, transporte aquaviário, mineração e pelotização, fabricação de não ferrosos e outras metalurgias, fabricação de celulose e papel, setor público, fabricação de produtos químicos, uso residencial, transporte ferroviário, transporte rodoviário, produção têxtil, setor de energia, fabricação de cimento, fabricação de ferroligas e outras indústrias (EPE, 2019).

Os coeficientes de consumo foram calculados para as seguintes fontes de energia: óleo diesel, eletricidade, lenha, carvão mineral, gás natural (GN), outros (gás de carvão, óleo combustível, gasolina, GLP e querosene), coque de petróleo e produtos da cana-de-açúcar (EPE, 2019). Para calcular os coeficientes de energia, o volume total do consumo energético de cada atividade foi dividido pelo valor de produção da atividade econômica respectiva, sendo que foi determinada a emissão de GEE associada à conversão da energia para cada tipo de fonte.

### Coeficiente de emissões de dióxido de carbono

As emissões de GEE de cada atividade foram calculadas somando-se os processos energéticos, industriais e agrícolas (incluindo pecuária e atividades de produção florestal). Os valores de emissão foram calculados em unidades de GEE, considerando os potenciais de aquecimento global (em inglês *Global Warming Potential (GWP)*) (IPCC, 2021b).

As emissões de GEE de energia foram elaboradas multiplicando-se o consumo de cada vetor energético pelos seus respectivos fatores de emissão, descritos no *Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories* (IPCC, 2006).

O Inventário Nacional de Emissões (MCTIC, 2017) foi utilizado para determinar as emissões dos processos industriais (fabricação de ferro-gusa e aço, ferroligas, indústria química, não ferrosos e outras siderúrgicas, cimento e mineração e pelotização) assim como as emissões do uso agrícola (pecuária e produção florestal). As emissões do uso agrícola são oriundas da fermentação entérica do gado, do manejo de resíduos animais, do cultivo do arroz, da queima de resíduos agrícolas e do cultivo de solos agrícolas.

A Equação 4 mostra a soma dos coeficientes de emissão, destacando que os coeficientes são o quociente da emissão total de GEE em cada atividade dividido pelo valor de produção da respectiva atividade.

$$\text{Equação 4: } C_{et_{at}} = C_{ee_{at}} + C_{ep_{at}} + C_{ea_{at}}$$

Onde:

- $C_{et_{at}}$  : Coeficiente total de emissão de GEE para cada atividade.
- $C_{ee_{at}}$  : Coeficiente de emissão de GEE para uso de energia em cada atividade
- $C_{ep_{at}}$  : Coeficiente de emissão de GEE para processo industrial em cada atividade (em apenas algumas atividades, como produção de minerais não-metálicos).

- $C_{at}$ : Coeficiente de emissão de GEE para uso agrícola em cada atividade (apenas nas atividades: agricultura, pecuária e produção florestal).

### Limitações e ajustes do modelo insumo-produto

Não foram consideradas as emissões fugitivas de GEE (emissões de  $CO_2$  e de equipamentos sob pressão, que ocorrem devido à vazamentos e outras liberações involuntárias de gases). O uso do óleo diesel no transporte rodoviário advém do consumo de dois segmentos: carga e passageiros. Este último não deve ser quantificado em um MIP por se tratar de um consumo doméstico (GENTY; ARTO; NEUWHAL, 2012). Desta forma, as emissões de GEE na atividade de transporte terrestre foram estimadas considerando a participação de 52% do transporte de cargas na atividade econômica (SEEG, 2019).

Uma relação foi elaborada entre os setores econômicos do BEN e as atividades econômicas, visto que a classificação de cada órgão não segue o mesmo padrão. O Balanço Energético Nacional: Manual Metodológico (EPE, 2021) foi utilizado para elaborar a correlação. Nos casos em que o consumo de energia de determinado setor teve que ser dividido, por haver duas ou mais atividades econômicas do SCN incluídas no mesmo setor do BEN, o consumo de energia foi considerado proporcional ao valor de produção da atividade. Assim, as atividades com maiores valores de produção foram responsáveis por valores maiores de consumo de energia.

A análise dos microdados da POF permitiria um estudo mais robusto e detalhado sobre a pegada de carbono das famílias brasileiras, entretanto, optamos por uma análise por divisão de salários-mínimos, limitando os resultados da pesquisa à faixas delimitadas pelo número de salários-mínimos.

### Pesquisa de Orçamento Familiar (POF)

A POF 2008 investigou uma amostra de 55.970 domicílios em todas as unidades federativas no Brasil entre 2008 e 2009 (IBGE, 2011), e a POF 2018 investigou uma amostra de 57.920 domicílios (IBGE, 2019b). A pesquisa não abordou a pegada de carbono familiar, mas investigou os gastos familiares relacionado as CRs dos domicílios, permitindo assim a criação do MIP criado nessa pesquisa, bem como o cálculo das emissões diretas. Desta forma, a pesquisa teve como objetivo mensurar a estrutura de consumo, gastos e renda das famílias brasileiras. A amostragem foi desenhada de forma a possibilitar a publicação dos resultados em diferentes níveis regionais (IBGE, 2011). A POF 2008 foi realizada entre 2008 e 2009, sendo seus resultados divulgados em 2009. Por isso utilizou-se a matriz Leontief disponibilizada em 2010 sem realização de qualquer ajuste.

As despesas de consumo correspondem às despesas realizadas pelos domicílios para aquisição de bens e serviços utilizados para o atendimento de suas necessidades pessoais e familiares. As categorias pesquisadas foram: alimentos; habitação; confecções; transporte; higiene pessoal e cuidados; assistência médica; educação; recreação e cultura; fumo; serviços pessoais; e despesas diversas (IBGE, 2011).

A pesquisa foi realizada com o preenchimento de formulários. Dependendo do

formulário o preenchimento era individual, mas em outros o preenchimento era coletivo, referindo-se às despesas com aquisições para o domicílio. Os formulários de pesquisa utilizados na POF 2008 e na POF 2018 foram os seguintes:

- POF 1: questionário de características do domicílio e moradores (formulário preenchido por meio do(a) chefe da família ou qualquer outro morador).
- POF 2: questionário de aquisição coletiva (formulário preenchido por meio do(a) chefe da família ou qualquer outro morador).
- POF 3: caderno de aquisição coletiva (formulário preenchido por meio do(a) chefe da família ou qualquer outro morador).
- POF 4: questionário de aquisição individual (formulário individual preenchido por todos os moradores do domicílio maiores de 18 anos).
- POF 5: questionário de trabalho e renda individual (formulário individual preenchido por todos os moradores do domicílio maiores de 18 anos).
- POF 6: avaliação das condições de vida e (formulário preenchido por meio do(a) chefe da família ou qualquer outro morador).
- POF 7: bloco de consumo alimentar pessoal (formulário individual preenchido por todos os moradores do domicílio maiores de 18 anos selecionados, não sendo necessário o preenchimento de todos os moradores).

Conforme o IBGE (2019b), domicílio foi a unidade amostral das POFs, consistindo em unidade de investigação e análise para caracterização das condições de moradia das famílias.

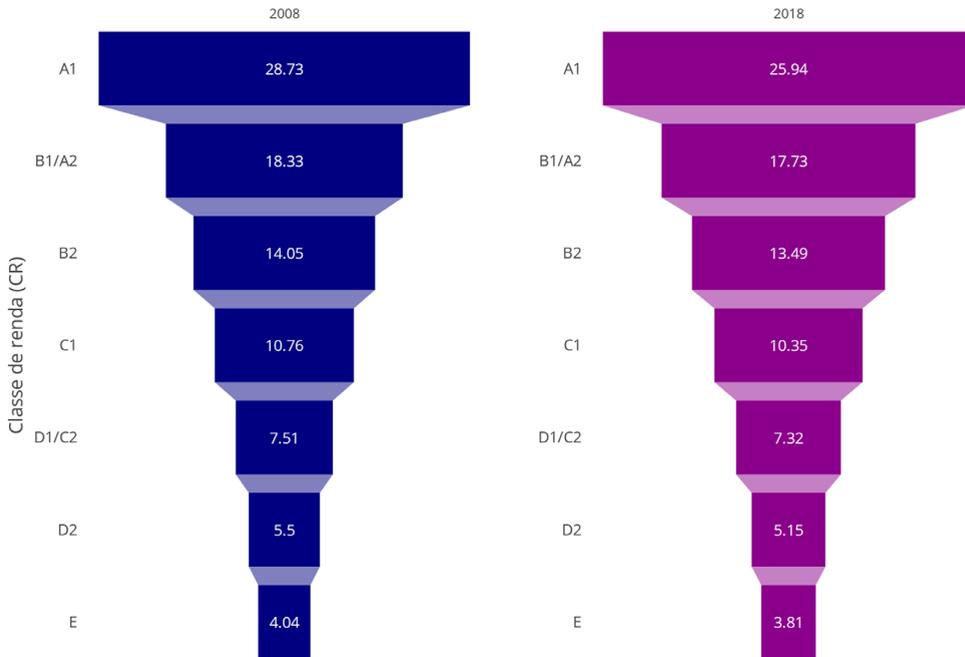
## Resultados e discussão

A Figura 1 mostra a quantificação da pegada de carbono familiar referente aos anos de 2008 e 2018. Pode ser observada a “taça” das emissões familiares brasileira. As famílias mais pobres (classe E) emitiram 4,04 tCO<sub>2</sub>e em 2008 e 3,81 tCO<sub>2</sub>e em 2018, enquanto as famílias mais ricas (classe A1) emitiriam 28,73 tCO<sub>2</sub>e em 2008 e 25,94 tCO<sub>2</sub>e em 2018, cerca de 7 vezes mais que as famílias mais pobres (tanto em 2008 quanto em 2018). A emissão média das famílias brasileiras foi 8,7 tCO<sub>2</sub>e em 2008 e 7,7 tCO<sub>2</sub>e em 2018.

Se comparado com o estudo de Jones e Kammen (2011), a classe mais rica brasileira emitiu menos carbono que a média das famílias norte-americanas, que correspondeu a cerca de 48 tCO<sub>2</sub>e/ano em 2005. Entretanto, os mais ricos, tanto em 2008 e 2018, emitiram mais que a média dos domicílios noruegueses (22,30 tCO<sub>2</sub>e/ano em 2012) (STEEN-OLSEN; WOOD; HERTWICH, 2016). Em comparação às famílias alemãs, os mais ricos no Brasil emitiram menos quando comparado aos valores de 2008 (aproximadamente 30 tCO<sub>2</sub>e em 2008 emitidos pelos domicílios na Alemanha (MIEHE et al., 2016)) contra 28,73 tCO<sub>2</sub>e dos mais ricos no Brasil).

A grande parcela das pegadas de carbono familiar ocorreu de maneira indireta (variando entre 85% e 91% da pegada de carbono familiar, conforme o ano do MIP e da CR), ou seja, na cadeia de produção dos bens e serviços. Em 2018, o cenário se manteve o mesmo que em 2008, com os mais ricos emitindo consideravelmente mais que os pobres.

**Figura 1 – Pegada de carbono familiar por classe de renda no Brasil, em tCO<sub>2</sub>e**



Fonte: elaborado pelos autores com base em (EPE, 2009, 2019; IBGE, 2010; IPCC, 2006; MCTIC, 2017; NEREUS, 2020).

A tendência de os ricos emitirem mais GEE que os mais pobres (HUBACEK et al., 2017a) também é predominante no Brasil. Há uma disparidade das emissões de CO<sub>2</sub>e das famílias brasileiras. Enquanto as famílias mais pobres (classe E), que representavam mais de 20% em 2008, emitiram cerca de 10% das emissões totais por consumo doméstico, as famílias com renda acima de 6.302,81 USD, ajustados pela PPP em 2008 (classe A1) emitiram 12,52% das emissões totais domésticas e representavam apenas 3,81% das famílias em 2008. A Figura 2 ilustra esse resultado.

Em 2018 o panorama de desigualdade de carbono se manteve, mas houve uma diminuição na disparidade, sendo que os mais ricos diminuíram sua parcela nas emissões totais por consumo doméstico e os mais pobres aumentaram sua parcela. As famílias da classe A1 representavam 2,47% do total de famílias e emitiram 8,31% das emissões de GEE por consumo doméstico em 2018. Já as famílias mais pobres (classe E), representavam,

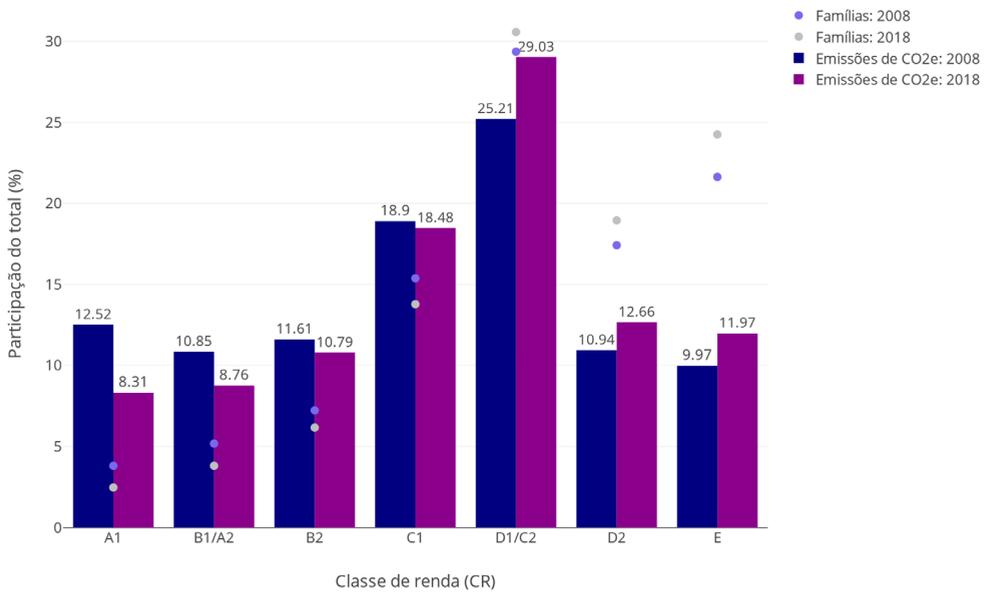
em 2018, 24,25% das famílias e induziram 11,97% das emissões de GEE (ver Figura 2).

Continuando a análise da Figura 2, a classe D1/C2 quase igualou sua porcentagem de domicílios com sua parcela de indução de emissões. Em 2008, a classe D1/C2 representava 29,36% das famílias e foi responsável por 25,21% das emissões totais de GEE por consumo doméstico. Já em 2018, a classe D1/C2 representava 30,57% das famílias e foi responsável por 29,03% das emissões totais de GEE por consumo doméstico. A classe C1 também praticamente manteve-se igual na participação por famílias e emissões (15,38% das famílias e 18,90% das emissões em 2008, 13,78% das famílias e 18,48% das emissões em 2018).

Vale ressaltar, que em dezembro de 2018 o salário-mínimo ideal, conforme o Departamento Intersindical de Estatística e Estudos Socioeconômicos (DIEESE), era igual a R\$ 3.960,57 (DIEESE, 2022). A renda nominal das famílias das classes de renda E e D2 foram inferior a esse valor (cerca de 43% das famílias brasileiras). Ou seja, cerca de 43% das famílias brasileiras ganhavam menos que o ideal para sobreviver e foram responsáveis por somente um quarto das emissões de carbono familiar no Brasil.

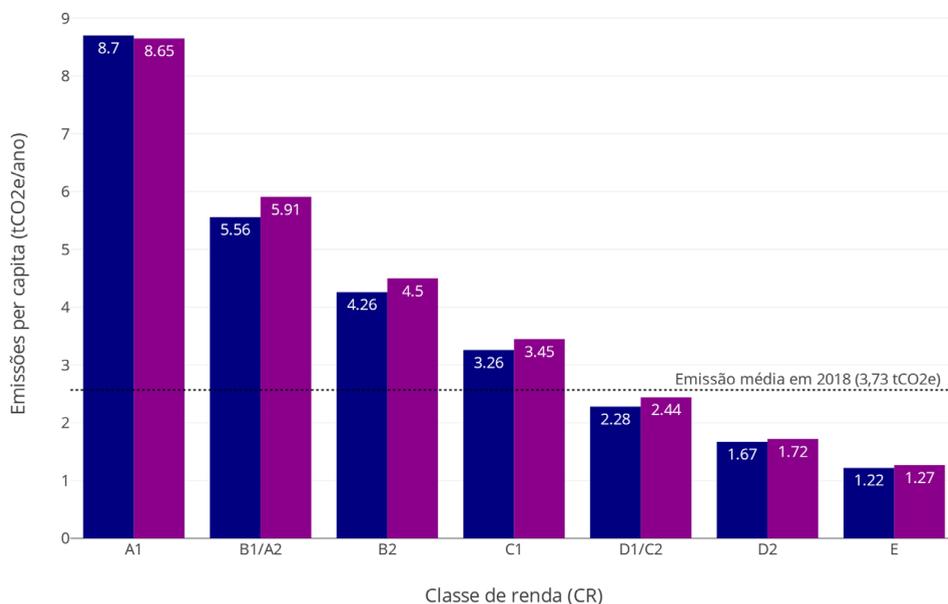
Entre 2008 e 2018, houve a diminuição da parcela de famílias nas CRs mais ricas (A1 que representava 3,81% em 2008 passou para 2,47% em 2018, B1/A2 que representava 5,18% em 2008 passou para 3,81% em 2018, B2 que representava 7,23% em 2008 passou para 6,17% em 2018), entretanto, a variação do Produto Interno Bruto (PIB) per capita entre 2008 e 2018 cresceu 3,62% (em 2008 o PIB per capita brasileiro era de 8.831,18 USD e em 2018 o PIB per capita foi de 9.151,38 USD (WORLD BANK, 2022), ajustados pelo PPP (OECD, 2023) estes valores correspondem respectivamente a 10.729,88 USD e 20.370,97 USD). Deste modo, houve uma diminuição da parcela de famílias nas CRs mais ricas, mas o PIB per capita praticamente dobrou se considerados os valores em USD PPP.

**Figura 2 – Participação por classe de renda na porcentagem de famílias e emissões de GEE**



Fonte: elaborado pelos autores com base em (EPE, 2009, 2019; IBGE, 2010; IPCC, 2006; MCTIC, 2017; NEREUS, 2020).

Considerando os valores médios de pessoas por família (BRASIL, 2021), foram calculadas a pegada de carbono per capita para as CRs brasileiras (ver Figura 3). As médias de todas as CRs (exceto a média da classe E para o ano de 2008) foram maiores que a média da pegada de carbono chinesa (1,70 tCO<sub>2</sub>/cap (WIEDENHOFER et al., 2017)). Quando comparada com a média de emissão per capita australiana (27 tCO<sub>2</sub>e/ano (TUKKER et al., 2014)) a média de todas as CRs brasileiras foi menor (tanto em 2008 quanto em 2018). Quando comparada mundialmente, as médias das classe E (1,22 tCO<sub>2</sub>e/ano em 2008 e 1,27 tCO<sub>2</sub>e/ano em 2018) seguem a tendência da menor renda (1,6 tCO<sub>2</sub>e/ano (HUBACEK et al., 2017a)). Já em comparação com as pessoas mais ricas, a classe mais alta brasileira, classe A, emitiu menos carbono que a média global (8,65 tCO<sub>2</sub>e/ano em 2018 nas famílias brasileiras contra a média global de 17,9 tCO<sub>2</sub>e/ano (HUBACEK et al., 2017a)).

**Figura 3 – Emissões de carbono per capita (por consumo) no Brasil, em tCO<sub>2</sub>e**

Fonte: elaborado pelo autores com base em (EPE, 2009, 2019; IBGE, 2010; IPCC, 2006; MCTIC, 2017; NEREUS, 2020).

Conforme a Figura 4, alimentação foi a categoria que mais induziu emissões de carbono, tanto na classe de renda mais alta (A1) quanto na classe de renda menor (E). Atualmente a agricultura brasileira possui metas para uma agropecuária mais sustentável, sendo essas estabelecidas pelo plano setorial da Agricultura (Plano ABC). O plano ABC promove a adoção de tecnologias sustentáveis e conservadoras dos recursos naturais (EMPRABA, 2018). Entretanto, apesar das melhorias sustentáveis no manejo agrícola, mudanças comportamentais nos consumidores são um dos principais meios para atingir-se um desenvolvimento sustentável (KALBAR et al., 2016).

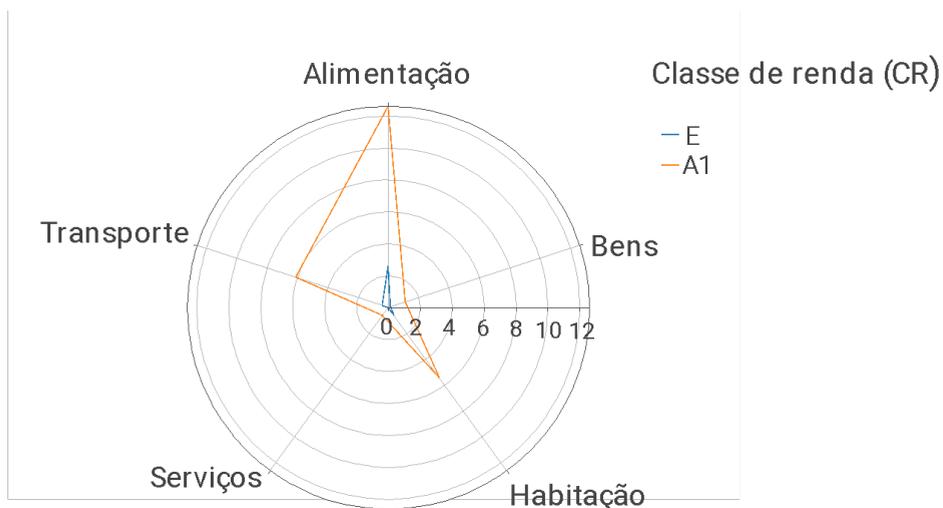
Reduzir a pegada de carbono familiar por meio da alimentação necessitaria de uma mudança no comportamento, que pode vir por meio da troca de alimentos, como a substituição de alimentos de origem animal por produtos vegetais, trazendo também benefícios à saúde e a redução das emissões de carbono (ESTEVE-LLORENS et al., 2021). Entretanto, reduzir totalmente o consumo de proteína animal nas CRs mais baixas pode ser mais prejudicial do que benéfico. Uma dieta inteiramente vegetariana poderia levar a algumas deficiências nutricionais (HERRMANN; SAUERBORN; NILSSON, 2020) e pessoas com renda mais baixa possuem maior probabilidade de sofrerem insegurança alimentar, com preocupação ou incerteza, e até mesmo falta ou privação de alimentos (TAVARES; LIMA, 2021). A insegurança alimentar também pode ocasionar deficiências nutricionais (TAVARES; LIMA, 2021), dessa forma, a redução de proteína animal em

famílias de baixa renda poderia acentuar ainda mais um quadro de insegurança alimentar e subnutrição.

Também conforme a Figura 4 é possível notar que a categoria transporte induziu quantidades significativas nas pegadas de carbono familiar brasileiras. Para a construção de cenários de baixo carbono e redução das emissões de CO<sub>2</sub>, o uso de bioenergia é uma alternativa usualmente considerada. O Brasil é referência no mercado mundial de agroenergia, tornando a expansão do uso do etanol em veículos leves uma opção viável para o transporte de baixo carbono. Além disso, a tecnologia dos veículos elétricos, já existente no mercado externo, poderá futuramente disponibilizar uma frota de veículos novos para atender a população das grandes cidades brasileiras (CAMARGO; SIMÕES; PACCA, 2019). Porém, devido ao alto preço desses modelos (cerca de R\$ 100 mil em 2021), as classes de renda com menor rendimento não terão acesso imediato a eles (VICENZO, 2021), mas as classes com maior rendimento certamente terão, e sendo essas as que mais emitem, torna-se justa a aquisição de veículos elétricos por famílias com alta renda.

Em comparação com a pegada de carbono das famílias norte-americanas, há uma diferença entre a importância das atividades quanto comparada com os modelos brasileiros de 2008 e 2018. No modelo norte-americano de Jones e Kammen (2011), a categoria que mais induziu emissões de carbono foi o transporte, seguido por habitação e alimentação. Já nos modelos brasileiros há uma inversão, sendo a principal categoria indutora a alimentação, seguida por habitação e transporte. Já no modelo de Steen-Olsen et al. (2016), as principais categorias seguem a tendência do modelo de Jones e Kammen (2011), sendo a principal categoria indutora o transporte, seguido por habitação, alimentação e recreação. No modelo de Miehe et al. (2016), há uma mudança e a principal categoria indutora de emissões de carbono foi a habitação, seguida de transporte e alimentação.

Diferente do que ocorreu no estudo de López et al. (2016), o tamanho do consumo não é o único fator que influencia a pegada de carbono das famílias brasileiras. Enquanto alimentação representava cerca de 68% das emissões de carbono na classe E (em 2018), a parcela representada por essa categoria cai para cerca de 45% na classe A1 (também em 2018). Em 2018, a categoria de transporte foi responsável por cerca de 6% das emissões na classe E, enquanto na classe A1 foi de cerca de 15% (ver Figura 4). Portanto, há uma diferença na representatividade das categorias dentre as CRs.

Figura 4 – Emissões de carbono por categoria, em tCO<sub>2</sub>e

Fonte: elaborado pelos autores com base em (EPE, 2009, 2019; IBGE, 2010; IPCC, 2006; MCTIC, 2017; NEREUS, 2020).

Apesar dos valores significativos de emissões de GEE, o poder de escolha individual e a disposição para alterar hábitos de consumo e estilo de vida estão fomentando uma relação mais transparente entre os consumidores e os produtos que adquirem, bem como os efeitos ambientais resultantes. Exemplos como a cerveja Praya, pioneira na compensação de suas emissões de carbono, e o leite de avelã Nude, o primeiro leite vegetal do mercado com pegada de carbono neutra, ilustram de que maneira a produção de itens com menor intensidade de carbono pode impulsionar a formação de um vínculo mais sustentável entre as marcas e os indivíduos (GOMES, 2021). Esses avanços abrem a perspectiva para que consumidores que atualmente optam por produtos de alta pegada de carbono possam, no futuro, fazer escolhas voltadas a produtos com emissões reduzidas de GEE.

De qualquer maneira, a adoção de produtos mais sustentáveis por parte de indivíduos ou famílias requer a implementação de políticas públicas embasadas em informação e persuasão (BRAVO et al., 2013). Por exemplo, uma campanha pública no Reino Unido levou ao aumento significativo na conscientização sobre a ligação entre o comportamento individual e o meio ambiente (JACKSON; MICHAELIS, 2003). Há outros estudos que mostraram que as políticas informativas e normativas são mais eficazes do que os estímulos econômicos na produção de mudanças comportamentais (BRAVO et al., 2013). No Brasil, atualmente existem diversas calculadoras de carbono que quantificam emissões e auxiliam os indivíduos a pouparem ou compensar carbono. Alguns exemplos são as calculadora de carbono do banco Bradesco (BRADESCO, 2021) e da organização não governamental SOS Mata Atlântica (SOS MATA ATLÂNTICA, 2021). Mas vale destacar, que as famílias ainda não estão dispostas a tomarem decisões drásticas quanto à diminuição do seu consumo (SKÖLD et al., 2018).

## Conclusões

No Brasil, as emissões de carbono são significativamente desiguais, tendo os mais ricos como maiores contribuintes (a classe A1 emitiu quase 7 vezes mais que a classe E, tanto em 2008 quanto em 2018). Mudanças no estilo de vida das famílias ricas se tornam uma boa alternativa para mitigação das mudanças climáticas, mesmo porque a qualidade de vida dos mais pobres precisa melhorar. Então, vale a pena pensar em políticas para a mitigação climática visando os mais ricos. Seria preciso mudar o hábito alimentar, com a diminuição de alimentos de origem animal, mudança no modo de se locomover, trocando o transporte individual por transporte coletivo, ou o combustível utilizado no automóvel individual (de gasolina para etanol, por exemplo), e a preferência por viagens curtas com transporte ativo. A taxação das emissões de CO<sub>2</sub> deve visar o consumo dos mais ricos.

Entretanto, as pegadas de carbono familiar brasileiras foram induzidas em sua maior parte como resultado da alimentação, sendo menor que as pegadas de carbono familiar norte-americana, australiana e alemã. Nesses países, as pegadas de carbono foram maiores e as categorias indutoras também se mostraram diferentes. De qualquer forma, as pegadas de carbono familiar brasileiras (em sua maior parte) são menores que a de países de alta renda, que se mostram como os maiores responsáveis pelas emissões de carbono, e consequentemente pelas mudanças climáticas.

As pegadas dos mais pobres devem aumentar e seu consumo deve crescer para a satisfação de níveis de bem-estar humano. Programas de transferência de renda, como Bolsa Família, e programas de doação de botijão de gás, como o realizado pela Petrobrás em 2022, são iniciativas que auxiliam na diminuição das mazelas da disparidade social, econômica e de carbono no Brasil, mas não erradicam o problema.

Enfim, os resultados sustentam a busca por políticas públicas, pautadas pela justiça ambiental, alinhando o equilíbrio de emissões, entre as classes de renda, à mitigação da mudança climática.

## Agradecimentos

O autor Celso da Silveira Cachola agradece o apoio das Agências de Financiamento SHELL Brasil e FAPESP por meio do Centro de Pesquisa para Inovação em Gás (RCGI) (FAPESP Proc. 2014/50279–4 e 2020/15230–5), sediado pela Universidade de São Paulo, e da importância estratégica do apoio dado pela ANP por meio do regulamento da taxa de Pesquisa & Desenvolvimento.

## Referências

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **O que é Pegada de Carbono?** Disponível em: <<https://www.abntonline.com.br/sustentabilidade/Pegada/>>. Acesso em: 27 maio. 2021.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). **Tarifa Residencial**. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/relatorio-evolucao-tarifas-residenciais>>. Acesso em: 9 jan. 2022.

BOUCHER, J. L. Culture, Carbon, and Climate Change: a Class Analysis of Climate Change Belief, Lifestyle Lock-in, and Personal Carbon Footprint. *Socijalna Ekologija*, v. 25, n. 1–2, p. 53–80, 2016.

BRADESCO. **Bradesco lança funcionalidade que permite calcular as emissões de carbono**. Disponível em: <<https://valor.globo.com/patrocinado/bradesco/noticia/2021/12/14/bradesco-lanca-funcionalidade-que-permite-calculas-emissoes-de-carbono.ghtml>>. Acesso em: 19 jan. 2022.

BRASIL. **Cronologia da Mistura Carburante (Etanol Anidro e Gasolina)**, 2015. Disponível em: <<https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/sustentabilidade/agroenergia/arquivos/cronologia-da-mistura-carburante-etanol-anidro-gasolina-no-brasil.pdf/view>>

BRASIL. **Famílias e Filhos no Brasil**. 2021. Disponível em: <<https://www.gov.br/mdh/pt-br/navegue-por-temas/observatorio-nacional-da-familia/fatos-e-numeros/familias-e-filhos-no-brasil.pdf>>.

BRAVO, G. et al. Alternative scenarios of green consumption in Italy: An empirically grounded model. *Environmental Modelling and Software*, v. 47, p. 225–234, 2013.

CAMARGO, A. T.; SIMÕES, A. F.; PACCA, S. A. O potencial de mitigação da mudança climática dos vetores energéticos da cana-de-açúcar na frota paulistana de veículos leves. *Revista Tecnologia e Sociedade*, v. 15, n. 37, p. 516–528, 2019.

DIEESE. **Salário-mínimo nominal e necessário**. Disponível em: <<https://www.dieese.org.br/analisecestabasica/salarioMinimo.html>>. Acesso em: 19 maio. 2021.

DIEESE. **Salário-mínimo nominal e necessário**. Disponível em: <<https://www.dieese.org.br/analisecestabasica/salarioMinimo.html>>. Acesso em: 21 fev. 2022.

DUBOIS, G. et al. It starts at home? Climate policies targeting household consumption and behavioral decisions are key to low-carbon futures. *Energy Research and Social Science*, v. 52, n. September 2018, p. 144–158, 2019.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMPRABA). **Brasil antecipa meta de reduzir emissão de CO<sub>2</sub> com a agropecuária sustentável**. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/40021608/brasil-antecipa-meta-de-reduzir-emissao-de-co2-com-a-agropecuaria-sustentavel>>. Acesso em: 11 jan. 2022.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). **Balanco Energético Nacional 2009: Ano base 2008**. Rio de Janeiro: 2009.

EPE. **Balanco energético nacional: Ano base 2018**. EPE - Empresa de Pesquisa Energética, 2019.

EPE. **Balanco Energético Nacional: Manual Metodológico**. Brasília: 2021. Disponível em: <[https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-578/NT.EPE.DEA.SEE.005.2021 - BEN \\_ Manual 2020 \\_vf.pdf](https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-578/NT.EPE.DEA.SEE.005.2021 - BEN _ Manual 2020 _vf.pdf)>.

ESTEVE-LLORENS, X. et al. Could the economic crisis explain the reduction in the carbon footprint of food? Evidence from Spain in the last decade. *Science of the Total Environment*, v. 755, p. 142680, 2021.

FUNDAÇÃO GETÚLIO VARGAS (FGV); WORLD RESOURCES INSTITUTE (WRI). Contabilização, Quantificação e Publicação de Inventários Corporativos de Emissões de Gases de Efeito Estufa. 2. ed. [s.l.: s.n.].

FROEMELT, A.; WIEDMANN, T. A two-stage clustering approach to investigate lifestyle carbon footprints in two Australian cities. **Environmental Research Letters**, v. 15, n. 10, 2020.

GENTY, A.; ARTO, I.; NEUWHAL, F. Final Database of Environmental Satellite Accounts : Technical Report on Their Compilation - WIOD deliverable 4.6. **WIOD Deliverable**, v. 4.6, p. 1–69, 2012.

GOMES, D. **Produtos Carbono Neutro**: um compromisso das empresas e do mercado com a responsabilidade climática. Disponível em: <<https://blog.waycarbon.com/2021/05/produtos-carbono-neutro/>>. Acesso em: 11 jan. 2022.

GUILHOTO, J. J. M.; SESSO FILHO, U. A. Estimação da Matriz Insumo-Produto a Partir de Dados Preliminares das Contas Nacionais. **Economia Aplicada**, v. 9, n. 2, p. 277–299, 2005.

GUILHOTO, J. J. M.; SESSO FILHO, U. A. Estimação da matriz insumo-produto utilizando dados preliminares das contas nacionais: aplicação e análise de indicadores econômicos para o Brasil em 2005. **Revista Economia & Tecnologia**, v. 6, n. 4, p. 53–62, 2010.

HERRMANN, A.; SAUERBORN, R.; NILSSON, M. The role of health in households' balancing act for lifestyles compatible with the paris agreement—qualitative results from Mannheim, Germany. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v. 17, n. 4, 2020.

HUBACEK, K. et al. Global carbon inequality. **Energy, Ecology and Environment**, v. 2, n. 6, p. 361–369, 2017a.

HUBACEK, K. et al. Poverty eradication in a carbon constrained world. **Nature Communications**, v. 8, n. 1, p. 1–8, 2017b.

IBGE. **Sistema de Contas Nacionais - SCN**. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/comercio/9052-sistema-de-contas-nacionais-brasil.html?edicao=18363&t=downloads>>. Acesso em: 14 jul. 2020.

IBGE. Pesquisa de Orçamentos Familiares: 2008-2009. Análise do Consumo Alimentar Pessoal no Brasil. Rio de Janeiro: IBGE, 2011.

IBGE. **Matriz de insumo-produto: Brasil**. Rio de Janeiro: 2015.

IBGE. **SIDRA**. Disponível em: <<https://sidra.ibge.gov.br/home/pms/brasil>>. Acesso em: 1 jul. 2019a.

IBGE. Pesquisa de Orçamentos Familiares 2017 - 2018 - Primeiros Resultados. Rio de Janeiro: 2019b.

IPCC. **Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories**, 2006. Disponível em: <<https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/>>

IPCC. Framing and Context. In: **Global Warming of 1.5 °C**. 2021a. p. 47–92.

IPCC. **Climate Change 2021: The Physical Science Basis**. Cambridge University Press. 2021b. Disponível em: <[https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC\\_AR6\\_WGI\\_Full\\_Report.pdf](https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC_AR6_WGI_Full_Report.pdf)>.

INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA (IPEA). **Taxa de câmbio comercial para venda: real (R\$) / dólar americano (US\$) - média**. Disponível em: <<http://www.ipeadata.gov.br/ExibeSerie.aspx?serid=31924>>. Acesso em: 9 jul. 2020.

IVANOVA, D. et al. Mapping the carbon footprint of EU regions. **Environmental Research Letters**, v. 12, n. 5, p. 54013, 2017.

JACKSON, T.; MICHAELIS, L. Sustainable Consumption and Production Economic Regeneration - Policies for Sustainable Consumption Sustainable Development Commission. [s.l.: s.n.].

JONES, C. M.; KAMMEN, D. M. Quantifying carbon footprint reduction opportunities for U.S. households and communities. **Environmental Science and Technology**, v. 45, n. 9, p. 4088–4095, 2011.

KALBAR, P. P. et al. Personal Metabolism (PM) coupled with Life Cycle Assessment (LCA) model: Danish Case Study. **Environment International**, v. 91, p. 168–179, 2016.

LÓPEZ, L. A. et al. Assessing the Inequality of Spanish Households through the Carbon Footprint: The 21st Century Great Recession Effect. **Journal of Industrial Ecology**, v. 20, n. 3, p. 571–581, 2016.

MANFREDINI, B. **Botijão de gás: entenda aumento e saiba se governo realmente pode baixar o preço**. Disponível em: <<https://economia.ig.com.br/2019-05-17/botijao-de-gas-entenda-aumento-e-saiba-se-governo-realmente-pode-baixar-o-preco.html>>. Acesso em: 9 jan. 2022.

MARTÍNEZ-ALIER, J. Environmental justice and economic degrowth: An alliance between two movements. **Capitalism, Nature, Socialism**, v. 23, n. 1, p. 51–73, 2012.

MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO (MCTIC). **Estimativas Anuais de Emissões Totais de Gases de Efeito Estufa no Brasil**. p. 89, 2017.

MCTIC. **Fator médio - Inventários corporativos**. Disponível em: <[https://antigo.mctic.gov.br/mctic/opencvms/ciencia/SEPED/clima/textogeral/emissao\\_corporativos.html](https://antigo.mctic.gov.br/mctic/opencvms/ciencia/SEPED/clima/textogeral/emissao_corporativos.html)>. Acesso em: 25 nov. 2021.

MENEZES, P. **Classe Social**. Disponível em: <<https://www.todamateria.com.br/classe-social/>>. Acesso em: 9 jan. 2022.

MIEHE, R. et al. Regional carbon footprints of households: a German case study. **Environment, Development and Sustainability**, v. 18, n. 2, p. 577–591, 2016.

MILLWARD-HOPKINS, J.; OSWALD, Y. “Fair” inequality, consumption and climate mitigation. **Environmental Research Letters**, v. 16, n. 3, 2021.

MINX, J. et al. Carbon footprints of cities and other human settlements in the UK. **Environmental Research Letters**, v. 8, n. 3, 2013.

NEREUS. **Sistema de Matrizes de Insumo-Produto, Brasil (2010-2018)**. Disponível em: <<http://www.usp.br/nereus/?dados=sistema-de-matrizes-de-insumo-produto-brasil-2010-2017>>. Acesso em: 20 maio. 2021.

OECD (2023), Purchasing power parities (PPP) (indicator). doi: 10.1787/1290ee5a-en (Accessed on 05 February 2023)

SISTEMA DE ESTIMATIVA DE EMISSÕES DE GASES (SEEG). **Análise das Emissões Brasileiras de Gases de Efeito Estufa e suas implicações para as metas do Brasil (1970-2018)**. 2019.

SKÖLD, B. et al. Household preferences to reduce their greenhouse gas footprint: A comparative study from four European cities. **Sustainability (Switzerland)**, v. 10, n. 11, 2018.

SOS MATA ATLÂNTICA. **Calcule sua Emissão de CO<sub>2</sub>**. Disponível em: <<https://www.sosma.org.br/calcule-sua-emissao-de-co2/>>. Acesso em: 19 jan. 2022.

STEEN-OLSEN, K.; WOOD, R.; HERTWICH, E. G. The Carbon Footprint of Norwegian Household Consumption 1999–2012. **Journal of Industrial Ecology**, v. 20, n. 3, p. 582–592, 2016.

TAVARES, L. H. S.; LIMA, A. C. C. Segurança Alimentar, Composição Domiciliar e Pobreza no Brasil: um Estudo a Partir dos Microdados da PNAD para o Período 2004-2013. **Planejamento e Políticas Públicas**, n. 50, p. 101-143, 2021.

TREVIZAN, K. **Em 20 anos, quantidade de gasolina que salário-mínimo pode comprar aumenta 57%**. Disponível em: <<https://investnews.com.br/economia/em-20-anos-quantidade-de-gasolina-que-salario-minimo-pode-comprar-aumenta-57/>>. Acesso em: 9 jan. 2022.

TUKKER, A. et al. The global resource footprint of nations. 2014. v. 2

VICENZO, G. **Veículos elétricos são uma solução verde viável no Brasil hoje?** Disponível em: <<https://www.uol.com.br/ecoa/ultimas-noticias/2021/02/25/veiculos-eletricos-sao-uma-solucao-verde-viavel-no-brasil-hoje.htm>>. Acesso em: 21 fev. 2022.

WIEDENHOFER, D. et al. Unequal household carbon footprints in China. **Nature Climate Change**, v. 7, n. 1, p. 75–80, 2017.

WORLD BANK. **GDP per capita (current US\$) - Brazil**. Disponível em: <<https://data.worldbank.org/indicador/NY.GDPPCAPCD?locations=BR>>. Acesso em: 19 jan. 2022.

ZHONG, H. et al. Household carbon and energy inequality in Latin American and Caribbean countries. **Journal of Environmental Management**, v. 273, n. September, p. 110979, 2020.

**Celso da Silveira Cachola**

✉ celsocachola@usp.br

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3412-2180>

Submetido em: 28/02/2022

Aceito em: 07/05/2023

Localizador: 2023;26:e0039

**Sérgio Almeida Pacca**

✉ spacca@usp.br

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7609-5139>

# Emisiones de carbono de las familias brasileñas a través del POF y la matriz insumo-producto

Celso da Silveira Cachola  
Sérgio Almeida Pacca

**Resumen:** El objetivo de este trabajo fue analizar la huella de carbono de las familias brasileñas a partir de la Encuesta de Presupuestos Familiares (POF) de 2008 y 2018. La metodología utilizada en este artículo fue un Análisis de Ciclo de Vida híbrido. De acuerdo con nuestros resultados, las familias de menor ingreso emitieron alrededor de 4,04 tCO<sub>2</sub>e/año en 2008 y 3,81 tCO<sub>2</sub>e/año en 2018, en cambio, las familias de mayor ingreso emitieron alrededor de 28,73 tCO<sub>2</sub>e/año en 2008 y 25,94 tCO<sub>2</sub>e/año en 2018, casi 7 veces más que las familias de la clase de ingresos más bajos. Mientras que las familias más pobres, que representaban 24,25% de todas las familias brasileñas en 2018, fueron responsables del 11,97% del total de emisiones, las familias más ricas fueron responsables del 8,31% del total de emisiones, aunque representaron solo el 2,47% del total de emisiones. familias en 2018. Los más ricos deberían plantearse un cambio en su patrón de consumo y buscar alternativas que impliquen menos emisiones para reducir su huella de carbono.

São Paulo. Vol. 26, 2023

*Artículo original*

**Palabras-clave:** Huella de Carbono. Sustentabilidad. Modelo de entrada-salida. Encuesta de Presupuestos Familiares. Disparidad Social.

# Carbon footprint of Brazilian families based on the Household Budget Survey and input-output analysis

Celso da Silveira Cachola  
Sérgio Almeida Pacca

---

**Abstract:** This study aims to comprehensively assess the carbon footprint of Brazilian households using data from the 2008 and 2018 Household Budget Survey (POF). Employing a hybrid Life Cycle Assessment methodology, our analysis reveals noteworthy insights. In 2008, households within the lower income bracket emitted approximately 4.04 tCO<sub>2</sub>e/year, decreasing to 3.81 tCO<sub>2</sub>e/year by 2018. Conversely, higher-income households emitted significantly more, with emissions of around 28.73 tCO<sub>2</sub>e/year in 2008, decreasing to 25.94 tCO<sub>2</sub>e/year by 2018 - almost seven times the emissions of their lower-income counterparts. Intriguingly, although constituting merely 2.47% of all families in 2018, the wealthiest households were responsible for 8.31% of total emissions, while the poorest, representing 24.25%, contributed to 11.97% of emissions. The imperative for affluent families, who exert a disproportionate environmental impact, lies in reconsidering consumption habits and actively seeking low-emission alternatives to curtail their carbon footprint.

São Paulo. Vol. 26, 2023

*Original Article*

**Keywords:** Carbon Footprint. Sustainability. Input-output model. Family Budget Survey. Social Disparity.