

INVENTÁRIOS E PLANOS DE MITIGAÇÃO DE EMISSÕES DE GASES EFEITO ESTUFA DAS CAPITAIS BRASILEIRAS: UMA ANÁLISE DO SETOR DE TRANSPORTES

1 INTRODUÇÃO

O transporte é algo vital para a vida em sociedade. Além disso, é por meio dos transportes que se possibilita o desenvolvimento econômico e social, através das conexões entre países, cidades e setores, facilitando as interações e integrações, por meio da mobilidade (Badassa et al., 2020). Por ser tão importante para a vida na sociedade moderna, o transporte se torna essencial. Entretanto, o transporte causa impactos na sustentabilidade, tanto nas esferas econômica, social e ambiental (Zhao et al., 2020).

O transporte é um dos setores que mais impactam a sustentabilidade (Zope et al., 2019), sendo um dos principais responsáveis pelas emissões de gases de efeito estufa – GEE (Menendez; Ambühl, 2022). Estes gases são os principais responsáveis pelas mudanças climáticas (Abam et al., 2021). Além disso, há um déficit na equalização da parte social do transporte, o que gera inacessibilidade, acidentes, ruídos e desigualdades sociais (Ali, 2021), insustentáveis para a sociedade. A sustentabilidade do transporte deve ser um tema de grande importância para os principais líderes de estado e para toda a sociedade (Sdoukopoulos et al., 2019).

Inventários de emissões de GEE são ferramentas de gestão que auxiliam os administradores públicos a traçarem planos e metas para minimizar ou até mesmo zerar os impactos causados por esse setor. Diante disso, este estudo visa analisar os inventários de emissões de GEE e os planos de mitigação das capitais brasileiras, realizados nos últimos 10 anos, para analisar as principais fontes de emissão e as ações propostas relacionadas ao transporte. Por meio da análise comparativa, serão analisados os inventários e os planos de mitigação as mudanças climáticas das cidades selecionadas. Tal estudo pretende trazer um panorama de como as principais cidades brasileiras estão lidando com as emissões de gases de efeito estufa oriundos do transporte.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEORICA

O setor dos transportes exerce impactos na sustentabilidade, nas dimensões econômica, social e ambiental (Zhao et al., 2020). Para alcançar um equilíbrio entre estas dimensões da sustentabilidade necessita de políticas públicas direcionadas (Mckinnon, 2010). Destaca-se a importância de planejamento urbano, de diretrizes públicas e de tomadas de decisão como fator fundamental do transporte urbano no desenvolvimento sustentável das cidades (Pamucar et al., 2021).

Apesar do seu papel fundamental na formação do mundo moderno, facilitando o acesso ao trabalho, aos cuidados de saúde, à educação, à alimentação e ao lazer, e impulsionando o desenvolvimento econômico (Abdallah, 2017), o setor dos transportes é um dos principais contribuintes para as emissões de GEE (Patalas-Maliszewska; Losyk, 2020). Isto afeta negativamente a qualidade do ar, a saúde humana e contribui para as alterações climáticas, alterando o ambiente (Batur et al., 2019). É preciso aumentar os benefícios sociais e econômicos e, ao mesmo tempo, mitigar os danos ambientais causados pelo transporte (Illahi; Mir, 2021). Logo, faz-se necessário inventariar as principais fontes de emissão de GEE causadas por esse setor para que possamos propor ações de redução dessas emissões.

O progresso no transporte sustentável tem sido dificultado pela natureza complexa do sistema, que abrange as ligações entre infraestruturas, modos de transporte, usuários, sociedade e operadores de transporte (Richardson, 2005). Esta complexidade inclui fatores políticos, de governança e outras formulações contextuais (Zhou, 2012). O planejamento, a elaboração de políticas e os avanços tecnológicos são identificados como elementos fundamentais para um sistema de transportes sustentável (Ogryzek et al., 2020). Planos de ação com metas e objetivos claros são necessários para orientar os esforços de sustentabilidade dos transportes, dada a diversidade de fatores e a sua complexidade (Illahi; Mir, 2021).

3 METODOLOGIA

Este estudo visa analisar os inventários e os planos de mitigação das emissões de GEE, relacionados ao setor transporte, nas capitais brasileiras que possuem ambos os instrumentos, limitando-se aos documentos produzidos e publicados nos últimos 10 anos (2014 até o presente). Para tal, foi utilizada pesquisa bibliográfica/documental e análise de conteúdo dos inventários de emissões de GEE e planos de ação climática disponibilizados nos websites das prefeituras de 11 capitais brasileiras, que em sua grande maioria, estão localizadas no bioma Mata Atlântica, o bioma mais degradado do país. A metodologia utilizada para a elaboração destes documentos se baseia no GPC (Global Protocol for Community-Scale GHG emissions), com exceção do Distrito Federal, que adotou a metodologia do IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories).

4 ANÁLISE E DISCUSÃO DOS RESULTADOS

4.1 EMISSÕES TOTAIS E SETORIAIS DE GEE

A partir da análise dos documentos supracitados, foi possível extrair alguns indicadores relacionados com emissões totais e setoriais de GEE. O indicador Emissões Totais Per Capita (tCO₂e/hab) aponta que as cidades de Rio Branco (6,442), Distrito Federal (3,243) e Rio de Janeiro (2,887) possuem as maiores emissões totais per capita, enquanto as cidades de Salvador (1,073), São Paulo (1,200) e João Pessoa (1,339) estão entre as menores emissões per capita. Assim, ao analisarmos as emissões de GEE por setores, não é surpreendente que o transporte continue sendo o setor de maior emissão nessas cidades, conforme representado na Tabela 1 abaixo.

Tabela 1 – Emissões de GEE por Setores nas Capitais Brasileiras Estudadas

Cidade / Ano	Transportes	Energia Estacionária	Resíduos	AFOLU	IPPU
Belo Horizonte (2021)	57,20%	20,83%	21,97%	-	-
Curitiba (2016)	66,60%	10,80%	22,60%	-	-
Distrito Federal (2018)	37,50%	10,60%	13,86%	26,59%	11,45%
Fortaleza (2018)	59,00%	14,00%	27,00%	-	-
João Pessoa (2020)	40,60%	23,70%	35,70%	-	-
Recife	57,00%	21,00%	22,00%	-	-

(2017)					
Rio Branco (2019)	15,10%	3,30%	0,60%	81,00%	-
Rio de Janeiro (2019)	35,44%	34,15%	16,46%	0,23%	13,72%
Salvador (2018)	65,10%	21,70%	12,60%	0,60%	-
São Paulo (2018)	61,61%	28,99%	9,40%	-	-
Teresina (2020)	34,60%	26,50%	33,60%	5,30%	-

Fonte: autores.

A capital cujo transporte tem maior contribuição para as emissões totais de GEE é Curitiba (66,60%). Rio Branco é a capital onde essa contribuição é mais baixa (15,10 %), com a mudança do uso da terra (AFOLU) assumindo o protagonismo com 81,00%.

Ao detalharmos as emissões por tipo de transporte, a Tabela 2, abaixo, aponta que essas capitais emitem a maior parte das emissões pelo modo rodoviário, com uma média superior a 75% das emissões. O segundo maior emissor é o modo aéreo, que representa, em média mais de 19% das emissões do setor transporte nessas cidades. Em seguida, mas com uma pequena proporção de emissões, está o modo ferroviário, o que pode ser explicado pela baixa malha ferroviária no Brasil. Somente na cidade de São Paulo o modo ferroviário tem uma proporção significativa, apresentando uma maior emissão de GEE do que o modo de transporte aéreo. Outros setores, como o aquaviário e o hidroviário, são considerados pouco significativos e são, muitas vezes, negligenciados nas medições em algumas cidades.

A Tabela 2 abaixo representa as emissões por tipo de transporte nas cidades em análise, com exceção de Rio Branco, que não possui esses dados discriminados no seu inventário.

Tabela 2 – Emissões por tipo de transporte

Cidade / Ano	Rodoviário	Ferrovário	Aéreo	Aquaviário/Hidroviário
Belo Horizonte (2009-2021)	72,15%	0,16%	27,69%	-
Curitiba (2016)	99,81%		0,19%	-
Distrito Federal (2005-2018)	70,87%	0,57%	28,56%	-
Fortaleza (2018)	79,00%	-	21,00%	-
João Pessoa (2011-2020)	99,87%	0,13%	0,00%	-
Recife (2016-2017)	61,80%	-	38,20%	-
Rio de Janeiro (2012-2019)	61,35%	0,52%	37,61%	0,52%
Salvador (2014-2018)	68,92%	0,28%	29,74%	1,06%
São Paulo (2010-2018)	91,62%	8,21%	0,17%	-
Teresina (2018-2020)	96,39%	-	3,61%	-

Fonte: autores.

Em relação às emissões de GEE de transporte por tipo de combustível, a Tabela 3, a seguir, aponta que a gasolina é o combustível com maior proporção nas emissões nas cidades, com média superior a 45%. Em seguida, vem o diesel, com média superior a 33% das emissões; o combustível de aviação (querosene, em maior proporção, e gasolina) com média

superior a 16%; GNV com média superior a 3,5%; e o álcool com média superior a 2,1%. Já o biodiesel e a eletricidade usualmente não têm muita significância nos inventários analisados. O biodiesel aparece apenas em quantidade significativa no Distrito Federal, com 1,66%, enquanto a eletricidade aparece apenas na cidade de São Paulo, com 0,81% das emissões. A cidade do Rio de Janeiro não discrimina as emissões por tipo de combustível utilizado no transporte.

Tabela 3 – Emissões por combustível utilizados nos transportes

Cidade / Ano	Gasolina	Diesel	Etanol	GNV	Combustível de Aviação	Biodiesel	Eletricidade
Salvador (2018)	33,90%	30,29%	0,07%	6,00%	29,74%	-	-
Belo Horizonte (2021)	38,69%	31,87%	0,25%	1,46%	27,73%	-	-
Recife (2017)	39,56%	19,08%	0,10%	3,10%	38,16%	-	-
Fortaleza (2018)	42,00%	26,00%	5,00%	6,00%	21,00%	-	-
São Paulo (2018)	45,77%	49,73%	1,45%	2,07%	0,17%	-	0,81%
Rio Branco (2019)	49,80%	49,70%	0,50%	-	-	-	-
Distrito Federal (2018)	49,85%	14,44%	5,47%	-	28,58%	1,66%	-
Teresina (2020)	50,94%	37,54%	7,91%	-	3,61%	-	-
Curitiba (2016)	56,00%	41,50%	0,31%	2,00%	0,19%	-	-
João Pessoa (2020)	61,12%	34,79%	0,10%	3,99%	0,00%	-	-

Fonte: autores.

4.2 PRINCIPAIS AÇÕES PROPOSTAS PARA MITIGAÇÃO

Os planos de ação climática das cidades estudadas se comprometem com a redução das emissões de GEE e a promoção de transportes sustentáveis. Em Teresina, por exemplo, as ações incluem faixas exclusivas para ônibus e a eletrificação total da frota até 2032, além de expansão das ciclovias e calçadas acessíveis. São Paulo está substituindo gradativamente suas frotas de ônibus por veículos zero emissões, com metas de 50% até 2028 e 100% até 2038 e focando na melhoria do transporte público e na promoção do transporte ativo, visando que 70% das viagens sejam em modos coletivos ou ativos até 2030. No Rio de Janeiro, 20% da frota será substituída por veículos não emissores e as metas incluem reduzir o tempo de deslocamento e quadruplicar as viagens de bicicleta até 2030, visando reduzir as emissões de GEE em 50% até 2030. Rio Branco promove veículos elétricos e híbridos, revisa o sistema viário e incentiva combustíveis renováveis no transporte público, buscando reduzir 36% das emissões até 2030. Recife planeja uma frota 100% elétrica até 2050 e uso de faixas exclusivas de ônibus e expansão do compartilhamento de bicicletas, com a meta de reduzir o transporte individual motorizado para 20% até 2050. O Distrito Federal incentiva biocombustíveis e transporte público, visando reduzir as emissões de CO₂ em 37,4% até 2030. Fortaleza busca eletrificar 100% da frota até 2050. Salvador está renovando suas frotas com veículos menos poluentes e pretende reduzir as viagens por veículos particulares em 25% até 2024. João Pessoa planeja eletrificar 65% da frota de ônibus até 2050 e prioriza o transporte público com corredores exclusivos. Belo Horizonte está implantando centros de distribuição com veículos

de baixa emissão, visando uma redução significativa das emissões até 2050 e promovendo habitação em áreas centrais e compatíveis com a infraestrutura urbana. Curitiba busca a neutralidade de carbono no setor de transporte até 2050, incentivando a mobilidade ativa e a eletrificação da frota, visando reduzir a circulação de veículos individuais e aumentar a participação do transporte público. Entretanto, essas ações propostas requerem um sistema de monitoramento de implementação visando a sustentabilidade no transporte, através da redução das emissões e incentivos aos modos de transportes mais limpos e eficientes.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

As emissões de GEE nas capitais brasileiras variam amplamente, refletindo a complexidade e a diversidade dos desafios enfrentados na mitigação das mudanças climáticas nos espaços urbanos. A maioria das cidades estudadas utiliza a metodologia GPC para contabilizar as emissões de GEE, na forma de CO₂e. Se por um lado, essa padronização facilita a comparabilidade, por outro lado a falta de uma frequência regular na atualização dos inventários, nem todas as cidades atualizam anualmente os seus inventários, dificultam essa análise comparativa. Além do fato por falta de dados na escala municipal, algumas fontes de emissão de GEE não são contabilizadas ou são consideradas não significativas.

O transporte rodoviário é o maior responsável pelas emissões de GEE na maioria das cidades. Em São Paulo, por exemplo, o transporte rodoviário representa 91,62% das emissões de transporte. Cidades como Fortaleza e Belo Horizonte também mostram alta contribuição do transporte rodoviário para suas emissões totais.

Os principais combustíveis utilizados no transporte urbano são gasolina e diesel. A proporção de emissões por tipo de combustível varia, com a gasolina sendo predominante em cidades como Curitiba (56%) e Belo Horizonte (38,69%). A dependência de combustíveis fósseis sublinha a urgência de transitar para fontes de energia mais limpas e renováveis.

Para reduzir as emissões de GEE nas cidades brasileiras, é essencial focar em melhorias no setor de transporte, promovendo combustíveis mais limpos, incentivando o uso de veículos elétricos e expandindo a infraestrutura de transporte público. Políticas integradas que considerem as variáveis econômicas e demográficas, juntamente com a implementação de tecnologias sustentáveis, podem promover um desenvolvimento urbano mais equilibrado e reduzir significativamente as emissões de GEE. A cooperação entre os três níveis de governo, setor privado e sociedade civil será crucial para alcançar esses objetivos e enfrentar os desafios das mudanças climáticas nas áreas urbanas do Brasil.

REFERÊNCIAS

- ABAM, Fidelis I. et al. Environmental sustainability of the Nigeria transport sector through decomposition and decoupling analysis with future framework for sustainable transport pathways. *Energy Reports*, v. 7, p. 3238-3248, 2021.
- ABDALLAH, Thomas. *Sustainable Mass Transit: Challenges and Opportunities in Urban Public Transportation*. 2017.
- ALI, Nazam et al. Evaluating sustainable urban transport systems: A Review study for the identification of smart mobility indicators. *Trans. Transp. Sci*, v. 12, p. 16-23, 2021.
- BADASSA, Bayissa Badada; SUN, Baiqing; QIAO, Lixin. Sustainable transport infrastructure and economic returns: A bibliometric and visualization analysis. *Sustainability*, v. 12, n. 5, p. 2033, 2020.

BATUR, İrfan; BAYRAM, Islam Safak; KOC, Muammer. Impact assessment of supply-side and demand-side policies on energy consumption and CO2 emissions from urban passenger transportation: The case of Istanbul. *Journal of Cleaner Production*, v. 219, p. 391-410, 2019.

ILLAHI, Ubaid; MIR, Mohammad Shafi. Sustainable Transportation Attainment Index: multivariate analysis of indicators with an application to selected states and National Capital Territory (NCT) of India. *Environment, Development and Sustainability*, v. 23, n. 3, p. 3578-3622, 2021.

MCKINNON, Alan. Green logistics: the carbon agenda. *Electronic Scientific Journal of Logistics*, v. 6, n. 3, 2010.

MENENDEZ, Monica; AMBÜHL, Lukas. Implementing design and operational measures for sustainable mobility: Lessons from Zurich. *Sustainability*, v. 14, n. 2, p. 625, 2022.

OGRYZEK, Marek; ADAMSKA-KMIEĆ, Daria; KLIMACH, Anna. Sustainable transport: an efficient transportation network—case study. *Sustainability*, v. 12, n. 19, p. 8274, 2020.

PAMUCAR, Dragan et al. A novel methodology for prioritizing zero-carbon measures for sustainable transport. *Sustainable production and consumption*, v. 27, p. 1093-1112, 2021.

PATALAS-MALISZEWSKA, Justyna; ŁOSYK, Hanna. Analysis of the development and parameters of a public transport system which uses low-carbon energy: The evidence from Poland. *Energies*, v. 13, n. 21, p. 5779, 2020.

RICHARDSON, Barbara C. Sustainable transport: analysis frameworks. *Journal of transport geography*, v. 13, n. 1, p. 29-39, 2005.

SDOUKOPOULOS, Alexandros et al. Measuring progress towards transport sustainability through indicators: Analysis and metrics of the main indicator initiatives. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, v. 67, p. 316-333, 2019.

ZHAO, Xianbo et al. Evaluation of sustainable transport research in 2000–2019. *Journal of Cleaner Production*, v. 256, p. 120404, 2020.

ZHOU, Jiangping. Sustainable transportation in the US: A review of proposals, policies, and programs since 2000. *Frontiers of architectural research*, v. 1, n. 2, p. 150-165, 2012.

ZOPE, Rupali et al. Benchmarking: A tool for evaluation and monitoring sustainability of urban transport system in metropolitan cities of India. *Sustainable cities and society*, v. 45, p. 48-58, 2019.