



Compensação das emissões veiculares através do plantio de árvores: o caso das viaturas do DMTT de Maceió e a eletromobilidade como alternativa

Danilo Sinésio da Silva¹; David José Cavalcante de Oliveira²; Mayara Andrade Souza³

Como Citar:

DA SILVA, Danilo Sinésio; DE OLIVEIRA, David José Cavalcante; SOUZA, Mayara Andrae. Compensação das emissões veiculares através do plantio de árvores: O caso das viaturas do DMTT de Maceió e a eletromobilidade como alternativa. Revista Sociedade Científica, vol.7, n. 1, p.4054-4079, 2024.
<https://doi.org/10.61411/rsc202475417>

DOI: [10.61411/rsc202475417](https://doi.org/10.61411/rsc202475417)

Área do conhecimento: Ciências Naturais.

Palavras-chaves: Sequestro de carbono, compensação de CO₂, preservação ambiental; plantio de árvores.

Publicado: 06 de setembro de 2024.

Resumo

A poluição atmosférica e o desmatamento urbano têm se mostrado problemas cada vez maiores, e que já mostram os impactos negativos na saúde da população e nas mudanças climáticas. Em consonância com a Agenda 2030 da ONU, órgãos públicos podem adotar iniciativas que permitam que as cidades se desenvolvam de maneira sustentável, além de mostrar para a população que é possível realizar pequenos feitos que podem refletir de maneira positiva na construção e um futuro ambientalmente melhor. Assim, um exemplo de atenuação das questões ambientais é o plantio de árvores nativas que compensem as emissões veiculares. Nesse contexto, este artigo sugere uma equação que facilite o cálculo da quantidade de árvores necessárias para compensar as emissões veiculares, e aplicabilidade da equação às emissões de 15 viaturas do Departamento Municipal de Transportes e Trânsito de Maceió/AL. Observando-se dois cenários: um com fator de emissão de 0,12 kgCO₂/km, e um com fator de emissão de 2,28 kgCO₂/L para a queima da gasolina e 2,6 kgCO₂/L para a queima do diesel, no período de seis anos, essas viaturas seriam responsáveis pela emissão, em média, de mais de 390 tCO₂ no cenário 1, e mais de 689 tCO₂ no cenário 2, o que demandaria o plantio de 1,5 e 2,4 hectares, respectivamente, de árvores nativas da Mata Atlântica.

ABSTRACT

Air pollution and urban deforestation have become increasingly serious problems, and their negative impacts on the health of the population and climate change are already evident. In line with the UN 2030 Agenda, public bodies can adopt initiatives that allow

¹CESMAC ✉

²CESMAC ✉

³CESMAC ✉



cities to develop sustainably, in addition to showing the population that it is possible to achieve small feats that can have a positive impact on the construction and a better environmental future. Thus, one example of mitigating environmental issues is the planting of native trees that offset vehicle emissions. In this context, this article suggests an equation that facilitates the calculation of the number of trees needed to offset vehicle emissions, and the applicability of the equation to the emissions of 15 vehicles of the Municipal Department of Transportation and Traffic of Maceió/AL. Observing two scenarios: one with an emission factor of 0.12 kgCO₂/km, and one with an emission factor of 2.28 kgCO₂/L for burning gasoline and 2.6 kgCO₂/L for burning diesel, over a six-year period, these vehicles would be responsible for the emission, on average, of more than 390 tCO₂ in scenario 1, and more than 689 tCO₂ in scenario 2, which would require the planting of 1.5 and 2.4 hectares, respectively, of native Atlantic Forest trees.

Keywords: Carbon sequestration, CO₂ counterbalancing, environmental preservation; tree planting.

1. **Introdução**

A poluição atmosférica só foi reconhecida verdadeiramente como um problema durante a Revolução Industrial, época em que foi observado um aumento do número de mortes por doenças cardiorrespiratórias em regiões com maior concentração de indústrias (4). Junto a isso, foi apenas na Revolução Industrial que as ações antrópicas começaram a deixar marcas mais profundas no meio ambiente, o que aconteceu (e ainda acontece) devido à intensa exploração de recursos naturais e dos serviços ecossistêmicos (16).

Tem-se que a maior parte da população mundial atualmente reside em cidades, e que os ambientes urbanos se tornaram o centro de produção e consumo. Apesar do zoneamento urbano distribuir as áreas de habitação, comércio e indústria, há uma má distribuição de áreas verdes, tornando ineficiente a oferta de serviços ecossistêmicos.



Além disso, o modelo econômico atual e os modelos ineficientes de mobilidade urbana adotados nos centros urbanos, faz com que as pessoas optem por veículos particulares, geralmente movidos a combustíveis fósseis (17).

As cidades se tornaram grandes geradoras de gases do efeito estufa (GEE), o que é algo preocupante devido às mudanças climáticas, já definidas pelo Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC) como sendo resultado de ações antrópicas. Dado esse cenário, conforme apontado por Lima (17), observa-se uma preocupação cada vez maior com as questões climáticas, além da necessidade de reduzir as emissões de gases poluentes e GEE, e isso tem, por exemplo, levado a uma maior conscientização sobre quanto poluente os veículos emitem.

A frota veicular brasileira circulante ultrapassa 59 milhões de unidades, somando automóveis, comerciais leves, caminhões, ônibus e motocicletas, os quais, em sua maioria, são movidos por combustíveis fósseis, a exemplo da gasolina, álcool e diesel. Tem-se, também que a idade média dos veículos automotores tem aumentado, estando entre 8 e 11 anos (30).

Conforme apontado por Brandão e colaboradores (5), os poluentes mais emitidos pela frota descrita acima são monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrogênio (NO_x), material particulado (MP), hidrocarbonetos não-metânicos (NMHC) e aldeídos.

O CO é um gás emitido tanto por fontes naturais quanto antrópicas, e é o principal poluente associado às mudanças climáticas e a doenças cardiopulmonares. Junto a ele, tem-se o metano (CH₄), que possui um poder de aquecimento 86 vezes maior que o CO₂. Ressalta-se que o CH₄ é um gás proveniente da produção de energia térmica, da agricultura e da decomposição da matéria orgânica (23).

Com base nisso, pode-se afirmar, no contexto deste trabalho, que fator de emissão é (EF) o coeficiente que descreve a taxa na qual a queima de combustíveis, tais quais gasolina e diesel, libera GEE na atmosfera, como CO₂. Sabe-se que muitas



variáveis estão relacionadas neste contexto, a exemplo do próprio tipo de combustível. Como será apresentado, a gasolina emite menos GEE do que o diesel.

A potência do motor é outro fator a ser analisado, assim como o ano de fabricação do veículo automotor. O tipo do motor define como será feita a queima do combustível. Motores com ciclo Otto precisam de uma centelha para realizar o processo de queima, e a temperatura interna pode chegar aos 450°C, ao contrário dos motores do ciclo Diesel, que não demandam essa centelha, e a temperatura interna pode chegar aos 800°C (3).

Além disso, o desbalanço na equação da reação química da queima do combustível pode resultar numa queima incompleta, fazendo com que mais gases sejam emitidos. Tem-se que, quanto maior a força de expansão dos gases no momento da combustão, maior o torque, contudo, maior a queima, e maior é a emissão (25).

Ademais, existem outras variáveis a se observar, tais como: a) carros com rodas maiores (tamanho jante e largura de pneu) emitem mais CO₂; b) entre dois carros com o mesmo motor, o que tiver mais potência (cavalos) emite mais CO₂; c) carros com caixas automáticas emitem mais CO₂, mas também se pode dar o oposto; e d) carros mais pesados e mais altos emitem mais CO₂ (por exemplo, veículos de modelo SUV ou monovolumes emitirão mais CO₂).

Segundo Álvares Jr. e Linke (2), no Brasil, os fatores de emissão de CO₂ originados em veículos movidos à gasolina são baixos, uma vez que a gasolina utilizada no país é do tipo C, ou seja, é composta por 73% de gasolina tipo A e 27% de etanol anidro (sem água). A gasolina tipo A é a produzida pelas refinarias de petróleo e entregue às distribuidoras, à qual adicionam o álcool anidro (25). Esse aditivo é de origem renovável, e não deve ser computada em inventários de emissões de GEE.

Esses fatores de emissão levam em consideração a composição da gasolina tipo C, a qual possui aditivos. Entretanto, para os objetivos deste trabalho, essas nuances serão desconsideradas, porquanto somente se deseja verificar as quantidades básicas de



dióxido de carbono que cada combustível emite na atmosfera, a cada km rodado ou a cada litro de gasolina e diesel queimados, calculando-se quantas árvores precisam ser plantadas para a compensação dessas emissões.

Consoante o Instituto Brasileiro de Florestas (13), por meio do plantio de árvores, é possível uma empresa ou uma pessoa física realizar toda a compensação de CO₂ ou parte dela. É possível compensar as emissões de carbono mediante o plantio de árvores, pelo sequestro de carbono da atmosfera. Dessa forma, esse elemento é retirado do meio ambiente e, então, fixado na biomassa da planta, apesar de as plantas, basicamente, sequestrarem CO₂ para sua produção de glicose (C₆H₁₂O₆).

O sequestro de carbono acontece durante o crescimento das árvores e florestas e, segundo apresentado por Maia e colaboradoras (19), musgos também se mostram muito eficientes na fixação do carbono, de modo que ecossistemas equilibrados se tornam responsáveis pela manutenção da qualidade do ar e da atmosfera. Ainda conforme as autoras, a quantidade de carbono fixada através da fotossíntese depende do metabolismo da planta, ou seja, quanto maior seu estímulo fotossintético, maior a quantidade de carbono absorvido durante seu desenvolvimento.

Ainda segundo o IBFlorestas, as florestas sequestram o carbono, porém, isso se dá na fase de crescimento das árvores, pois ao atingirem o seu clímax, o balanço da compensação de CO₂ é zero. Em virtude disso, é imprescindível o plantio de novas árvores, a fim de se atingir o objetivo de neutralização de carbono.

Neste trabalho, traz-se o questionamento de quantas toneladas de GEE as fontes móveis (veículos automotores) emitem anualmente e em toda a sua vida útil. Hipoteticamente, quanto um automóvel que tenha rodado 1 mil Km, terá emitido em toneladas de CO₂ para atmosfera? Por outro lado, em um segundo caso hipotético utilizando o fator de emissão, quantas árvores são necessárias para se neutralizar essa quantidade de CO₂ emitido na atmosfera?



Diante do exposto, o presente trabalho tem por objetivo calcular a compensação necessária em árvores para mitigar as emissões de CO₂ por uma amostra de veículos das viaturas do Departamento Municipal de Transportes e Trânsito de Maceió/AL.

2. Metodologia

O presente estudo trata-se de uma pesquisa quantitativa, no qual foi possível estimar quanto (em toneladas) é emitido por um dos grupamentos de veículos responsável pela operação diária, baseando-se na quilometragem média mensal percorrida.

Por meio de um estudo de caso junto ao Departamento Municipal de Transportes e trânsitos (DMTT) da cidade de Maceió, em Alagoas, buscou-se quantificar o quanto a frota de viaturas do departamento emite de CO₂ para atmosfera e quanto seria o número de árvores para a compensação de CO₂.

Para isso, inicialmente obteve-se a autorização por parte da direção do Departamento, a qual forneceu os modelos dos veículos (6 Renault Duster, 2 Chevrolet S10, 2 Fiat Toro e 5 Fiat Cronos) e a quilometragem rodada no período de 01 de abril de 2024 (quilometragem inicial) a 30 de abril de 2024 (quilometragem final), onde ao final de cada dia rodado, foi feita a leitura do computador de bordo de cada veículo, registrando a quilometragem marcada no odômetro.

De modo a realizar o cálculo de emissões de CO₂ emitidas pelas viaturas, foram considerados dois métodos:

- de Martelli e Cachiba (20), que afirmam que 0,12kg de CO₂ corresponde a 1 quilômetro rodado.
- de Christophe (7), que define a emissão com base no tipo e quantidade de combustível queimado.

O método de Martelli e Cachiba (20) pede que o fator de emissão de 0,12 kgCO₂/km seja multiplicado pelo total de quilômetros rodados por cada viatura. Os valores encontrados foram convertidos em toneladas de CO₂, levando-se em



consideração os 30 dias e, posteriormente, fez-se a projeção para um ano, três anos e seis anos. A previsão de seis anos (2024-2030) se dá por este ser o ano que corresponde ao ano de cumprimento dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável da Agenda 2030 da ONU.

De acordo com Christophe (8) as emissões podem ser calculadas através da densidade dos combustíveis gasolina e diesel (Quadro 1). O autor afirma que o óleo diesel é mais denso que a gasolina, como pode ser visto no quadro abaixo, de modo que a queima de ambos acontece de maneira diferente, consequentemente emitindo quantidades diferentes de CO₂.

Quadro 1 - Comparação das densidades em kg e em g da gasolina e do diesel.

Tipo combustível	Densidade (kg)	Densidade (g)
Gasolina	0,740 kg/L	740 g/L
Diesel	0,853 kg/L	853 g/L

Fonte: Christophe (2004)

Se considerar a relação em gramas, tem-se que a cada 1 grama de gasolina queimada, são emitidos na atmosfera 3,09 gramas de dióxido de carbono, ou seja, rejeita aproximadamente 3 vezes a quantidade de CO₂. A razão também pode ser observada em kg, basta saber que 1L de gasolina tem (densidade 0,740 kg), e que 1 grama de gasolina queimada emite 3,09g de CO₂. Logo, multiplica-se a densidade pelo valor em gramas emitidos, em que $0,740 \times 3,09 = 2,28$ kg de CO₂ são emitidos por litro de gasolina queimada (7).

Com o diesel, a proporção é que, para cada 1L, são emitidos 2,6 kg de CO₂, e 1,16 kg de água, 1g desse óleo queimado lança 3,16g de dióxido de carbono no ar. A relação é descrita no quadro abaixo.

Quadro 2 - Comparação das quantidades de emissões por grama.

Tipo combustível	Quantidade (g)	Emissão CO ₂ (g)
Gasolina	1	3,09
Diesel	1	3,16



Fonte: Elaboração própria com base em Christophe (7) e Martelli e Cachiba (20)

Diferentemente da densidade da gasolina, o óleo diesel possui 0,853kg/L. É, portanto, mais denso que a gasolina em 12%. Neste caso, a queima do diesel lança na atmosfera 2,6 kg de CO₂ (7).

Quadro 3 - Comparação das densidades, queima e emissões kg/L.

Tipo combustível	Densidade	Queima de	Emissão CO ₂ (kg)
Gasolina	0,740 kg/L	1 L	2,28 kg/L
Diesel	0,853 kg/L	1 L	2,6 kg/L

Fonte: Christophe (2004)

No que diz respeito ao consumo do veículo, utilizou-se as informações do Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (Inmetro) que, através do Programa Brasileiro de Etiquetagem Veicular (PBEV), realiza o estudo de 36 marcas e mais de 800 modelos e versões de automóveis, incluindo veículos nacionais e internacionais. O Programa tem por objetivo “elencar atributos como eficiência energética, consumo, autonomia e emissão de gases de todos os carros de passeio, picapes e utilitários à venda no Brasil” (1).

Quadro 4 – Consumo médio por veículo do DMTT.

Marca	Modelo	Combustível	Média km/L
FIAT	Cronos	Gasolina	12,8
Renault	Duster	Gasolina	11,6
FIAT	Toro	Diesel	10,1
Chevrolet	S10	Diesel	8,6

Fonte: Elaboração própria a partir de dados do Inmetro (2024)

Com base nos dados de consumo do Inmetro (14) junto às informações fornecidas pelo DMTT a partir dos computadores de bordo das viaturas, foi possível organizar o quadro abaixo.

**Quadro 5** – Quilômetros rodados e quantidade de combustível consumido no período de 30 dias pelas viaturas.

Viatura	Marca/Modelo	Km rodado	Combustível	Consumo em L
1	Fiat/Cronos	3.904	Gasolina	305
2	Fiat/Cronos	3.536	Gasolina	276,25
3	Fiat/Cronos	3.352	Gasolina	261,8
4	Fiat/Cronos	2.733	Gasolina	213,5
5	Fiat/Cronos	2.942	Gasolina	229,8
6	Renault/Duster	3.617	Gasolina	311,8
7	Renault/Duster	1.960	Gasolina	168,9
8	Renault/Duster	3.300	Gasolina	284,4
9	Renault/Duster	3.354	Gasolina	289,1
10	Renault/Duster	3.197	Gasolina	275,6
11	Renault/Duster	2.363	Gasolina	203,7
12	Fiat/Toro	3.480	Diesel	344,5
13	Fiat/Toro	2.276	Diesel	225,3
14	Chevrolet/S10	2.197	Diesel	255,4
15	Chevrolet/S10	3.304	Diesel	384,1

Fonte: Elaboração própria a partir de dados fornecidos pelo DMTT

Ressalta-se que esses não somam todos os veículos registrados em nome do DMTT, mas é apenas uma parcela das viaturas utilizadas diariamente por um dos grupamentos operacionais de trânsito no município. Não foram somadas as viaturas de outros grupamentos e demais departamentos do órgão, devido à falta de informações disponibilizadas pelo órgão.

Para neutralizar as emissões nos períodos de um mês, um ano, três anos e seis anos foi utilizado o cálculo de compensação de árvores, em que foi utilizada a equação de IBFlorestas (13), na qual, a cada 7 árvores, é possível sequestrar 1 tonelada de carbono nos seus primeiros 20 anos de idade.

A partir disso, propõe-se a seguinte equação: $QAC = tC \times 7$, onde QAC corresponde à Quantidade de Árvores a Compensar, tC corresponde à quantidade de Carbono em toneladas. Para isso, os dados foram convertidos de grama (g) para Toneladas (t).



Os dados foram tabulados no programa Excel, e realizado a construção de gráficos e tabelas. Assim como foi possível calcular as emissões de CO₂ e o número de árvores estimados para 30 dias, 1 ano, 3 anos e 6 anos.

Ressalta-se que, dado que o presente artigo trabalhou apenas com dados fornecidos pelo DMTT, não houve necessidade de apreciação por parte do Comitê de Ética em pesquisa.

3. Resultados e discussão

Segundo estudo apresentado por Pereira e colaboradores (2020), a venda de gasolina e diesel no Brasil aumentou entre 2000 e 2018, conseqüentemente as emissões atmosféricas seguiram esse aumento. Esse fato traz a realidade de que a venda de veículos automotores tem aumentado no país, e mesmo com o avanço tecnológico, ainda não houve uma melhora no cenário das emissões de poluentes. Isso vai de encontro com o que a Agenda 2030 da ONU tem pregado, pensando num futuro socioambientalmente sustentável.

O primeiro passo foi realizar o cálculo com base em Martelli e Cachiba (20). Com base na quilometragem de cada viatura, fez-se o cálculo de kgCO₂ para os 30 dias, seguido da conversão para toneladas e a projeção para um ano, três anos e seis anos.

Quadro 6 – Quantidade de CO₂ emitida em 30 dias, e projeção para 1, 3 e 6 anos, com base no fator de emissão de 0,12 kgCO₂/km.

Viatura	Km rodado	kgCO ₂ /30 dias	tCO ₂ /30 dias	1 ano (t)	3 anos (t)	6 anos (t)
1	3.904	468,48	0,47	5,62	16,87	33,73
2	3.536	424,32	0,42	5,09	15,28	30,55
3	3.352	402,24	0,40	4,83	14,48	28,96
4	2.733	327,96	0,33	3,94	11,81	23,61
5	2.942	353,04	0,35	4,24	12,71	25,42
6	3.617	434,04	0,43	5,21	15,63	31,25
7	1.960	235,20	0,24	2,82	8,47	16,93
8	3.300	396,00	0,40	4,75	14,26	28,51
9	3.354	402,48	0,40	4,83	14,49	28,98



REVISTA SOCIEDADE CIENTÍFICA, VOLUME 7, NÚMERO 1, ANO 2024

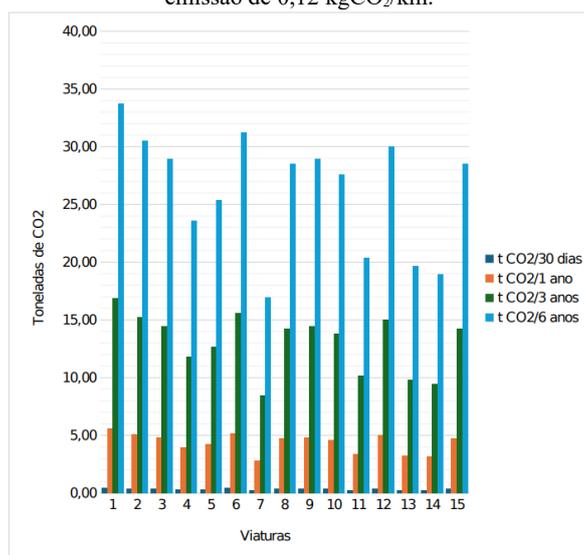
10	3.197	383,64	0,38	4,60	13,81	27,62
11	2.363	283,56	0,28	3,40	10,21	20,42
12	3.480	417,60	0,42	5,01	15,03	30,07
13	2.276	273,12	0,27	3,28	9,83	19,66
14	2.197	263,64	0,26	3,16	9,49	18,98
15	3.304	396,48	0,40	4,76	14,27	28,55
Total	45.515	5.461,80	5,46	65,54	196,62	393,25

Fonte: Elaboração própria

Analisando o percentual de viaturas estudadas durante os 30 dias, observa-se que o valor percorrido foi de 45.515 km, o que implica em emissões de CO₂ para atmosfera no valor de 5,46 tCO₂ em 30 dias. Tem-se, ainda, que os valores encontrados para 6 anos com a frota de viaturas estudada, implicaria em emissões de CO₂ no valor de 393,25 tCO₂, como observado no quadro 6.

Essa projeção pode ser observada, ainda, no gráfico abaixo, em que é possível ver quanto cada viatura irá emitir nos próximos seis anos, caso a média mensal na quilometragem rodada seja mantida.

Figura 1 – Projeção das emissões de CO₂ para um ano, três anos e seis anos por viatura, com base no fator de emissão de 0,12 kgCO₂/km.



Fonte: Elaboração própria



O quadro 6 descreve quatro viaturas com emissões abaixo de 300 kgCO₂/mês, o que impacta as emissões a longo prazo, porém, deve-se observar que isso se dá devido à menor quantidade de quilômetros rodados. Ao visualizar os dados de projeção no gráfico da figura 1, tem-se a impressão de que esses veículos (7, 11, 13 e 14) emitem menos. Contudo, é preciso pontuar que, embora estejam sempre em uso, as viaturas possuem rotinas diferenciadas dos demais veículos do órgão, e que não é incomum que estejam ligadas, mas paradas no acostamento de vias, em estado de prontidão, observando pontos de maior fluxo na cidade.

Ressalta-se, ainda, que, embora tenha sido feito a projeção para os anos seguintes, esses valores podem mudar devido à necessidade de maior ou menor quilometragem de cada viatura, além das condições dos veículos, bem como sua manutenção.

Seguindo o cálculo de emissões a partir dos valores dos fatores de emissão descritos pelo método de Christophe, tem-se o quadro 4 abaixo.

Quadro 7 – Quantidade de CO₂ emitida em 30 dias, e projeção para 1, 3 e 6 anos, com base nos fatores de emissão por litro.

Viatura	Km rodado	kgCO ₂ /30 dias	tCO ₂ /30 dias	1 ano (t)	3 anos (t)	6 anos (t)
1	3.904	695,40	0,70	8,34	25,03	50,07
2	3.536	629,85	0,63	7,56	22,67	45,35
3	3.352	597,08	0,60	7,16	21,49	42,99
4	2.733	486,82	0,49	5,84	17,53	35,05
5	2.942	524,04	0,52	6,29	18,87	37,73
6	3.617	710,93	0,71	8,53	25,59	51,19
7	1.960	385,24	0,39	4,62	13,87	27,74
8	3.300	648,62	0,65	7,78	23,35	46,70
9	3.354	659,23	0,66	7,91	23,73	47,46
10	3.197	628,38	0,63	7,54	22,62	45,24
11	2.363	464,45	0,46	5,57	16,72	33,44
12	3.480	895,84	0,90	10,75	32,25	64,50
13	2.276	585,90	0,59	7,03	21,09	42,18
14	2.197	664,21	0,66	7,97	23,91	47,82



REVISTA SOCIEDADE CIENTÍFICA, VOLUME 7, NÚMERO 1, ANO 2024

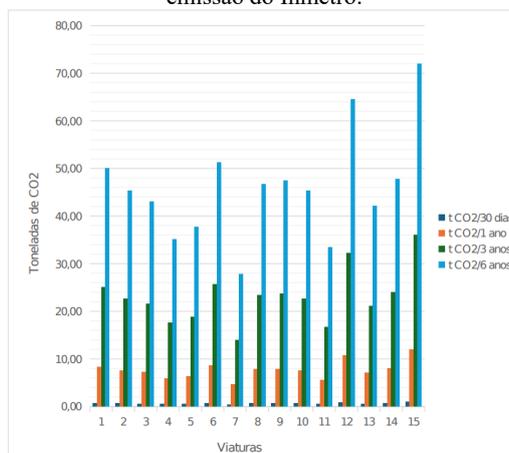
15	3.304	998,88	1,00	11,99	35,96	71,92
Total	45.515	9.574,87	9,57	114,90	344,70	689,39

Fonte: Elaboração própria com base em Christophe (2004)

É possível observar que há uma variação considerável das emissões ao comparar os quadros 6 e 7. Isso se dá devido ao fator de emissão utilizado: para o quadro 6, considerou-se um fator de emissão de 0,12 kgCO₂/km, enquanto no quadro 7 foi considerado o fator de emissão de Christophe (7), de 2,28 kgCO₂/L para a queima da gasolina, e 2,6 kgCO₂/L para a queima do diesel.

O fator de emissão do Inmetro permite ver a diferença entre a queima da gasolina e do diesel, mostrando que há maior poluição proveniente de veículos com motor à diesel. Essa diferença é bastante clara ao comparar, nos gráficos das figuras 1 e 2, as emissões dos veículos 1 e 15, sendo o 1 movido a gasolina, e o 15 movido a diesel. No primeiro cálculo, o veículo 1, um Fiat Cronos, emitiu mais CO₂ por ter percorrido uma quilometragem maior que o veículo 15, uma Chevrolet S10. No segundo cálculo é possível ver que isso muda, uma vez que é levada em consideração a mudança de combustível, mesmo com uma quilometragem inferior do veículo 15 (3.304 km) comparada ao veículo 1 (3.904).

Figura 2 - Projeção das emissões de CO₂ para um ano, três anos e seis anos por viatura, com base no fator de emissão do Inmetro.



Fonte: Elaboração própria



Ao contrário do que é apresentado no gráfico da figura 1, os veículos 13 e 14 têm emissões maiores, o que se dá pelo tipo de combustível usado, e apenas o veículo 7, uma Renault Duster à gasolina, possui emissões inferiores aos demais veículos, o que se deve, principalmente, à sua menor quilometragem. Porém, faz-se a mesma ressalva do gráfico anterior: os veículos passam tempo parados, mesmo estando ligados, de prontidão, em locais de trânsito intenso, o que pode causar variações nas emissões reais de cada veículo, uma vez que há queima de combustível para manter o motor em funcionamento.

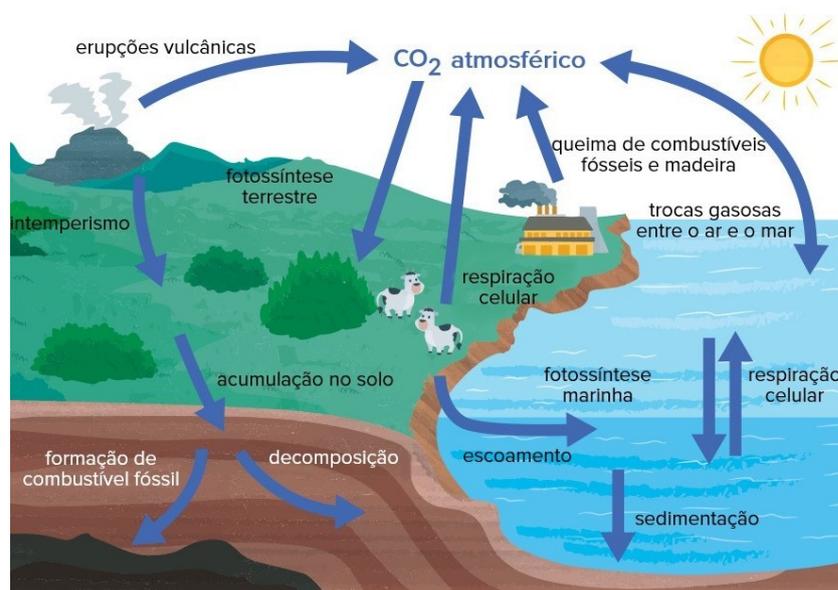
Comparando-se os fatores de emissão (0,12 kgCO₂/km no primeiro cálculo, e 2,28 e 2,6 kgCO₂/L para gasolina e diesel, respectivamente, no segundo cálculo), o segundo cálculo é o que mais se aproxima da realidade por levar em consideração a diferença dos combustíveis no momento da queima.

Conhecendo o cenário da queima dos combustíveis e sabendo quanto CO₂ é emitido, o próximo passo é entender o papel da vegetação na compensação dos poluentes.

Para incluir a vegetação na discussão, é necessário, primeiramente, entender o ciclo do carbono (figura 3). A vida como conhecemos é baseada em carbono, ou seja, todos os seres vivos conhecidos pelo ser humano possuem carbono em sua composição. Ao mesmo tempo, o carbono possui papel fundamental na atmosfera, sendo um dos gases responsáveis pelo efeito estufa. Em nível do solo, o carbono está presente na água, no solo, no ar e nos seres vivos em diversos formatos, seja em forma de gás (CO_x, ou óxidos de carbono), dissolvido na água ou no solo, seja participando da composição da biomassa. Ao se “desprender” do nível do solo, o carbono sobe para a atmosfera no formato de gás, sendo liberado através da respiração dos animais ou decomposição de matéria orgânica. A partir daí, ele se torna parte dos elementos responsáveis pela regulação climática do planeta. Ao retornar para o nível do solo, ele é reabsorvido

através da respiração e fixação da biomassa das plantas, algas e fitoplâncton, além de dissolução na água e sedimentação da biomassa (Laguna *et al.*, 2021).

Figura 3 – Ciclo do carbono



Fonte: Khan Academy (15)

As questões atuais em volta do carbono dizem respeito ao acréscimo que tem sido feito nesse ciclo, em que há uma liberação de óxidos de carbono maior do que pode ser reabsorvida. Isso acontece através da queima de biomassa e de combustíveis fósseis. Durante a queima, a reação química libera dióxido de carbono e vapor de água, porém, a água volta ao ciclo natural, enquanto o carbono pode durar até 120 anos na atmosfera, sendo esse um “excedente” do que o planeta é capaz de reintroduzir no ciclo natural do carbono. Isso é agravado pelas demais ações antrópicas, que têm, por exemplo, suprimido a vegetação em velocidade superior à de plantio de novas mudas (Laguna *et al.*, 2021).

Ter esse entendimento acerca das emissões veiculares é importante para traçar estratégias de compensação, uma vez que atividades antrópicas, no geral, não



participam do ciclo de emissão/absorção de gases na biosfera. Como demonstrado por Lima (17), as emissões antrópicas causam uma descompensação no balanço de gases atmosféricos, gerando, além da poluição, uma potencialização no efeito estufa. Além disso, ainda conforme a autora, o crescimento urbano desordenado, como é na maior parte das vezes, acontece em detrimento da vegetação, de modo que árvores precisam ser derrubadas para dar espaço a cidades.

É possível compensar as emissões meio da plantação de árvores. Assim, para cada tonelada de CO₂ emitida na atmosfera, 7 árvores são necessárias. Durante a vida, uma pessoa é responsável pela emissão indireta de carbono a partir de suas atividades diárias, pensando no seu modo de consumo, enquanto indústrias são responsáveis pela emissão direta de carbono a partir de sua produção. O plantio de árvores auxilia na compensação das emissões devido ao sequestro de carbono que ocorre durante o crescimento.

Sabendo disso, é possível estimar quantas árvores seriam necessárias para compensar a emissão dos gases emitidos por um percentual de 15 viaturas do DMTT de Maceió/AL, utilizando-se a fórmula desenvolvida. Assim, do mesmo modo como foi feito o cálculo para emissões em 30 dias, e as projeções para 1, 3 e 6 anos, fez-se o cálculo proporcional para os mesmos períodos, de modo a quantificar o número mínimo de árvores necessárias para compensar as emissões veiculares da frota do DMTT.

Considerando o bioma, Sampaio, Aguiar e Conceição (2023) pontua que um hectare de floresta de mata atlântica deve conter duas mil mudas nativas. Para compensar as emissões das 15 viaturas ao final de seis anos, são necessários 1,38 hectares de novas mudas de mata atlântica, valor que pode ser arredondado para 1,5 hectares, levando em consideração possíveis variações de quilometragem mensal, o que corresponde a 2.755 árvores, considerando o cálculo com fator de emissão de 0,12 kgCO₂/km. Se o fator de emissão utilizado for o do Inmetro, serão necessários 2,4 hectares, sem considerar possíveis alterações de quilometragem (Quadro 8).



Quadro 8 – Toneladas de CO₂ emitidas e o número de árvores necessárias para compensar as emissões.

	30 dias	1 ano	3 anos	6 anos
Fator de emissão 0,12 kgCO₂/km				
tCO ₂	5,46	65,54	196,62	393,25
Nº de árvores	38	459	1.378	2.755
Fator de emissão Inmetro				
tCO ₂	9,57	114,90	344,70	689,39
Nº de árvores	67	804	2.413	4.826

Fonte: Elaboração própria

Para realizar o plantio adequado dessas árvores, é preciso entender o cenário cujo estado faz parte. Conforme apontado por Santos (26), Alagoas está inserida no bioma Mata Atlântica, e isso deve ser levado em consideração no momento de escolha das árvores a serem plantadas, de modo a priorizar as árvores nativas da região. Isso também é importante devido às particularidades da área, que terá necessidades específicas no que diz respeito aos serviços ecossistêmicos fornecidos pela vegetação. Ressalta-se, também, que a quantidade de carbono absorvido depende do metabolismo, idade e espécie (11).

Soluções como a compensação ambiental pelas emissões de veículos oficiais podem deixar a cidade de Maceió e, por sua vez, o estado de Alagoas, mais próximos dos objetivos estipulados pela Agenda 2030 da ONU.

A agenda 2030 é uma declaração assinada por 193 Estados Membros da ONU e visa o desenvolvimento sustentável até o ano de 2030, partindo de 17 objetivos e 169 metas de ação global, pensando nas esferas ambiental, econômica e social. Adotar o plantio de mudas nativas do bioma local está diretamente associado aos objetivos 11, de Cidades e Comunidades Sustentáveis, 13, de Ação Contra a Mudança do Clima Global, e 15, de Vida Terrestre.

Esta seria uma solução pontual, mas com efeitos a longo prazo, e que, por partir de um órgão público, serve de exemplo para a comunidade, que se sentirá na obrigação



de exigir mais ações sustentáveis por parte do governo, além de praticar as próprias ações.

Silva e colaboradores (29) observaram que o número de veículos automotores aumentou em Maceió, com uma expectativa de mais de 900 mil veículos até 2060. Concomitante a isso, atualmente é observado um padrão de emissão de 1,3 g/km para CO₂, e tem-se uma projeção de 3,19 g/km até 2060, cerca de 59% acima dos padrões estabelecidos, levando-se em consideração veículos que utilizam combustíveis fósseis. O mesmo estudo publicou o Processo Administrativo nº 12600.113790/2024, em 18 de junho de 2024, por parte do DMTT com aviso de cotação com objetivo de aquisição de veículos elétricos. Essa proposta de aquisição de veículos elétricos torna-se relevante pelo menor impacto direto por parte de veículos elétricos, uma vez que estes não emitem gases poluentes nem GEE durante seu funcionamento. Vê-se, então, que, embora o número de veículos tenda a aumentar na cidade de Maceió, já é observada uma movimentação por parte de órgãos públicos no que diz respeito à mudança nos padrões de emissão.

O impacto ambiental negativo proveniente dos veículos elétricos, em geral, está associado ao processo de fabricação e o descarte final. Após o término da vida útil da bateria, é necessário devolver o item à fabricante ou a uma empresa que faça o processo de logística reversa, uma vez que os elementos usados nas baterias podem ser reutilizados (33; 12).

No Brasil cidades de São José dos Campos, em São Paulo, e Campina Grande, na Paraíba, vêm adotando medidas mitigadoras do GEE, colaborando para o alcance das metas globais da Agenda 2030. São José dos Campos, desde 2018, vem inovando a frota de viaturas da guarda civil municipal com a utilização de veículos 100% elétricos. Essa medida nos últimos 4 anos e meio deixou de emitir cerca de 2 mil toneladas de CO₂. A ação equivale ao plantio de aproximadamente 14000 mil árvores, cujo crescimento seria responsável pelo sequestro de carbono (27).



Igualmente observado em Campina Grande, em 2024, iniciou-se o processo de transição das viaturas movidas a combustão, para elétricas. Inicialmente, a Superintendência de trânsito e transporte aderiu por meio de locação 4 novas viaturas elétricas, objetivando uma expressiva economia para os cofres públicos, tendo em vista a redução dos gastos com combustíveis fósseis (gasolina e etanol), assim como os cuidados com o meio ambiente com a redução de gases tóxicos (S31).

Algumas vantagens são concedidas aos proprietários de veículos elétricos, visando incentivar a aquisição destes. Em Alagoas há isenção do Imposto Sobre Propriedade de Veículos Automotores (IPVA) no primeiro ano, e nos anos seguintes, a alíquota é reduzida. No Distrito Federal há isenção total do IPVA para elétricos e híbridos. No Maranhão, tem-se a isenção do IPVA desde que o veículo seja adquirido dentro do estado. No Mato Grosso do Sul há descontos para a aquisição de veículos mais sustentáveis, incluindo, por exemplo, os veículos movidos a gás natural. Em Minas Gerais há isenção do IPVA para os veículos produzidos no estado, o que torna o desconto inviável, uma vez que não há fábricas neste local. Em Pernambuco há isenção para os veículos registrados no estado. No Rio de Janeiro, os proprietários de veículos elétricos pagam 0,5% do IPVA, e 1,5% para os híbridos. O Rio Grande do Sul há isenção total da taxa, e São Paulo está aguardando uma legislação, visto que o último projeto de lei foi vetado, porém, a cidade de São Paulo restitui 50% do valor do IPVA na aquisição de um elétrico ou híbrido (6).

Levando em consideração os incentivos oferecidos pelo governo, pensando na sustentabilidade e minimização dos impactos ambientais, o Brasil tem se mostrado interessado na mudança do padrão de consumo dos habitantes. No contexto dos órgãos públicos, a população pode ser incentivada de diversas maneiras, e ter órgãos públicos iniciando projetos de compensação ambiental pode ser um bom ponto de partida para tornar as cidades mais sustentáveis e somar às metas definidas pela Agenda 2030.

4. **Considerações finais**



Nesse estudo de caso junto a DMTT de Maceió evidencia o impacto quanto a contribuição de uma pequena frota de viaturas que percorrem 3,2 milhões de quilômetros, vindo assim a emitir a atmosfera 393 mil toneladas de CO₂, o que seria necessário para compensação de CO₂ o plantio de 2755 árvores. Importante ressaltar que esses valores correspondem a um número de 15 veículos, vindo essas emissões alcançarem valores muito maiores com todas as frotas de veículos da DMTT.

Tais resultados do estudo poderão auxiliar na discussão quanto a políticas públicas do setor de transporte levantando discussões quanto a sustentabilidade ambiental e em direção ao cumprimento dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável da Agenda 2030 da ONU por meio do setor de transportes de trânsito de Maceió.

O plantio de árvores realizado pela DMTT de Maceió é uma ação bastante eficiente, uma vez que as árvores capturam carbono para formar biomassa e crescer e são responsáveis pela renovação do ar e outros serviços ecossistêmicos importantes, principalmente no meio urbano. Questões como enchentes, calor e até a saúde mental da população podem ser amenizadas com o aumento do número de árvores nas cidades.

As questões ambientais têm estado cada vez mais em evidência, uma vez que foi demonstrado que, embora as mudanças climáticas e o efeito estufa sejam fenômenos naturais, as ações antrópicas têm auxiliado no aumento da temperatura no planeta. Esse fato foi, inclusive, demonstrado nos últimos relatórios do IPCC. Contudo, o modelo econômico vigente no mundo, que incentiva o consumo, somando ao avanço tecnológico, demanda cada vez mais recursos naturais.

Nesse mesmo contexto, a demanda por transporte tem crescido, e os transportes públicos e planos de mobilidade não têm acompanhado com a qualidade exigida, de modo que há uma busca por veículos particulares e pouca oferta de outros tipos de modais. Em consequência, a venda de veículos tem crescido, aumentando o consumo de combustíveis fósseis e a emissão de poluentes.



Portanto, é necessário buscar alternativas aos combustíveis utilizados atualmente e de melhorar a mobilidade urbana, abrindo espaço para outras formas de movimentação da população. É necessário, também, repensar o modo de crescimento urbano que, como apresentado por Lima (17), acontece em detrimento das áreas verdes devido, principalmente, ao crescimento desordenado.

A participação pública pode ser incentivada de diversas maneiras, e ter órgãos públicos iniciando projetos de compensação ambiental pode ser um bom ponto de partida para tornar as cidades mais sustentáveis e somar às metas definidas pela Agenda 2030.

O presente artigo apresenta questões que podem ser mais bem exploradas em trabalhos futuros, principalmente no que diz respeito à modernização das frotas veiculares dos órgãos públicos. Além disso, Maceió precisa de mais estudos voltados para a qualidade do ar, e este pode ser um trabalho base para novos estudos relacionados às emissões veiculares da cidade.

5. **Declaração de direitos**

O(s)/A(s) autor(s)/autora(s) declara(m) ser detentores dos direitos autorais da presente obra, que o artigo não foi publicado anteriormente e que não está sendo considerado por outra(o) Revista/Journal. Declara(m) que as imagens e textos publicados são de responsabilidade do(s) autor(s), e não possuem direitos autorais reservados a terceiros. Textos e/ou imagens de terceiros são devidamente citados ou devidamente autorizados com concessão de direitos para publicação quando necessário. Declara(m) respeitar os direitos de terceiros e de Instituições públicas e privadas. Declara(m) não cometer plágio ou auto plágio e não ter considerado/gerado conteúdos falsos e que a obra é original e de responsabilidade dos autores.

6. **Referências**

1. AGÊNCIA GOV. Inmetro divulga nova tabela do Programa Brasileiro de Etiquetagem Veicular. Agência Gov, 02 de fevereiro de 2024. Disponível em: <https://agenciagov.ebc.com.br/noticias/202402/inmetro-divulga-nova-tabela-do-programa-brasileiro-de-etiquetagem-veicular>. Acesso em: 28 jul. 2024.



2. ÁLVARES JR, Olimpio de Melo; LINKE, Renato Ricardo Antonio. Metodologia simplificada de cálculo das emissões de gases do efeito estufa de frotas de veículos no Brasil. CETESB: São Paulo, 2022.
3. ALVES, André Luíz; ZANCANELLA, Antônio Carlos Barboza. Análise do desempenho de um motor via ciclo Otto: teoria e proposta experimental para o ensino de ciências. Revista Brasileira Multidisciplinar, v. 27, n. 1, p. 190-203, 2024.
4. ARBEX, Marcos Abdo; SANTOS, Ubiratan de Paula; MARTINS, Lourdes Conceição; SALDIVA, Paulo Hilário Nascimento; PEREIRA, Luiz Alberto Amador; BRAGA, Alfésio Luis Ferreira. A poluição do ar e o sistema respiratório. J. Bras. Pneumol., v. 38, n. 5, out. 2012.
5. BRANDÃO, Paulo Victor Rocha; ALBUQUERQUE, Édler Lins de; FIALHO, Rosana Lopes Lima. Estudo comparativo entre as metodologias para realização de inventários de emissão de gases poluentes por fontes automotoras: CETESB x Ministério do Meio Ambiente. Brazilian Journal of Development, Curitiba, v. 6, n. 5, p. 25544-25554, mai. 2020.
6. CABRAL, Julio. Estados dão desconto ou isentam IPVA 2024 de carros elétricos e híbridos. Quatro Rodas, 3 de janeiro de 2024. Disponível em: <https://quatorrodas.abril.com.br/noticias/quais-estados-dao-desconto-ou-isentam-ipva-de-carros-eletricos-e-hibridos>. Acesso em: 31 jul. 2024.
7. CHRISTOPHE. Estudo da equação de combustão da combustão completa de um hidrocarboneto aplicado ao controle da poluição de motores, Econologie, 21 de novembro de 2004. Disponível em: https://www.ecologia.cc/equação-de-combustão/#google_vignette. Acesso em: 29 mar. 2024.
8. CHRISTOPHE. Liberações ou emissão de CO₂ por litro de combustível (gasolina, diesel, GLP). Econologie, 7 de março de 2008. Disponível em: <https://www.ecologia.cc/Emissões-co2-litros-de-combustível-de-gasolina-ou-diesel-gpl/>. Acesso em: 29 mar. 2024.



9. ECYCLE. Reflorestamento: o que é, importância e benefícios. 2023. Disponível em: <https://www.ecycle.com.br/reflorestamento/>. Acesso em: 29 mar. 2024.
10. EYRING, V. et al. Human influence on the climate system. In: Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth40 Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge: Cambridge University Press, 2021.
11. GATTO, Alcides; BARROS, Nairam Félix de; NOVAIS, Roberto Ferreira de; SILVA, Ivo Ribeiro da; LEITE, Hélio Garcia; VILLANI, Ecila Mercês de Albuquerque. Estoque de carbono na biomassa de plantações de eucalipto na região centro-leste do estado de Minas Gerais. *Rev. Árvore*, v. 35, n. 4, p. 895-905, ago. 2011.
12. GUZEK, Marek; JACKOWSKI, Jerzy; JURECKI, Rafal S.; SZUMSKA, Emília M.; ZDANOWICZ, Piotr; ZMUDA, Marcin. Electric Vehicles—An Overview of Current Issues—Part 1—Environmental Impact, Source of Energy, Recycling, and Second Life of Battery. *Energies*, v. 17, n. 1, 2024.
13. IBFLORESTAS. Compensação de CO2 com plantio de florestas. 2020. Disponível em: <https://www.ibflorestas.org.br/conteudo/compensacao-de-co2>. Acesso em: 29 mar. 2024.
14. INMETRO. Programa Brasileiro de Etiquetagem Veicular - PBEV. Tabela ano 2024.
15. KHAN ACADEMY. O ciclo do carbono. [s.d.]. Disponível em: <https://pt.khanacademy.org/science/hs-biology/x4c673362230887ef:matter-and-energy-in-ecosystems/x4c673362230887ef:the-carbon-cycle/a/the-carbon-cycle-article>. Acesso em: 25 jul. 2024.
16. LEITE, Vinicius Pazini; DEBONE, Daniela; MIRAGLIA, Simone Georges El Khouri. Emissões de gases de efeito estufa no estado de São Paulo: análise do setor de transportes e impactos na saúde. *Vittalle - Revista de Ciências da Saúde*, v. 32, n. 3, p. 146-153, 2020.



17. LIMA, Tainá Teixeira Cavalcante de. Existe influência das áreas verdes urbanas na saúde humana? Estudo da poluição do ar e das interações por doenças respiratórias na cidade de São Paulo (2014-2020). 134 f. 2022. Tese (Doutorado em Sociedade, Tecnologias e Políticas Públicas) - Centro Universitário de Maceió, Maceió, 2022.
18. MACEIÓ. Departamento Municipal de Transporte e Trânsito. Aviso de Cotação - Processo Administrativo nº 12600.113790/2024, de 18 de junho de 2024. Maceió: DMTT, 2024.
19. MAIA, Letícia Maria Damasceno; LUCAS, Marcela de Andrade; MATOS, Janara de Camargo. Participação das briófitas na redução de gases do efeito estufa. Revista Eletrônica Anima Terra, Mogi das Cruzes, v. 9, n. 18, p. 31-45, 2024.
20. MARTELLI, A.; CACHIBA, S. Mudanças Climáticas Devido as Ações Antropogênicas e as Ações Realizadas pelo Município de Itapira-SP como Medidas Mitigadoras. Uniciencias., v. 26, n. 1, p. 51-57, 2022.
21. PAULISTÂNIA. Guia Paulistaniense de Arborização Urbana. Paulistânia: Secretaria Municipal de Agricultura, Meio Ambiente e Obras, 2017.
22. PERREIRA, T. F.; MUNIZ, C. C.; OLIVEIRA JUNIOR, E. S. Emissões de CO2 em Mato Grosso por veículos automotores. Revista Ibero Americana de Ciências Ambientais, v. 11, n. 3, p. 229-241, 2020.
23. ROSS, Katie; WASKOW, David; GE, Mengpin. Como as emissões de metano contribuem com as mudanças climáticas. WRI Brasil, 11 nov. 2021. Disponível em: <https://www.wribrasil.org.br/noticias/como-emissoes-de-metano-contribuem-com-mudancas-climaticas>. Acesso em: 31 mai. 2024.
24. SAMPARIO, Vinicius Thees; AGUIAR, Christiane Rosas Chafim; CONCEIÇÃO, Guilherme Wilson da. Carbonômetro: Contador do CO2 não emitido pelo passageiro do transporte por ônibus do RJ. In: CONGRESSO



- BRASILEIRO DE MOBILIDADE URBANA, 23., 2023, Rio de Janeiro. Anais... Rio de Janeiro: ANTP, 2023.
25. SANTOS, Sara Silva dos. Análise do desempenho de motores a combustão interna flex (bicomustível). 2021. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Mecânica) - Faculdade Pitágoras, Imperatriz, 2021.
26. SANTOS, Radjalma Almerino dos. Fauna invertebrada: aérea, do solo e serapilheira, em áreas de Eucalyptus sp. e Mata Atlântica, em Maceió, Alagoas. 43 f. 2023. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Geografia) - Instituto de Geografia, Desenvolvimento e Meio Ambiente, Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2023.
27. PREFEITURA DE SÃO JOSÉ DOS CAMPOS. Prefeitura entrega novas viaturas elétricas a CGM e PM. Meon, 11 de agosto de 2023. Disponível em: <https://www.meon.com.br/noticias/rmvale/sjc-prefeitura-entrega-novas-viaturas-100-eletricas-a-gcm-e-pm>. Acesso em 20.08.2023.
28. SILVA, Alana Gabriela Mira. Sequestro de carbono por árvores urbanas no bairro das Graças em Recife-PE. 43 f. 2023. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Florestal) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2023.
29. SILVA, Anderson Jefferson Gomes da; BARBOSA, Emylle Isabelle Gonçalves; MARIANO, Glauber Lopes; GOMES, Heliofábio Barros; CHAGAS, Ericka Voss. Inventário de fontes móveis para Maceió-AL – Análise atual e Cenários futuros. Revista Brasileira de Geografia Física, v. 17, n. 3, p. 1457-1477, 2024.
30. SINDIPEÇAS. Relatório da Frota Circulante - Edição de 2023. São Paulo: Sindipeças; Abipeças, 2023. Disponível em: https://static.poder360.com.br/2023/05/RelatorioFrotaCirculante_2023.pdf. Acesso em: 31 mai. 2024.
31. SUPERINTENDÊNCIA DE TRÂNSITO E TRANSPORTES PÚBLICOS. Modernização: STTP adquire carros elétricos e deve fazer expressiva redução



com gastos de combustíveis. 2024. Disponível em:

<https://sttp.campinagrande.pb.gov.br/mordernizacao-sttp-acquire-carros-eletricos-e-deve-fazer-expressiva-reducao-de-gastos-com-combustiveis/>. Acesso em: 07 jun. 2024.

32. YU, Chang Man. Sequestro florestal de carbono no Brasil – Dimensões políticas, socioeconômicas e ecológicas. 2004. Tese, (Doutorado em Meio Ambiente e Desenvolvimento) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2004.
33. ZHANG, Hongliang; XUE, Bingya; LI, Songnian; YU, Yajuan; LI, Xi; CHANG, Zeyu; WU, Haohui; HU, Yuchen; HUANG, Kai; LIU, Lei; CHEN, Lai; SU, Yuefeng. Life cycle environmental impact assessment for battery-powered electric vehicles at the global and regional levels. *Scientific Reports*, v. 13, n. 7952, 2023.