

**Insper Instituto de Ensino e Pesquisa
Faculdade de Economia e Administração**

Walquiria Kiyomi Yuri Backx Van Buggenhout

**O ADENSAMENTO POPULACIONAL E SUA
INFLUÊNCIA NA EMISSÃO DE DIÓXIDO DE CARBONO
PELO USO DE VEÍCULOS PARTICULARES: UM
ESTUDO DOS DISTRITOS DA CIDADE DE SÃO PAULO**

**São Paulo
2019**

Resumo

Este artigo busca compreender se a alta densidade demográfica na cidade de São Paulo é um aspecto desejável ou não para a sustentabilidade do meio ambiente. Entendendo que um dos maiores fomentadores do efeito estufa é o gás carbônico, cuja emissão é oriunda em grande parcela pelo uso de combustíveis fósseis para transporte, o presente trabalho dá especial atenção ao impacto que o adensamento tem sobre o uso do automóvel particular pelos indivíduos. A metodologia utilizada foi uma regressão linear cuja variável resposta era quilogramas de CO₂ liberados pelo uso de automóveis e regressores eram a densidade demográfica por distrito de São Paulo e dummies sobre transporte público, como a disponibilidade de estação de metrô, faixas exclusivas para ônibus e corredores de ônibus no distrito. O resultado encontrado foi que a densidade demográfica é uma variável irrelevante para explicar a emissão de dióxido de carbono pelo uso de automóveis em São Paulo, mas que tanto a presença de metrô quanto a de corredores de ônibus tende a reduzir o uso de automóvel e, portanto, a liberação do gás.

Palavras-chave: Urbanização. Adensamento urbano. Densidade demográfica. Uso de veículos particulares. Emissão de dióxido de carbono. Cidade de São Paulo.

1. INTRODUÇÃO

Desde o século XIX, há um fenômeno em processo até os dias de hoje, iniciado principalmente depois das Revoluções Industriais: a urbanização. Com a instalação das primeiras indústrias, as pessoas começaram a se sentir atraídas pela maior disposição de empregos, retornos financeiros e oportunidades. Não tardou para que logo as primeiras aglomerações habitacionais e comerciais começassem a surgir, a partir da emigração das zonas rurais para as urbanas.

Essas aglomerações, por via de regra, de fato geram mais riqueza. Hoje, a porcentagem da população urbana em relação à total pode servir até mesmo como indicador de desenvolvimento de um país ou de uma região (desde que ponderado o tamanho do país o da sua população). No Reino Unido, por exemplo, segundo o The World Bank (2018), o índice de urbanização em 2017 foi de 83%, em contraste com o mundial no mesmo ano, de pouco menos de 55%.

Apesar dos benefícios gerados pela urbanização, como o melhor acesso a educação, saúde, cultura e desenvolvimento econômico (The World Bank, 2017), muitas vezes esse processo pode gerar vários desafios. Talvez os maiores exemplos destes sejam a marginalização das camadas mais pobres da sociedade e a formação de guetos, e o aumento de todos os tipos de poluição e ofensas à natureza. É neste último aspecto que o presente trabalho busca centralizar suas análises, estudando, em especial, sobre a influência do adensamento populacional de uma região na sua emissão de gás carbônico, principal componente responsável pelo efeito estufa e o gás poluente mais liberado no mundo.

Segundo o Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)(2014), o dióxido de carbono representa cerca de 77% das emissões poluentes totais mundiais. Considerando somente o ano de 2017, segundo o Global Carbon Atlas, ao todo 36.153 MtCO₂ foram dispensas na atmosfera. A China, país que mais colabora para o infortúnio, foi responsável por 9.839 MtCO₂, quase um terço da emissão mundial. Os Estados Unidos, em segundo lugar, no mesmo ano emitiram 5.270

MtCO₂. Nesse quadro, o Brasil ocupou a 13^a posição, tendo emitido 476 MtCO₂ no ano.

O excesso de CO₂ na atmosfera interfere no equilíbrio ambiental entre o oceano e a biosfera, e a consequência disso, em linhas gerais, é o aquecimento global, com o derretimento das calotas polares e o aumento do nível do mar, o aumento da temperatura da água do mar e os seus efeitos sobre a fauna e a flora marinha e mudanças na precipitação pluviométrica e na vegetação ao redor do mundo. Cada uma dessas alterações traria não só mais problemas ambientais, mas também consequências para a economia e para o bem-estar da humanidade. Recentemente, IPCC (2018) lançou um relatório especial no qual chamava atenção para a urgência de se conter a emissão dos gases estufa, a fim de evitar que o aquecimento global atingisse um aumento de 1,5°C acima dos níveis pré-industriais. Segundo o relatório, se tal aumento for atingido, cerca de 6,5% da área terrestre mundial estará sob risco de sofrer uma troca de ecossistema de um tipo para outro.

Em grande parte dos países, o principal gerador desses gases são os combustíveis fósseis e, destes, 20,5% foram emitidos pelo uso para transportes, considerando o mundo como um todo, segundo O The World Bank (2014). O mesmo dado sobe para 33,4% quando restrito apenas aos Estados Unidos, e para 44,8% no caso brasileiro.

Foi pensando nisso que alguns autores americanos como Glaeser e Kahn (2010) resolveram estudar a influência ecológica da urbanização, em especial, da sua densificação. Talvez surpreendentemente para muitas pessoas, os principais resultados que descobriram foi que existe uma correlação positiva entre o quão denso é um lugar e o quão verde ele é. Isso se justifica principalmente pela redução do uso dos automóveis particulares em lugares onde os destinos dos cidadãos se encontram próximos uns dos outros, de forma que é possível traçar o caminho a pé, ou em que a infraestrutura dos transportes públicos possui uma boa qualidade.

No entanto, estes estudos foram feitos em países onde a urbanização foi minimamente bem mais planejada do que no Brasil, o que nos levanta o questionamento de que se o resultado se replicaria para o caso brasileiro, em

que o processo de urbanização foi diferente, levando a uma distinta estrutura nas cidades comparado ao caso norte americano, e onde a infraestrutura dos transportes públicos deixa muito a desejar.

O objetivo deste trabalho, portanto, é investigar se, no Brasil, locais mais densos emitem menos CO₂, baseando-se fundamentalmente nas ideias de Glaeser e Kahn (2010) e usando os dados principalmente da Pesquisa Origem e Destino do Metrô de 2017, a mais recente disponibilizada, e do Info Cidade, onde a Secretaria Municipal de Desenvolvimento Urbano de São Paulo deposita os dados estatísticos da cidade.

O estudo será feito usando dados dos distritos de São Paulo, diferentemente do que foi feito nos estudos dos autores acima citados. O principal motivo é a demasiada heterogeneidade entre as cidades e regiões brasileiras, que poderiam de alguma forma viesar os resultados. Além disso, a cidade de São Paulo é uma das cidades brasileiras cujos meios de transporte públicos e privados mais se assemelham aos de metrópoles americanas, o que favorece a comparação. Por fim, a depender do resultado deste estudo, será possível compreender se, para São Paulo, a cidade mais populosa e a 10^a mais densa do Brasil (IBGE, 2010), a densidade demográfica é um fator ecologicamente desejável ou não.

2. REVISÃO DE LITERATURA

Com o intuito de investigar a relação das características da localização das casas americanas (em termos de cidade e região) com a emissão de dióxido de carbono, Glaeser e Kahn (2010) realizaram um estudo com 48 estados dos Estados Unidos. No *paper*, os autores constataram que, em geral, as cidades mais densas tendem emitir, em média, 1,7 toneladas de CO₂ a menos do que os subúrbios, considerando apenas o gás liberado por automóveis. No entanto, a diferença entre a emissão dos centros e dos subúrbios varia bastante entre as regiões dos Estados Unidos, desde 315kg a 3,6ton, em Los Angeles e em Nashville, respectivamente. Os autores observaram também que a situação é oposta quando se trata do gás carbônico liberado por transportes públicos (mais

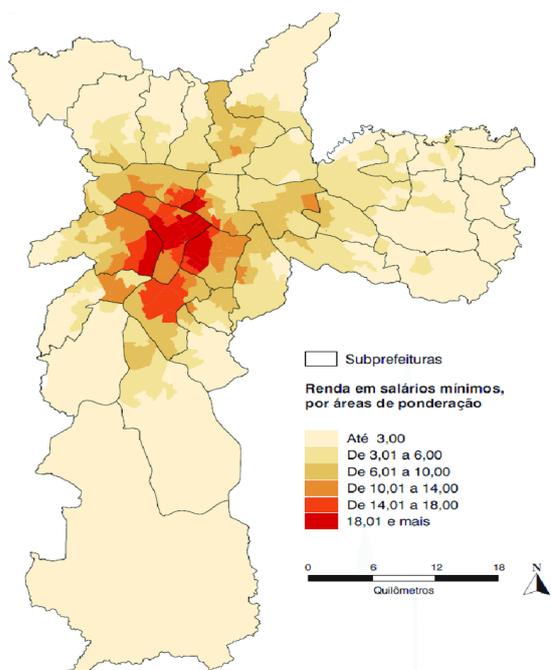
emissão em cidades do que em subúrbios), reforçando a ideia de que nos centros urbanos há uma redução do uso de veículo próprio em prol do maior uso de modais públicos. No estudo, os autores mantêm constantes a renda e a população das cidades, já tendo demonstrado como estas duas variáveis tinham forte correlação com a emissão de CO₂.

Christopher Jones e Daniel M. Kammen (2013) encontraram resultado semelhante ao buscar entender a relação entre a distribuição espacial dos domicílios americanos e a emissão de gás carbônico. Os autores analisaram a pegada de carbono doméstica essencialmente em função do consumo individual e da emissão do gás proveniente desse consumo. As análises incluíam o consumo de forma agregada, mas também separado de acordo com o tipo de consumo: energia de casa, bens e mercadorias, serviços, componentes alimentares e transporte. Os resultados do estudo mostraram que em uma estreita faixa de residências entre 15 milhas a 45 milhas de distância das cidades centrais, entendida como uma área suburbana, a emissão de CO₂ pelo consumo como um todo era mais percebida do que na cidade central. Chamam atenção, no entanto, ao fato de que o aspecto no qual mais foi vista diferença na liberação do gás carbônico é no que se diz respeito ao consumo relacionado ao transporte. Segundo os autores, a diferença de emissão nessa categoria chega a ser de mais de 15 toneladas de CO₂ diariamente entre a liberação da cidade central e do subúrbio.

Outro estudo, também americano, de Brownstone e Golob (2009), nos apresenta novamente o mesmo tipo de correlação. Os autores estudavam o impacto da densidade habitacional no uso de automóveis (milhas viajadas) e no de combustível (milhas rodadas por galão), utilizando os dados das casas do estado de Califórnia para as análises empíricas. A variável que usaram para medir a densidade do local foi a unidade de casas por milha quadrada. Como resultado, encontraram que tanto a quantidade de milhas viajadas de carro quanto o uso de combustível usada anualmente pelas famílias reduziam quando esta habitava em lugares onde a concentração de casas era maior. Um aumento em 1000 casas em um local, segundo seus resultados, significava, em média, quase 1200 milhas rodadas a menos de carro e uma economia de cerca de 65 galões de combustível por família. Os autores entendem que as viagens a carro reduzem

com o aumento da densidade principalmente porque o número de carros por família reduz quando aquela aumenta. Brownstone e Golob (2009) explicam, também, que o uso do combustível provavelmente é mais eficiente porque as máquinas possuídas pelos indivíduos que residem em locais mais densos tendem a ser menos potentes e mais econômicos, além de mais dificilmente serem SUVs, caminhonetes ou vans. É interessante ressaltar que, segundo os autores, em geral, as famílias com maiores rendas tendem a escolher residir em locais de menor densidade, o que seria o contrário do que acontece na cidade de São Paulo, como se verifica na **Figura 1** exposta abaixo.

Figura 1 – Mapa da distribuição de renda no município de São Paulo no ano 2000



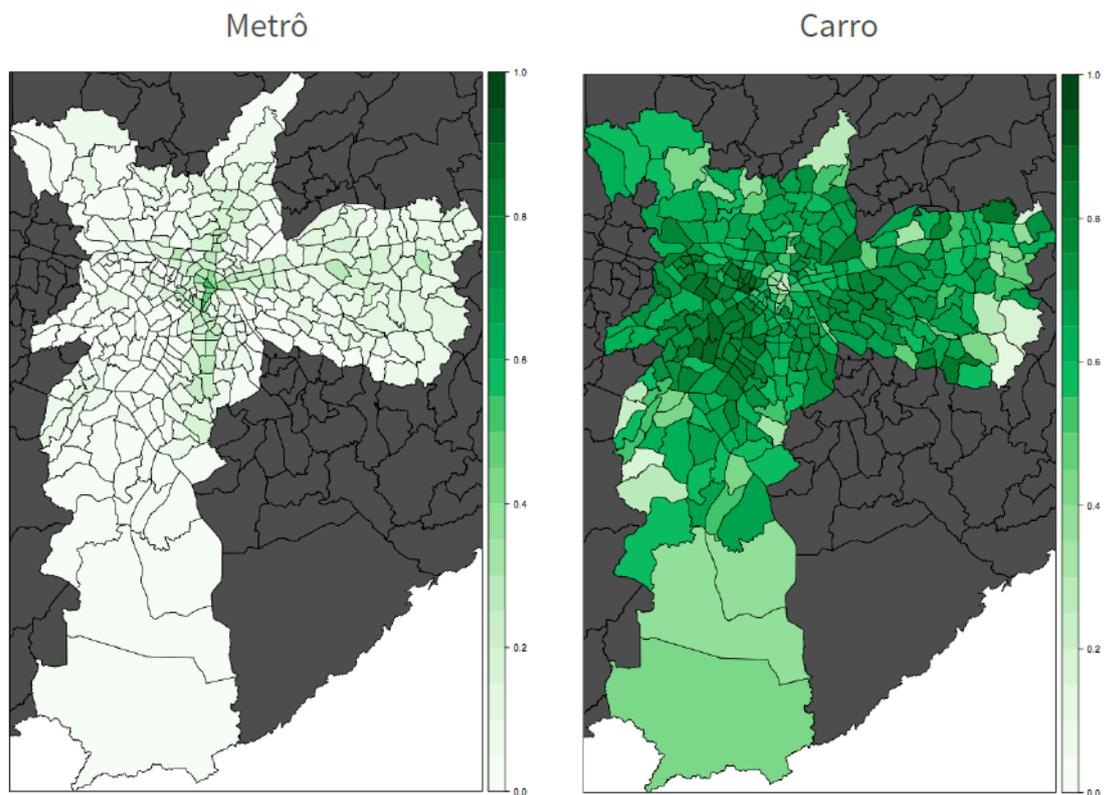
Fonte: Info Cidade

Para os estudos apresentados acima, uma maior densidade em uma região tornaria o local mais “autossuficiente”, o que é exemplificado em um trecho do estudo de Brownstone e Golob (2009, p.1, tradução livre¹) em que os autores

¹ “When used alone as an indicator of sprawl, density should therefore be interpreted as a proxy for access to employment, shopping and other travel destinations”

comentam que “quando usado sozinho como um indicador de expansão [urbana], a densidade deve [...] ser interpretada como uma proxy para acesso a emprego, compras e outros destinos de viagem”. No entanto, como ressaltam Natalini e Morgado (2017), São Paulo teve um perfil de crescimento do centro para a periferia, de forma que a população incremental, especialmente a de renda mais inferior, foram se alocando aos arredores da cidade, enquanto os empregos e as principais zonas comerciais se mantiveram no centro. Entende-se, assim, que grande parcela da população, de todos e quaisquer distritos de São Paulo, se deslocam diariamente com destino àqueles centrais. Os autores acrescentam, ainda, que São Paulo é movida a carro não só por este modal estar em suas raízes desde a sua principal fase de industrialização, mas também pela falta de qualidade na infraestrutura dos demais modais. Ressaltam o caso do metrô como exemplo, um modal mais veloz e alternativa ao trânsito, que poderia substituir o automóvel particular, mas sua pequena extensão comparada ao tamanho da cidade acaba sendo fator limitante. Na **Figura 2**, ilustra-se o exemplo.

Figura 2 – Comparação da proporção de uso de metrô e carro na cidade de São Paulo



Fonte: FAVA et al. (2018)

3. METODOLOGIA

Neste trabalho, serão utilizadas medidas de consumo de gasolina para inferir a emissão de CO₂ por automóveis. Esse consumo será estimado a partir das informações declaradas pelos entrevistados na Pesquisa Origem Destino 2017 do Metrô de São Paulo, uma vez que os dados sobre dióxido de carbono disponíveis sobre São Paulo pela Prefeitura são apenas referentes à cidade como um todo, sem a divisão entre zonas ou distritos, unidade amostral planejada para este estudo.

A Pesquisa Origem Destino (POD) é uma pesquisa financiada pelo Grupo Banco Mundial e realizada pelo Metrô de São Paulo em parceria com o Governo de São

Paulo. A pesquisa costuma acontecer a cada 10 anos, desde 1968, e recolhe informações sobre questões de mobilidade da Região Metropolitana de São Paulo. Na edição mais recente, de 2017, foram entrevistados cerca de 183 mil indivíduos.

Na pesquisa, inicialmente, havia 183.092 observações, com informações sobre os locais de partida (origem) e de chegada (destino) de um indivíduo e o modal que ele utiliza para realizar o trajeto, além de informações básicas sobre sua renda e outros fatores. A partir dessas informações, foi possível estabelecer a quilometragem média percorrida diariamente por indivíduo de cada distrito.

Para tal, algumas considerações tiveram de ser adotadas, reduzindo o tamanho amostral para 20.796 observações:

- i) Foi considerado que o local de origem de todos os indivíduos da pesquisa eram a localização do seu domicílio. Já o destino seria um local aonde em tese os indivíduos se destinariam diariamente. Assim, no caso daqueles que trabalham, o destino considerado foi a localização do trabalho. Da mesma forma, no caso daqueles que só estudavam, a localização considerada foi a localização da escola. Já àqueles que realizavam as duas atividades (estudar e trabalhar), foi considerado apenas a localização do trabalho. Foram desconsiderados os indivíduos que não trabalhavam nem estudavam.
- ii) Foram considerados para o cálculo da quilometragem média por distrito apenas os indivíduos que declaram usar como modal principal veículo próprio, táxi convencional ou táxi não convencional.
- iii) Para calcular a distância entre a origem e o destino dos indivíduos, foram utilizadas as coordenadas cartesianas disponibilizadas pela Pesquisa Origem Destino. A partir dessas coordenadas, foi mensurada a reta que ligaria os dois pontos (de origem e de destino), de forma a se obter, matematicamente, a menor distância possível entre eles. É importante ressaltar, portanto, que a distância calculada foi conscientemente subestimada, pois para que o resultado fosse mais realista, fatores como a diferença de altitude dos trechos fosse considerada, bem como a disposição das vias urbanas, pois sabe-se

que é bastante improvável que a rota traçada pelo indivíduo do seu local de origem ao seu destino tenha sido de fato uma linha reta.

- iv) Foi assumido para este estudo que todos os indivíduos saíam de seus domicílios, partiam para o seu destino e, ao final do dia, voltavam para seu local de origem.
- v) Como o estudo se delimita ao município de São Paulo, foram desconsideradas as informações sobre qualquer indivíduo cuja origem ou destino pertencesse a outros municípios.

Após obter quanto cada indivíduo percorria a carro por dia útil, foi estimada a média dessas distâncias por distrito de São Paulo. Ainda, o número de interesse para este estudo seria a quilometragem total percorrida diariamente em cada distrito, o qual, pois, foi calculado de acordo com a equação a seguir:

$$Distância\ total_d = Distância\ média_d \times Prop_carro_d \times n_d$$

Na equação supracitada, d representa distrito (de São Paulo); *Distância média* seria a distância média obtida na fase calculada anteriormente; *Prop_carro* seria a proporção, para cada distrito, daqueles que usam o veículo próprio (ou táxi convencional ou não convencional) como principal modal frente ao total de entrevistados de cada distrito; e n representa o número de habitantes por distrito, informação disponibilizada pela InfoCidade, portal de informação da Cidade de São Paulo.

A pertinência dessa distância total percorrida por distrito é que é a partir dela que é possível estimar quanto combustível é necessário diariamente para percorrer as viagens diárias. Obtido o volume de combustível utilizado, estima-se facilmente quanto CO₂ foi liberado na atmosfera. Para esse e demais cálculos, foi levado como premissa que o único tipo de combustível consumido era gasolina.

A fim de estimar a quantidade de gasolina foi preciso considerar que a eficiência, em termos de combustível por distância percorrida, era constante, independentemente do modelo e do ano do automóvel. A constante $\frac{1}{24,9}$ foi escolhida com base no *report* mais recente da EPA (2017).

$$\text{Galões de gasolina} = \text{milhas rodadas} \times \frac{1}{24,9}$$

A conversão de galões de gasolina para libras de CO2 também é dada por uma multiplicação por uma constante, de 10,56.²

$$\text{Libras de CO2} = \text{galões de gasolina} \times 10,56$$

Ao fim, as informações sobre o dióxido de carbono foram convertidas de libras para quilogramas para facilitar a maior tangibilidade do dado ao público brasileiro.

Estimadas as quantidades de CO2 liberado em cada distrito diariamente, é possível dar início à etapa de principal interesse do estudo.

Para estimar o efeito da densidade e de outras variáveis na emissão de CO2 por veículos privados, foi utilizada uma regressão linear, na qual a variável resposta era a quantidade estimada CO2 emitido pelo uso de automóveis em um distrito de São Paulo. As variáveis explicativas escolhidas foram a densidade demográfica, indicador disponibilizado pela Prefeitura de São Paulo, e variáveis que representaram a oferta de transportes públicos, disponibilizados pela própria POD e pela SP Trans: dummies de presença ou não de estação de metrô no distrito, de corredor de ônibus e de faixas exclusivas para ônibus. A população do local, bem como a renda média de cada distrito, foi levada como controle.

A unidade amostral da base regredida eram os distritos oficiais da Cidade de São Paulo, equivalentes a 96 observações.

4. RESULTADOS E CONCLUSÃO

Dadas as evidências e os argumentos expostos na seção de Revisão de Literatura desse trabalho sobre as variáveis que foram regredidas, esperava-se que o efeito da densidade demográfica em cada distrito fosse positivo em relação à emissão de CO2 do mesmo local delimitado, no entanto, segundo os resultados obtidos (**Tabela 1**), a densidade demográfica mostrou-se uma

² Ver Glaeser e Kahn (2010) página 13.

variável irrelevante para explicar a emissão do dióxido de carbono por uso de automóveis. Já sobre as variáveis de transporte público esperava-se que o efeito fosse negativo, o que foi comprovado pelos resultados, exceto a presença de faixas exclusivas de ônibus, que também se manifestou irrelevante. Foi verificado se não ocorreu multicolinearidade perfeita ou quase perfeita entre os regressores, mas nenhum resultado relevante a favor dessa desconfiança foi encontrado. Também não se identificaram problemas de simultaneidade.

Tabela 1 – Resultados da regressão estimada

Variável	Coefficiente
Constante	109.196,60*** (11.672,24)
Densidade demográfica	-17,019 (44,02)
<u>Dummy</u> presença de Metrô	-9.920,16** (4.867,53)
<u>Dummy</u> presença de Faixa Exclusiva de Ônibus	3.112,51 (5.345,59)
<u>Dummy</u> presença de Corredor de Ônibus	-16.103,67*** (4.642,61)
Faixa de renda	-30.147,81*** (3.552,87)
População	0,38*** (0,04)

***: Relevante a 1%.

** : Relevante a 5%.

*: Relevante a 10%.

Na **Tabela 1** exposta acima, é possível encontrar os resultados obtidos. A variável resposta estava em quilogramas.

Como o esperado, os dois controles, população e renda, deram bastante relevantes. É importante ressaltar que a variável “Faixa de renda” originalmente refletia as faixas da Classificação Econômica do Brasil:

Número	Classe
1	A
2	B1

3	B2
4	C1
5	C2
6	D e E

Foi utilizada na regressão, no entanto, o próprio número ao invés das faixas de classificação, entendendo que se poderia interpretar o número como um indicador de quão alta é a classe econômica: quanto maior a classe econômica, menor seria a variável *Faixa de renda*.

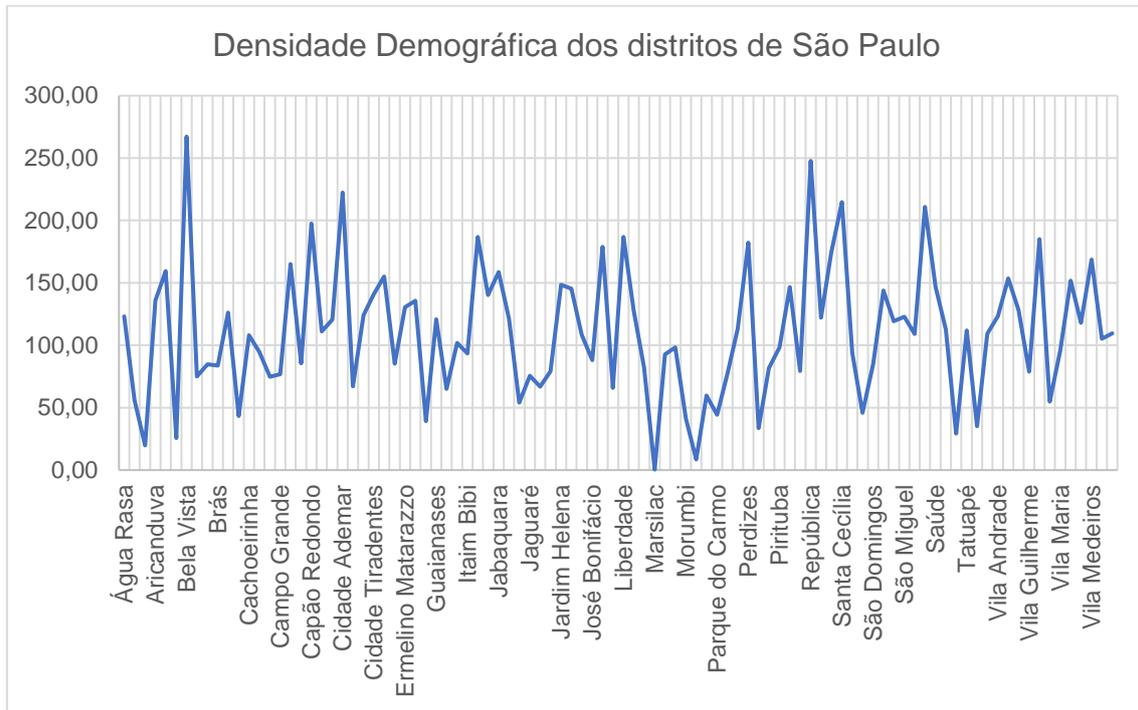
Sobre as dummies proxies de transporte público, em que 0 seria equivalente à ausência da infraestrutura e 1, à presença, apenas a variável referente à presença de Faixas Exclusivas de Ônibus mostrou-se irrelevante. Assim, entendemos que tanto a presença de Corredor de Ônibus nos distritos quanto a presença de estação de Metrô fazem diferença (favorável ao Meio Ambiente) quanto à liberação de CO₂. Em termos de políticas públicas relativas a transporte e sustentabilidade, podemos considerar esse resultado bastante interessante, pois significaria que uma estação de metrô em um distrito a mais implicaria uma redução de quase 10 toneladas de CO₂ por dia. A implementação de um corredor de ônibus em mais um distrito seria ainda melhor, com uma diferença de mais de 16 toneladas de CO₂ a menos diariamente.

Já sobre a variável de principal interesse nesse estudo, é possível que o resultado de falta de influência da densidade demográfica na emissão de dióxido de carbono por veículos particulares tenha ocorrido por falta de variação da densidade demográfica entre os distritos de São Paulo. No entanto, considerando o objetivo deste trabalho, de verificar se a densidade demográfica é um fator desejável ou não à sustentabilidade ecológica, talvez os resultados como um todo tenham sido os mais desejáveis. A densidade demográfica, apesar de ter sido nosso principal objeto de estudo, é um fator bastante estável e verdadeiramente difícil de se alterar, especialmente no curto prazo. Fosse ela uma variável positiva ou negativa para o Meio Ambiente, uma mudança teria de ser promovida, a favor do aumento ou da redução da densidade demográfica, o que provavelmente refletiria em custos (não necessariamente financeiros). Por outro lado, se ela não influencia a emissão de CO₂ por uso de carros, podem-se concentrar os esforços nos fatores que de fato causam impacto relevante na

liberação de CO₂, como as já discutidas disponibilidade de estações de Metrô e corredores de ônibus. Estes fatores, por sua vez, geralmente tendem a custar consideravelmente menos.

Outra conclusão à qual podemos chegar é que talvez São Paulo não tenha um problema ecológico tão grave, mas sim social. Esse resultado pode ter ocorrido pelo fato de os indivíduos residentes de distritos mais afastado coincidirem com aqueles de renda mais baixa. Uma evidência disso encontra-se nos próprios resultados do estudo: analisando o controle *Faixa de renda*, vemos que existe uma forte correlação entre uma menor classe econômica e menor quantidade de emissão de CO₂ por uso de veículos automotores particulares. Provavelmente esses indivíduos residentes de áreas mais pobres deixam de liberar gases poluentes por não terem poder aquisitivo de possuir um automóvel particular, e fazendo maior uso de transportes públicos que, em geral, têm baixa capilaridade e má infraestrutura, podendo levar o indivíduo a passar até 4 horas na busca pela transação de um ponto a outro da cidade.

Anexos:



Regressão simples sem interação

```
. regress CO2 Dens_demog Dmetro Dcorredor DFEB Faixa_renda Pop
```

Source	SS	df	MS	Number of obs	=	96
Model	6.0967e+10	6	1.0161e+10	F(6, 89)	=	26.58
Residual	3.4020e+10	89	382243412	Prob > F	=	0.0000
Total	9.4987e+10	95	999862949	R-squared	=	0.6418
				Adj R-squared	=	0.6177
				Root MSE	=	19551

CO2	Coef.	Std. Err.	t	P> t	[95% Conf. Interval]
Dens_demog	-17.01882	44.02033	-0.39	0.700	-104.4863 70.44865
Dmetro	-9920.159	4867.526	-2.04	0.045	-19591.83 -248.4877
Dcorredor	-16103.67	4642.61	-3.47	0.001	-25328.44 -6878.906
DFEB	3112.51	5345.588	0.58	0.562	-7509.06 13734.08
Faixa_renda	-30147.81	3552.868	-8.49	0.000	-37207.28 -23088.33
Pop	.3773352	.0355534	10.61	0.000	.3066914 .4479789
_cons	109196.6	11672.24	9.36	0.000	86004.11 132389.1

Regressão com as interações duplas

```

. regress CO2 Dens_demog Dmetro Dcorredor DFEB Dmetro#Dcorredor Dmetro#DFEB Dco
> rredor#DFEB Faixa_renda Pop
note: 1.Dmetro#0b.Dcorredor omitted because of collinearity
note: 1.Dmetro#1.Dcorredor omitted because of collinearity
note: 1.Dmetro#0b.DFEB omitted because of collinearity
note: 1.Dmetro#1.DFEB omitted because of collinearity
note: 1.Dcorredor#0b.DFEB omitted because of collinearity
note: 1.Dcorredor#1.DFEB omitted because of collinearity

```

Source	SS	df	MS	Number of obs	=	96
Model	6.1221e+10	9	6.8023e+09	F(9, 86)	=	17.33
Residual	3.3766e+10	86	392627483	Prob > F	=	0.0000
				R-squared	=	0.6445
				Adj R-squared	=	0.6073
Total	9.4987e+10	95	999862949	Root MSE	=	19815

CO2	Coef.	Std. Err.	t	P> t	[95% Conf. Interval]	
Dens_demog	-10.71787	45.4414	-0.24	0.814	-101.0524	79.61666
Dmetro	-13297.23	20511.83	-0.65	0.519	-54073.4	27478.93
Dcorredor	-16755.59	16281.14	-1.03	0.306	-49121.42	15610.24
DFEB	4998.081	25386.06	0.20	0.844	-45467.73	55463.9
Dmetro#						
Dcorredor						
0 1	6271.858	9781.71	0.64	0.523	-13173.54	25717.25
1 0	0	(omitted)				
1 1	0	(omitted)				
Dmetro#DFEB						
0 1	-5724.582	21358.89	-0.27	0.789	-48184.65	36735.49
1 0	0	(omitted)				
1 1	0	(omitted)				
Dcorredor#						
DFEB						
0 1	3861.722	15015.98	0.26	0.798	-25989.05	33712.5
1 0	0	(omitted)				
1 1	0	(omitted)				
Faixa_renda	-30001.11	3630.455	-8.26	0.000	-37218.21	-22784
Pop	.3691753	.0381921	9.67	0.000	.293252	.4450986
_cons	108490.9	11935.51	9.09	0.000	84763.85	132217.9

Regressão com as interações duplas e 1 tripla

```

. regress CO2 Dens_demog Dmetro Dcorredor DFEB Dmetro#Dcorredor Dmetro#DFEB Dcorredor#DFEB Dmetro#DFEB#Dcorredor Faixa_renda Pop
note: 1.Dmetro#0b.Dcorredor omitted because of collinearity
note: 1.Dmetro#1.Dcorredor omitted because of collinearity
note: 1.Dmetro#0b.DFEB omitted because of collinearity
note: 1.Dmetro#1.DFEB omitted because of collinearity
note: 1.Dcorredor#0b.DFEB omitted because of collinearity
note: 1.Dcorredor#1.DFEB omitted because of collinearity
note: 1.Dmetro#0b.DFEB#1.Dcorredor identifies no observations in the sample
note: 1.Dmetro#1.DFEB#1.Dcorredor omitted because of collinearity

```

Source	SS	df	MS	Number of obs	=	96
Model	6.1221e+10	9	6.8023e+09	F(9, 86)	=	17.33
Residual	3.3766e+10	86	392627483	Prob > F	=	0.0000
				R-squared	=	0.6445
				Adj R-squared	=	0.6073
Total	9.4987e+10	95	999862949	Root MSE	=	19815

CO2	Coef.	Std. Err.	t	P> t	[95% Conf. Interval]	
Dens_demog	-10.71787	45.4414	-0.24	0.814	-101.0524	79.61666
Dmetro	-13297.23	20511.83	-0.65	0.519	-54073.4	27478.93
Dcorredor	-16755.59	16281.14	-1.03	0.306	-49121.42	15610.24
DFEB	4998.081	25386.06	0.20	0.844	-45467.73	55463.9
Dmetro#Dcorredor						
0 1	6271.858	9781.71	0.64	0.523	-13173.54	25717.25
1 0	0	(omitted)				
1 1	0	(omitted)				
Dmetro#DFEB						
0 1	-5724.582	21358.89	-0.27	0.789	-48184.65	36735.49
1 0	0	(omitted)				
1 1	0	(omitted)				
Dcorredor#DFEB						
0 1	3861.722	15015.98	0.26	0.798	-25989.05	33712.5
1 0	0	(omitted)				
1 1	0	(omitted)				
Dmetro#DFEB#Dcorredor						
1 0 1	0	(empty)				
1 1 1	0	(omitted)				
Faixa_renda	-30001.11	3630.455	-8.26	0.000	-37218.21	-22784
Pop	.3691753	.0381921	9.67	0.000	.293252	.4450986
_cons	108490.9	11935.51	9.09	0.000	84763.85	132217.9

Regressão só com o principal regressor e os controles

```

. regress CO2 Dens_demog Faixa_renda Pop

```

Source	SS	df	MS	Number of obs	=	96
Model	5.4533e+10	3	1.8178e+10	F(3, 92)	=	41.34
Residual	4.0454e+10	92	439722518	Prob > F	=	0.0000
				R-squared	=	0.5741
				Adj R-squared	=	0.5602
Total	9.4987e+10	95	999862949	Root MSE	=	20970

CO2	Coef.	Std. Err.	t	P> t	[95% Conf. Interval]	
Dens_demog	-38.59002	43.96737	-0.88	0.382	-125.913	48.73298
Faixa_renda	-25023.36	3515.295	-7.12	0.000	-32005.04	-18041.68
Pop	.3883754	.0370704	10.48	0.000	.3147503	.4620004
_cons	90013.26	10109.52	8.90	0.000	69934.89	110091.6

Teste White

```
. estat imtest, white
```

White's test for Ho: homoskedasticity
against Ha: unrestricted heteroskedasticity

```
chi2(24)      =    41.16
Prob > chi2   =    0.0160
```

Cameron & Trivedi's decomposition of IM-test

Source	chi2	df	p
Heteroskedasticity	41.16	24	0.0160
Skewness	10.15	6	0.1183
Kurtosis	1.18	1	0.2764
Total	52.50	31	0.0093

Regressão simples sem interação robusto

```
. //Regressão simples sem interação
. regress CO2 Dens_demog Dmetro Dcorredor DFEB Faixa_renda Pop, vce(robust)
```

```
Linear regression              Number of obs   =    96
                              F(6, 89)          =    18.76
                              Prob > F            =    0.0000
                              R-squared           =    0.6418
                              Root MSE        =    19551
```

CO2	Robust		t	P> t	[95% Conf. Interval]	
	Coef.	Std. Err.				
Dens_demog	-17.01882	46.34813	-0.37	0.714	-109.1116	75.07393
Dmetro	-9920.159	4393.212	-2.26	0.026	-18649.38	-1190.941
Dcorredor	-16103.67	5163.867	-3.12	0.002	-26364.17	-5843.179
DFEB	3112.51	6638.894	0.47	0.640	-10078.83	16303.85
Faixa_renda	-30147.81	3970.253	-7.59	0.000	-38036.62	-22259
Pop	.3773352	.0466127	8.10	0.000	.2847167	.4699536
_cons	109196.6	14270.4	7.65	0.000	80841.64	137551.6

. regress Dens_demog Dmetro Dcorredor Pop Faixa_renda

Source	SS	df	MS	Number of obs	=	96
Model	59388.5418	4	14847.1355	F(4, 91)	=	6.77
Residual	199608.149	91	2193.49614	Prob > F	=	0.0001
				R-squared	=	0.2293
				Adj R-squared	=	0.1954
Total	258996.691	95	2726.28095	Root MSE	=	46.835

Dens_demog	Coef.	Std. Err.	t	P> t	[95% Conf. Interval]	
Dmetro	37.98289	10.7214	3.54	0.001	16.68616	59.27963
Dcorredor	-6.040444	11.04322	-0.55	0.586	-27.97644	15.89556
Pop	.0003238	.0000781	4.15	0.000	.0001686	.0004789
Faixa_renda	-6.91856	8.436206	-0.82	0.414	-23.67605	9.838927
_cons	81.47592	24.54148	3.32	0.001	32.72728	130.2246

. regress Dens_demog Dmetro Dcorredor Pop Faixa_renda DFEB

Source	SS	df	MS	Number of obs	=	96
Model	61739.2738	5	12347.8548	F(5, 90)	=	5.63
Residual	197257.417	90	2191.74908	Prob > F	=	0.0001
				R-squared	=	0.2384
				Adj R-squared	=	0.1961
Total	258996.691	95	2726.28095	Root MSE	=	46.816

Dens_demog	Coef.	Std. Err.	t	P> t	[95% Conf. Interval]	
Dmetro	35.19823	11.04929	3.19	0.002	13.24689	57.14956
Dcorredor	-7.15727	11.09137	-0.65	0.520	-29.19221	14.87767
Pop	.0003201	.0000782	4.09	0.000	.0001648	.0004754
Faixa_renda	-5.951489	8.484389	-0.70	0.485	-22.80721	10.90423
DFEB	13.17815	12.72473	1.04	0.303	-12.10174	38.45805
_cons	69.89192	26.96142	2.59	0.011	16.32834	123.4555

REFERÊNCIAS:

BROWNSTONE, D.; GOLOB, T. F. The impact of residential density on vehicle usage and energy consumption. **Journal of Urban Economics**, [s. l.], v. 65, n. 1, p. 91–98, 2009. Disponível em: <<http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=edselp&AN=S0094119008001095&lang=pt-br&site=eds-live&scope=site>>. Acesso em: 29 maio. 2019.

Censo Demográfico 2010. **IBGE**. Acesso em: 31 de maio de 2019. Disponível em: <<https://ww2.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/censo2010/default.shtm>>

CO2 Emissions. **Global Carbon Atlas**. Acesso em: 31 de maio de 2019. Disponível em: <<http://www.globalcarbonatlas.org/en/CO2-emissions>>. CO2 emissions from transport. **The World Bank** 2014. Acesso em: 01 jun de 2019. Disponível em: <https://data.worldbank.org/indicator/EN.CO2.TRAN.ZS?name_desc=false>.

Corredores e Faixas Exclusivas. **SP Trans**. Acesso em: 17 de novembro de 2019. Disponível em: <<http://www.sptrans.com.br/corredores-e-faixas-exclusivas/>>

Estimativa de emissões de gases de efeito estufa no Brasil em 2015. **SEEG**. Acesso em: 22 de setembro de 2019. Disponível em: <<http://plataforma.seeg.eco.br/territories/sp-sao-paulo/card?year=2015&cities=true>>

FAVA, B. et al. **Demanda por meios de transporte na Grande São Paulo: uma análise de políticas públicas**: Trabalho baseado no artigo de Carlos Eduardo Lopes e Rodrigo Moita. Apresentação 3 de Microeconomia IV, 2018. São Paulo.

GLAESER, E. L.; KAHN, M. E. The greenness of cities: Carbon dioxide emissions and urban development. **Journal of Urban Economics**, [s. l.], v. 67, n. 3, p. 404–418, 2010. Disponível em: <<http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=edselp&AN=S0094119009001028&lang=pt-br&site=eds-live&scope=site>>. Acesso em: 29 maio. 2019.

Highlights of the Automotive Trends Report. **EPA (United States Environmental Protection Agency)**. Acesso em: 17 de novembro de 2019. Disponível em: <<https://www.epa.gov/automotive-trends/highlights-automotive-trends-report>>

How to Harness the Benefits of Urbanization for More Economic Growth Overall. **The World Bank**. Acesso em: 16 de novembro de 2019. Disponível em: <<https://www.worldbank.org/en/country/malawi/publication/malawi-economic>>

monitor-how-to-harness-the-benefits-of-urbanization-for-more-economic-growth-overall>

IPCC. **Climate Change 2007**: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, Pachauri, R.K and Reisinger, A. (eds.)]. IPCC: Geneva. 2007. 104 pp.

JONES, C.; KAMMEN, D.M. Spatial Distribution of U.S. Household Carbon Footprints Reveals Suburbanization Undermines Greenhouse Gas Benefits of Urban Population Density. **Environmental Science & Technology**. 2014, 48, 2, 895-902. Publication Date: December 13, 2013. Disponível em: <<https://doi.org/10.1021/es4034364>>

NATALINI, Gilberto; MORGADO, Marcelo. **Por uma São Paulo mais Sustentável**. Vox Editora: São Paulo. 2017. 431pp.

Pesquisa Origem e Destino 2007. **Metrô**. Acesso em: 01 de jun de 2019. Disponível em: <<https://transparencia.metrosp.com.br/dataset/pesquisa-origem-e-destino>>.

População Recenseada, Taxas de Crescimento Populacional e Densidade Demográfica 2000. **Secretaria Municipal de Desenvolvimento Urbano**. Acesso em 01 de jun de 2019. Disponível em: <https://www.prefeitura.sp.gov.br/cidade/secretarias/urbanismo/dados_estatisticos/info_cidade/demografia/index.php?p=260265>.

Special Report: Global Warming of 1.5°C. **IPCC**. Acesso em 31 de maio de 2019. Disponível em: <<https://www.ipcc.ch/sr15/>>

Urban population 2018. **The World Bank**. Acesso em: 31 de maio de 2019. Disponível em:

<https://data.worldbank.org/indicator/sp.urb.totl.in.zs?name_desc=true>

Distribuição de Domicílios, segundo Faixa de Renda. **Info Cidade**. Acesso em: 01 de jun de 2019. Disponível em:

<https://www.prefeitura.sp.gov.br/cidade/secretarias/upload/urbanismo/infocidade/mapas/13_distribuicao_dos_domicilios_segundo_faix_2000_10817.pdf>