

INVENTÁRIO DE POLUENTES ATMOSFÉRICOS DO TRANSPORTE COLETIVO URBANO POR ÔNIBUS

DISTRITO FEDERAL • OUTUBRO/2014

 **EMBARQ**
Brasil

SUMÁRIO



INTRODUÇÃO	5
O transporte urbano no Brasil	6
Externalidades do transporte urbano	6
Principais poluentes atmosféricos	7
Doenças relacionadas à poluição	7
ESTUDO DE CASO	9
Metodologia	10
Cenários considerados	10
RESULTADOS	15
Dados considerados para as análises	16
Impacto anual nas emissões de CO	16
Impacto anual nas emissões de NO _x	16
Impacto anual nas emissões de HC	16
Impacto anual nas emissões de MP	17
Impacto anual nas emissões de CO ₂	17
CONSIDERAÇÕES FINAIS	19
Referências	20
ANEXO I	21
Metodologia detalhada para cálculo da quilometragem por ônibus do CB	21

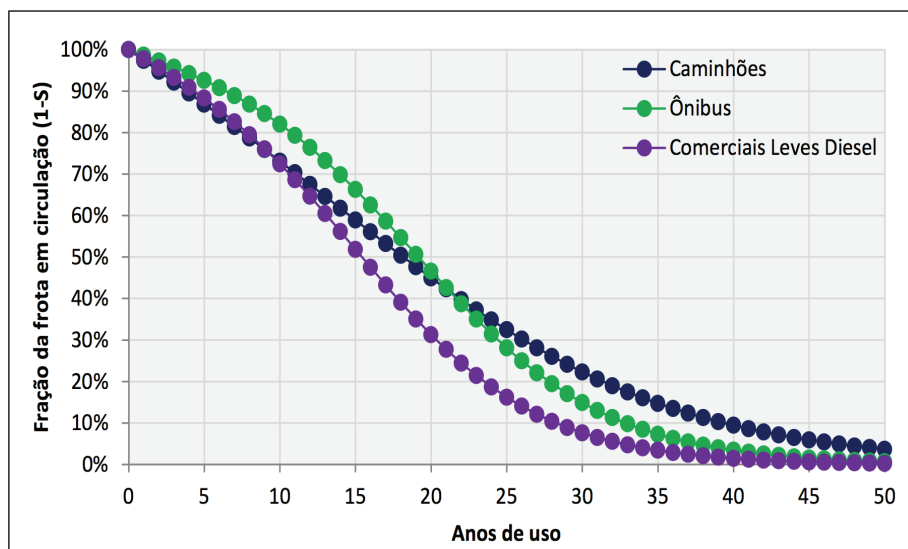




INTRODUÇÃO

O TRANSPORTE URBANO NO BRASIL

- O transporte coletivo por ônibus representa 25% das viagens realizadas no Brasil.
- A frota brasileira de ônibus é constituída de mais de 110 mil veículos, que resultam em 34% das emissões de poluentes atmosféricos (ANTP, 2012).
- 50% do ônibus sucateados no Brasil têm em média 18 anos de uso (MMA, 2010).



Curva de sucateamento, MMA 2010

EXTERNALIDADES DO TRANSPORTE URBANO

- As emissões de gases poluentes dos veículos automotores implicam em uma série de efeitos que contribuem para problemas ambientais e de saúde.
- Em 2012, 3,7 milhões de mortes prematuras foram atribuídas aos efeitos da poluição atmosférica (WHO, 2014).
- Em São Paulo, estima-se um excesso de 7 mil mortes prematuras ao ano na região metropolitana e 4 mil na capital, decorrentes do impacto da poluição na saúde das pessoas, além da redução de 1,5 anos de vida (ISS, 2013).
- Os poluentes locais regulamentados no Brasil são CO, NO_x, HC e MP.
- O limites impostos pelo Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores (PROCONVE) para veículos pesados a diesel (g/km):

Fase do PROCONVE	EURO	CO	HC	NO _x	MP	Vigência	Teor de enxofre (S)
P1	-	25,20	6,30	32,40	-	1989 a 1993	-
P2	Euro 0	20,16	4,41	25,92	1,082	1994 a 1995	3.000 a 10.000
P3	Euro 1	8,82	2,21	16,20	0,720	1996 a 1999	3.000 a 10.000 ppm
P4	Euro 2	7,20	1,98	12,60	0,270	2000 a 2005	3.000 a 10.000 ppm
P5	Euro 3	3,78	1,19	9,00	0,180	2006 a 2008	500 a 2.500 ppm
P6*	Euro 4	2,70	0,83	6,30	0,036	2009 a 2012	50 a 500 ppm
P7	Euro 5	2,70	0,83	3,60	0,036	a partir de 2012	10 a 500 ppm

*a fase P6 nunca entrou em vigor

PRINCIPAIS POLUENTES ATMOSFÉRICOS

Os principais impactos dos poluentes atmosféricos emitidos pelos veículos automotores são:

Poluente	Impacto
CO	Atua no sangue reduzindo sua oxigenação, podendo causar morte após determinado período de exposição
HC	Combustíveis não queimados ou parcialmente queimados formam o smog e compostos cancerígenos. É um precursor do ozônio
NO _x	Formação de dióxido de nitrogênio e na formação do smog fotoquímico e chuva ácida. É um precursor do ozônio
MP	Pode penetrar nas defesas do organismo, atingir os alvéolos pulmonares e causar irritações, asma, bronquite e câncer de pulmão. Sujeira e degradação de imóveis próximos aos corredores de transporte
CO ₂	Dióxido de carbono, precursor do efeito estufa



DOENÇAS RELACIONADAS À POLUIÇÃO

O caminho da poluição no corpo

1 A pessoa inala quantidade excessiva de poluentes

2 Os gases tóxicos estimulam o sistema nervoso. Por causa do estímulo, ocorre a liberação da adrenalina

3 Coração e pulmão reagem ao hormônio como mecanismo de defesa

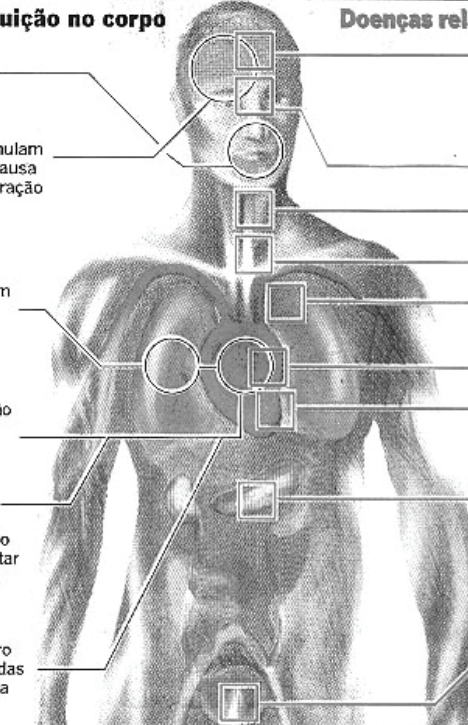
4 Por causa disso, o coração dispara e os batimentos ficam acelerados

5 Com a aceleração constante (mais de 100 batimentos por minuto), o coração não consegue voltar a um ritmo padronizado, sendo essa a arritmia

6 A arritmia é o primeiro passo para provocar paradas cardíacas ou morte súbita

Doenças relacionadas à poluição

- Derrame
- Incapacidade mental
- Estresse
- Sinusite
- Câncer na tireóide
- Faringite
- Asma
- Bronquite
- Angina
- Enfarte
- Doenças isquêmicas
- Diabetes
- Infertilidade







ESTUDO DE CASO

RENOVAÇÃO DA FROTA DO DF

METODOLOGIA

- Os poluentes considerados no estudo são: CO, NO_x, HC, MP e CO₂.
- Aplicou-se o método utilizado no I Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas por Veículos Automotores Rodoviários (INEAVAR), elaborado pelo Ministério do Meio Ambiente.
- A partir da equação:

$$E = Fe \times Fr \times lu$$

onde:

E = Massa de poluente emitida no período considerado [g/ano]

Fe = Fator de emissão de poluente por ano-modelo [g/km]

Fr = Frota circulante [nº de veículos]

lu = Intensidade de uso/Quilometragem anual percorrida [km/ano]

- Os fatores de emissão (Fe) de CO, NO_x, HC e MP são do INEAVAR, e variam de acordo com a fase do PROCONVE.
- O fator para CO₂ é de um estudo desenvolvido pela Rede EMBARQ sobre emissões dos ônibus urbanos (Cooper *et al.*, 2012).

Fator de emissão por poluente (g/km)					
Fase do PROCONVE	CO	NO _x	HC	MP	CO ₂
P1 e P2	3,06	17,57	1,12	1,08	1.220,78
P3	2,75	11,10	0,92	0,54	1.220,78
P4	1,50	10,84	0,51	0,21	1.220,78
P5	1,59	7,84	0,27	0,13	1.220,78
P7	1,46	3,17	0,28	0,03	1.095,64

CENÁRIOS CONSIDERADOS

- Cenário Base - CB:** Representa a frota de ônibus de 2012
- Cenário Intermediário - CI:** Representa a situação da frota em junho de 2014
- Cenário Futuro - CF:** Representa o cenário estipulado na Licitação do Novo Sistema de Transporte Público Coletivo do DF (2012)



Cenário Base - CB

- CB é a linha de base para realizar as comparações com os demais cenários.
- Os dados são da frota em Dezembro de 2012, e foram calculados para refletir as emissões ao longo do ano de 2012.

Fase do PROCONVE	Equivalente no padrão Euro	Quantidade de ônibus por fase	Quilometragem anual
P1	-	30	314.418.428
P2	Euro 0	1	
P3	Euro I	506	
P4	Euro II	403	
P5	Euro III	1977	
Frota total		2917	

- Realizou-se um tratamento dos dados fornecidos pelo DFTrans a partir do banco de dados do I Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas por Veículos Automotores Rodoviários.
- O tratamento dos dados teve como objetivo estipular uma quilometragem média anual para cada ônibus da frota levando em consideração a idade do veículo e a intensidade de uso.
- A metodologia é detalhada no anexo I.
- Foram utilizados os fatores de emissão de acordo com as fases do PROCONVE: P1, P2, P3, P4 e P5.

Fase PROCONVE	Ano modelo ônibus	# ônibus	km/ano ajustada	km/ano total por modelo
P1	1992	9	73.901	665.112
	1993	21	76.450	1.605.442
P2	1994	1	78.998	78.998
P3	1996	11	84.095	925.040
	1997	164	86.643	14.209.436
	1998	75	89.191	6.689.342
	1999	256	91.740	23.485.323
P4	2000	197	94.288	18.574.709
	2001	15	96.836	1.452.543
	2002	1	99.385	99.385
	2003	3	101.933	305.798
	2004	81	104.481	8.462.973
	2005	106	107.029	11.345.123
P5	2006	33	109.578	3.616.067
	2007	599	112.126	67.163.539
	2008	794	114.674	91.051.496
	2009	529	117.223	62.010.834
	2010	5	119.771	598.855
	2011	17	122.319	2.079.430
Frota total		2917	Km total	314.419.445*

* A quilometragem total difere em 0,00032% devido ao tratamento dos dados

Cenário Intermediário - CI

- Situação da frota em junho de 2014
 - 90% da frota renovada
 - Início da operação do BRT Sul
- Dados considerados para estimativa de emissões de acordo com os dados fornecidos pelo DFTrans:
 - Frota total licitada 2334 ônibus alocados na operação
 - Quilometragem anual prevista de 269.930.539
 - Quilometragem média anual por ônibus de 115.651
- Foi utilizado o fator de emissão de acordo com a fase 7 do PROCONVE
- Dado que neste cenário a frota total é composta por 90% ônibus novos e 10% ônibus da frota antiga, considerou-se que:

$$\text{Emissões do CI} = 10\% \text{ das emissões CB} + \text{Emissões da frota renovada}$$

Quilometragem considerada de acordo com as regiões, considerando que a frota de 2334 ônibus são todos modelo da fase P7:

Região	km/mês	km/ano
Sobradinho I e II / Fercal	1.019.298	12.231.576
São Sebastião	706.005	8.472.062
Paranoá / Itapoã	652.328	7.827.936
Cailândia / Taguatinga	4.165.559	49.986.707
Estrutural	370.198	4.442.373
Cruzeiro	438.915	5.266.980
Candangolândia	129.237	1.550.844
Núcleo Bandeirante	501.828	6.021.938
Recanto das Emas	2.254.820	27.057.842
Riacho Fundo I	481.132	5.773.579
Riacho Fundo II	193.856	2.326.267
Samambaia	3.555.203	42.662.436
Gama	1.379.107	16.549.284
Santa Maria	2.460.265	29.523.178
Guará	842.511	10.110.132
Brasília	1.733.040	20.796.480
Planaltina	1.610.910	19.330.924
Km total anual	269.930.539	
Frota alocada	2.334	

Cenário Futuro - CF

➤ Considera a plena implantação da licitação do Novo Sistema de Transporte Público Coletivo do DF

- Frota total: 2580 veículos
- Quilometragem anual prevista de 155.912.800
- Quilometragem média anual por ônibus de 60.430

Bacias	# ônibus	km/ano prevista
1	417	28.892.401
2	640	31.987.141
3	483	28.699.819
4	464	29;315.856
5	576	37.017.583
Total	2.580	155.912.800





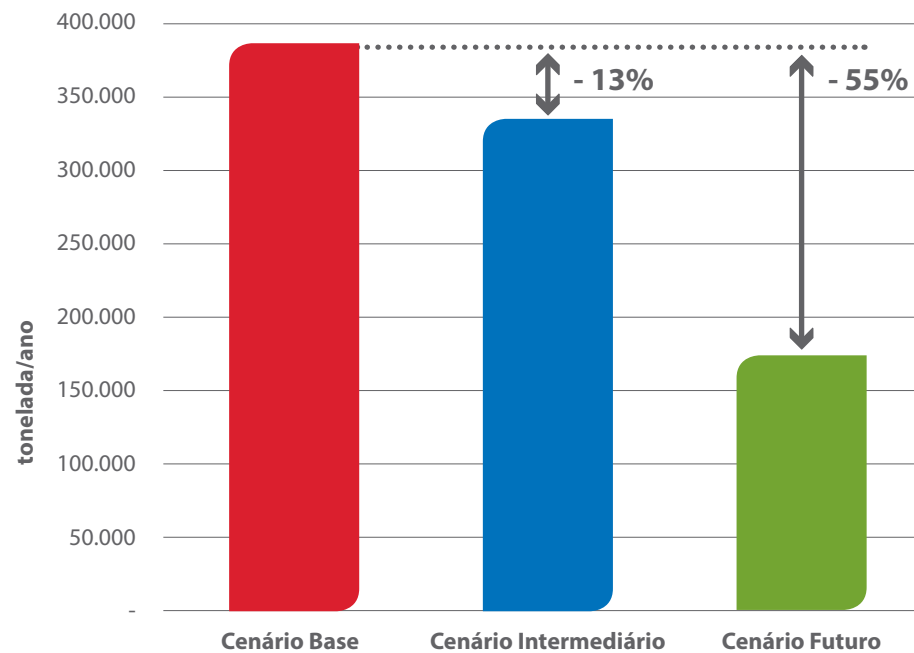


RESULTADOS

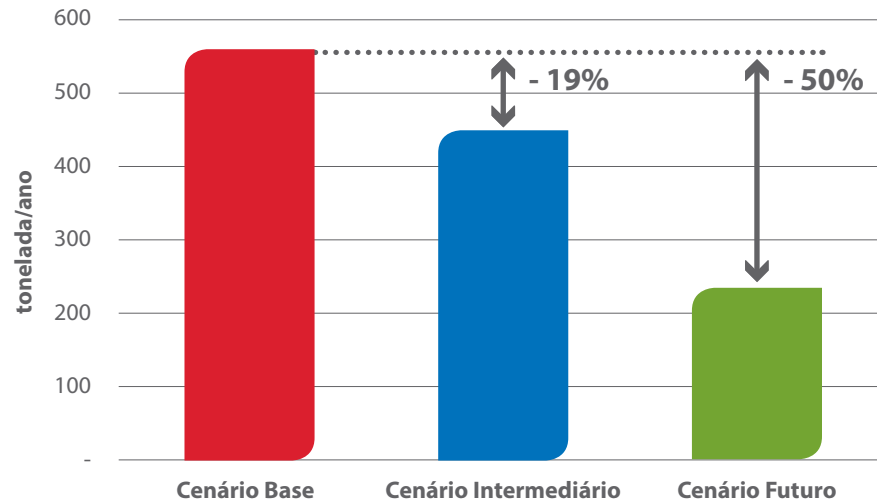
DADOS CONSIDERADOS PARA AS ANÁLISES

Cenário	PROCONVE	# ônibus	km/ano média por ônibus
CB	P1	30	75.175
	P2	1	78.998
	P3	506	87.917
	P4	403	100.659
	P5	1.977	115.949
CI*	P7	2.334	115.651
CF	P7	2.580	60.431

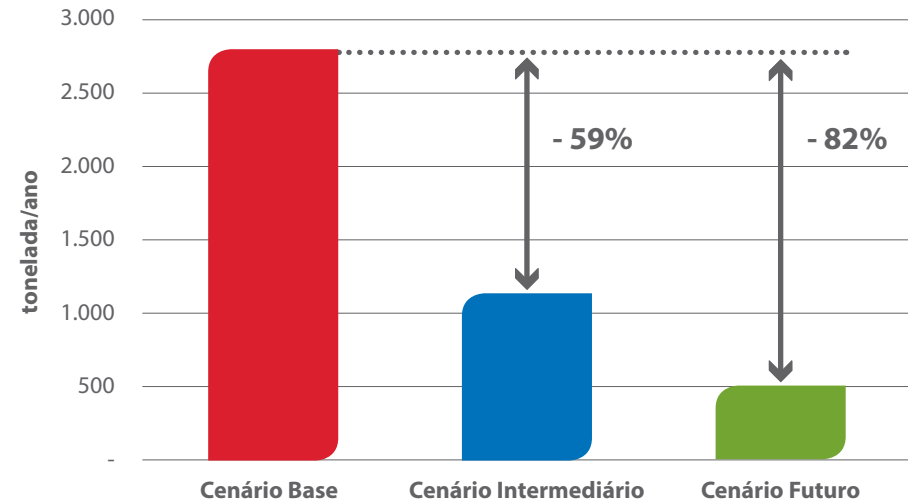
* Emissões de CI = 10% das emissões de CB + emissões frota renovada

IMPACTO ANUAL NAS EMISSÕES DE CO₂

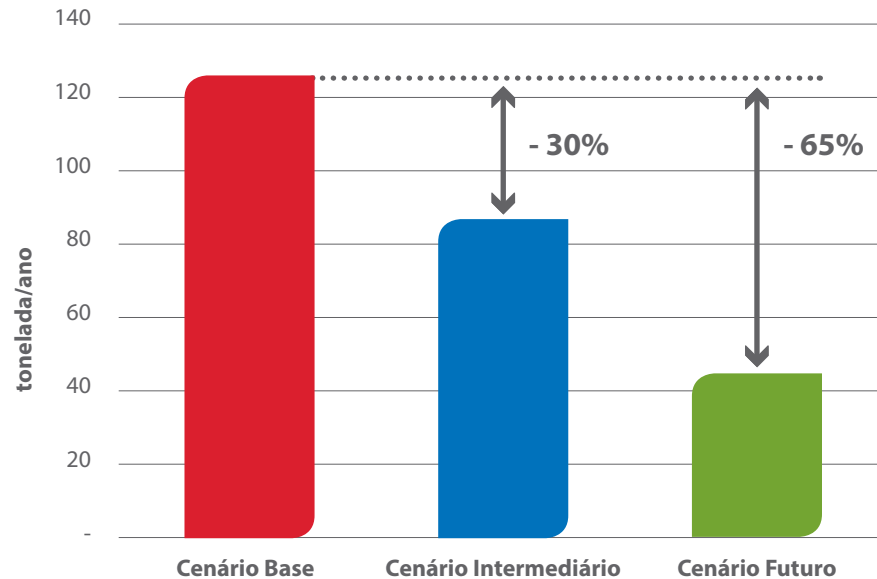
IMPACTO ANUAL NAS EMISSÕES DE CO



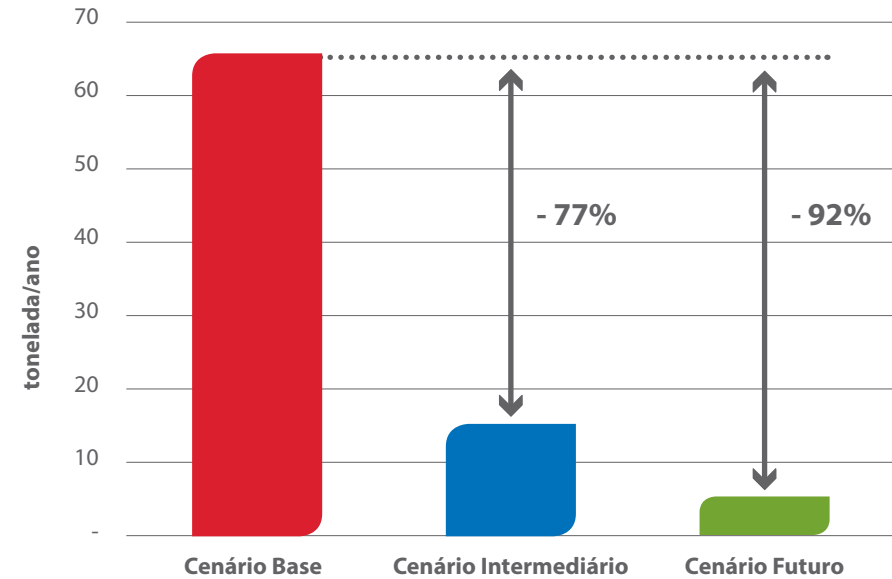
IMPACTO ANUAL NAS EMISSÕES DE NO_x



IMPACTO ANUAL NAS EMISSÕES DE HC



IMPACTO ANUAL NAS EMISSÕES DE MP





759.1 PA

221333

MONTADOR
DE MOVEIS
9591-9687



CONSIDERAÇÕES FINAIS

Quadro resumo das reduções nos cenários analisados

Cenários	CO	NO _x	HC	MP	CO ₂
CI	-19%	-59%	-30%	-77%	-13%
CF - Potencial redução conforme licitação	-59%	-82%	-65%	-92%	-55%

- Houve uma redução expressiva nos dois cenários analisados dos poluentes com efeitos mais nocivos para o ambiente e para a saúde das pessoas: NO_x e MP.
- As emissões de MP reduziram significativamente porque estão diretamente ligadas a tecnologia do ônibus (Euro V) e a qualidade do diesel (melhoria para diesel S50 e S10).
- As reduções de CO, HC e CO₂ apresentaram maior redução no CF
- As emissões de CO₂ no CI foram relativamente baixas porque estão relacionadas com a quilometragem rodada, e do CB para CI a redução da quilometragem anual foi de 15%.
- Com a reestruturação do sistema de transporte coletivo e implantação do BRT previstos na licitação, o potencial de redução de CO₂ é de até 55% ao ano dada a redução de aproximadamente 50% da quilometragem anual do sistema.
- Além dos ganhos no âmbito da qualidade do ar e as consequências desta melhoria para a saúde das pessoas, deve-se considerar as vantagens da reestruturação e otimização das rotas. Um sistema otimizado proporciona melhor qualidade do serviço e é capaz de atrair usuários dos automóveis privados, que deixarão de emitir gases poluentes locais e de efeito estufa.

REFERÊNCIAS

- INSTITUTO SAÚDE E SUSTENTABILIDADE. Pesquisa Avaliação do Impacto da Poluição Atmosférica no Estado de São Paulo sob a Visão da Saúde. 2013. http://www.saudeesustentabilidade.org.br/site/wp-content/uploads/2013/09/Documentofinaldapesquisapadiao_2409-FINAL-sitev1.pdf
- WORLD HEALTH ORGANIZATION. Ambient (outdoor) air quality and health. Fact sheet N°313. 2014. <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs313/en/>
- Cooper, E., Arioli, M., Carrigan, A., Jain, U. Meta-Analysis of Transit Bus Exhaust Emissions. EMBARQ. 2012. <http://www.embarq.org/sites/default/files/Exhaust-Emissions-Transit-Buses-EMBARQ.pdf>
- MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. 1º Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas por Veículos Automotores Rodoviários. 2010. http://www.mma.gov.br/estruturas/163/_publicacao/163_publicacao27072011055200.pdf

ANEXO I

METODOLOGIA DETALHADA PARA CÁLCULO DA QUILOMETRAGEM POR ÔNIBUS DO CB

Metodologia

O método para estimar a quilometragem média anual de cada ônibus para o CB foi desenvolvido em 5 etapas:

- 1 cálculo da média ponderada da idade da frota;
- 2 cálculo da quilometragem média da frota, a partir da média aritmética;
- 3 interpolação linear a partir da idade média da frota da cidade com dados de intensidade de uso do INEAVAR;
- 4 cálculo da variação da intensidade de acordo com o ano de uso a partir da quilometragem média;
- 5 cálculo da quilometragem anual para cada ônibus da frota da cidade aplicando variação obtida na etapa anterior.

Fase PROCONVE	Anos de uso	Intensidade de uso (<i>Iu</i>) INEAVAR	Variação com base na média (<i>var_{ano de uso}</i>)	Intensidade ajustada para frota X
P5	1	88.200	15,85%	124.868
	2	86.400	13,48%	122.319
	3	84.600	11,12%	119.771
	4	82.800	8,75%	117.223
	5	81.000	6,39%	114.674
	6	79.200	4,02%	112.126
	7	77.400	1,66%	109.578
<i>idade média</i>	7,7	76.136	0,00%	107.788
P4	8	75.600	-0,70%	107.029
	9		-0,07%	104.481
	10		-0,43%	101.933
	11		-0,80%	99.385
	12	68.400	-10,16%	96.836
P3	13	66.600	-12,52%	94.288
	14	64.800	-14,89%	91.740
	15	63.000	-17,25%	89.191
	16	61.200	-19,62%	86.643
P2	17	59.400	-21,98%	84.095
	18	57.600	-24,35%	81.546
	19	55.800	-26,71%	78.998
P1	20	54.000	-29,07%	76.450
	21	52.200	-31,44%	73.901

1. cálculo da média ponderada da idade da frota

Fase PROCONVE	Anos de uso	Intensidade de uso (<i>Iu</i>) INEAVAR	Variação com base na média (<i>var_{ano de uso}</i>)	Intensidade ajustada para frota X
P5	1	88.200	15,85%	124.868
	2	86.400	13,48%	122.319
	3	84.600	11,12%	119.771
	4	82.800	8,75%	117.223
	5	81.000	6,39%	114.674
	6	79.200	4,02%	112.126
	7	77.400	1,66%	109.578
idade média	7,7	76.136	0,00%	107.788
P4	8	75.600	-0,70%	107.029
	9	73.800	-3,07%	104.481
	10	72.000	-5,43%	101.933
	11	70.200	-7,80%	99.385
	12	68.400	-10,17%	96.836
	13	66.600	-12,54%	94.288
	14	64.800	-14,91%	91.740
P3	15	63.000	-17,28%	89.191
	16	61.200	-19,62%	86.643
	17	59.400	-21,98%	84.095
P2	18	57.600	-24,35%	81.546
	19	55.800	-26,71%	78.998
P1	20	54.000	-29,07%	76.450
	21	52.200	-31,44%	73.901

2. cálculo da quilometragem média anual da frota

Fase PROCONVE	Anos de uso	Intensidade de uso (<i>Iu</i>) INEAVAR	Variação com base na média (<i>var_{ano de uso}</i>)	Intensidade ajustada para frota X
P5	1	88.200	15,85%	124.868
	2	86.400	13,48%	122.319
	3	84.600	11,12%	119.771
	4	82.800	8,75%	117.223
	5	81.000	6,39%	114.674
	6	79.200	4,02%	112.126
	7	77.400	1,66%	109.578
idade média	7,7	76.136	0,00%	107.788
P4	8	75.600	-0,70%	107.029
	9	73.800	-3,07%	104.481
	10	72.000	-5,43%	101.933
	11	70.200	-7,80%	99.385
	12	68.400	-10,17%	96.836
	13	66.600	-12,54%	94.288
	14	64.800	-14,91%	91.740
P3	15	63.000	-17,28%	89.191
	16	61.200	-19,62%	86.643
	17	59.400	-21,98%	84.095
P2	18	57.600	-24,35%	81.546
	19	55.800	-26,71%	78.998
P1	20	54.000	-29,07%	76.450
	21	52.200	-31,44%	73.901

3. interpolação linear para estimar intensidade de uso para frota com 7,7 anos de uso

Fase PROCONVE	Anos de uso	Intensidade de uso (<i>Iu</i>) INEAVAR	Variação com base na média (<i>var_{ano de uso}</i>)	Intensidade ajustada para frota X
P5	1	88.200	15,85%	124.868
	2	86.400	13,48%	122.319
	3	84.600	11,12%	119.771
	4	82.800	8,75%	117.223
	5		6,39%	114.674
	6		4,02%	112.126
	7		1,66%	109.578
idade média	7,7	4. variação de uso com base na idade média de 7,7 anos	0,00%	107.788
P4	8	75.600	-0,70%	107.029
	9	73.800	-3,07%	104.481
	10	72.000	-5,43%	101.933
	11	70.200	-7,80%	99.385
	12	68.400	-10,16%	96.836
	13	66.600	-12,52%	94.288
P3	14	64.800	-14,89%	91.740
	15	63.000	-17,25%	89.191
	16	61.200	-19,62%	86.643
	17	59.400	-21,98%	84.095
P2	18	57.600	-24,35%	81.546
	19	55.800	-26,71%	78.998
P1	20	54.000	-29,07%	76.450
	21	52.200	-31,44%	73.901

Fase PROCONVE	Anos de uso	Intensidade de uso (<i>Iu</i>) INEAVAR	Variação com base na média (<i>var_{ano de uso}</i>)	Intensidade ajustada para frota X
P5	1	88.200	15,85%	124.868
	2	86.400	13,48%	122.319
	3	84.600	11,12%	119.771
	4	82.800	8,75%	117.223
	5	81.000	6,39%	114.674
	6	79.200	4,02%	112.126
	7	77.400		109.578
idade média	7,7	76.100	5. ajuste da km anual da frota com base na variação estimado na etapa 4	107.788
P4	8	75.600		107.029
	9	73.800		104.481
	10	72.000	-5,43%	101.933
	11	70.200	-7,80%	99.385
	12	68.400	-10,16%	96.836
	13	66.600	-12,52%	94.288
P3	14	64.800	-14,89%	91.740
	15	63.000	-17,25%	89.191
	16	61.200	-19,62%	86.643
	17	59.400	-21,98%	84.095
P2	18	57.600	-24,35%	81.546
	19	55.800	-26,71%	78.998
P1	20	54.000	-29,07%	76.450
	21	52.200	-31,44%	73.901

EQUIPE TÉCNICA

Luis Antonio Lindau

Diretor Presidente

Daniela Facchini

Diretora de Projetos e Operações

Magdala Arioli

Coordenadora de Projetos de Transporte e Clima

Mariana Barcelos

Estagiária de Projetos de Transportes



Av. Independência, 1299/401
90035-077 • Porto Alegre / RS • Brasil
+55 51 3312.6324

 embarqbrasil.org • thecityfixbrasil.com

 [@EMBARQBrasil](https://twitter.com/EMBARQBrasil)  fb.com/embarqbrasil