

Condições de tráfego e a emissão de poluentes

Eduardo M. Murgel¹
Alfred Szwarc²

RESUMO Os estudos realizados no Brasil, EUA e diversos outros países, relativos à emissão de poluentes pelos veículos automotores leves consideram, como referência, uma velocidade média de tráfego de 31,5 km/h. Todavia, é freqüente, em grandes centros urbanos, uma diminuição sensível nessa velocidade média, em consequência de tráfego congestionado. Este trabalho apresenta um novo ciclo de ensaio de emissão veicular em dinamômetro de chassi, cuja velocidade foi reduzida para 19km/h, simulando uma situação de congestionamento. Com o novo ciclo, verificou-se nos ensaios realizados em oito veículos, um aumento médio de 25% nas emissões de monóxido de carbono, 20% nas emissões de hidrocarbonetos e uma redução de 15% nas emissões de óxidos de nitrogênio. Foi também verificado um aumento de 20% no consumo de combustível.

Palavras-chave: poluição do ar, veículos, tráfego.

ABSTRACT Automotive emission studies conducted in Brazil, the USA and elsewhere consider 31,5km/h as the reference fleet average speed for light duty vehicles. However, in metropolitan areas, traffic congestion leads to a significant decrease in this average speed. This study presents a new emission driving cycle which simulates, in laboratory conditions, congested traffic with an average speed of 19km/h. Eight vehicles were tested according this new cycle and the results indicate an average increase of 25% for carbon monoxide and 20% for hydrocarbon emissions, as well as a 15% reduction for nitrogen oxides. Also, it was noted a 20% increase in fuel consumption.

Key words: air pollution, vehicles, traffic

Nos grandes centros urbanos, em especial na Região Metropolitana de São Paulo (RMSP), as vias de tráfego estão a cada dia mais saturadas, provocando uma diminuição da velocidade

No Município de São Paulo (MSP), segundo estudos da Companhia de Engenharia de Tráfego - CET, a velocidade média situa-se em torno de 30 km/h. Todavia, em certas ocasiões, observa-se um decréscimo sensível nessa média, causada pelos mais variados fatores, tais como preços convidativos de combustível, deficiências crônicas no sistema viário, etc. Recentemente, no MSP, durante a euforia do início do Plano Cruzado, verificou-se, segundo a CET, uma queda da velocidade na RMSP, chegando a atingir médias com cerca de 30% inferior ao usual.

Por outro lado, diversos fatores podem contribuir para aumentar a velocidade média, como por exemplo os períodos de férias escolares, que acarretam um significativo desafogamento do tráfego.

A finalidade deste trabalho consiste em se determinar a influência de uma diminuição na velocidade média do tráfego na emissão de poluentes pelo escapamento dos veículos leves, visto que esses constituem hoje uma das principais fontes de poluição atmosférica na RMSP, respondendo por 77% do total de monóxido de carbono emitido na região⁽¹⁾. Para tal, elaborou-se um ciclo de condução, que permite simular, em laboratório, condições de congestionamento de tráfego. Oito veículos foram submetidos ao referido ciclo e os resultados foram comparados com um ciclo de condução padrão, representativo das condições normais de trânsito em meio urbano.



¹ Engenheiro da Cetesb

² Engenheiro da Cetesb e Mestre em Controle da Poluição Ambiental

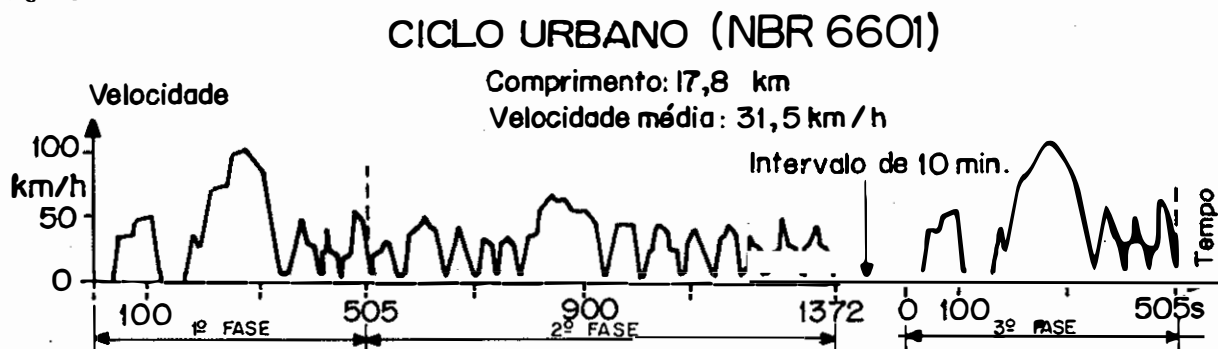
Revisão Bibliográfica

Embora não se tenha conhecimento de nenhum estudo realizado no Brasil, relativo à influência da velocidade média do tráfego na emissão de poluentes pelos veículos, existem alguns trabalhos, realizados no Exterior, que apresentam dados bastante completos, abrangendo desde estudos específicos em veículos, até planos de reestruturação urbana.

Para se determinar a emissão de poluentes por veículos leves, devem-se ensaiá-los em dinamômetro de chassi, seguindo um ciclo de condução padrão que, no Brasil, é estabelecido pela norma técnica NBR 6601⁽¹⁾.

O ciclo de condução padrão simula uma viagem típica, em área urbana, de 12,1 km e com uma velocidade média de 31,5 km/h. O ensaio completo consiste na reprodução de dois ciclos, sendo um com partida a frio (fase I e II) e outro com partida a quente (fase III), havendo

Figura 1



um intervalo de 10 minutos, com o motor desligado, entre os dois. Conforme pode ser observado na Figura 1, o segundo ciclo (fase III) é idêntico à fase I do primeiro. Portanto, é percorrida uma distância equivalente ao total de 17,8 km, cujos resultados são ponderados entre as fases I e III e somados à fase II através de um procedimento de cálculo apropriado, conforme norma NBR-6601.

Tendo em vista as condições padronizadas do ensaio, o conhecimento da emissão de um veículo, em outras condições de referências, requer uma correção dos resultados obtidos nas condições padrão.

O "Compilation of Air Pollutant Emissions Factors"⁽³⁾, apresenta uma série de fórmulas, uma para cada ano-modelo de veículo, do fator de correção de emissão em função da velocidade média. Esse fator deve ser multiplicado pela emissão medida no ciclo de condução padrão, que possui uma velocidade média de 31,5 km/h, sendo idêntico ao ciclo normalizado no Brasil. Os fatores de correção são fornecidos para os três principais poluentes de origem veicular: monóxido de carbono (CO), hidrocarbonetos (HC) e óxido de nitrogênio (NOx). A Tabela-1 apresenta os fatores de correção obtidos para uma situação de congestionamento, com velocidade de 19 km/h e a Tabela-2 mostra o fator de emissão médio, conforme ano-modelo, até 1981, dos veículos leves norte-americanos a gasolina, a 31,5 km/h e a 19 km/h⁽³⁾.

Conforme se pode observar na Tabela-2, ocorre, sistematicamente, um aumento na emissão de CO e HC quando a velocidade média é reduzida de 31,5 km/h para 19 km/h, enquanto que a emissão de NOx se mantém igual ou é ligeiramente inferior.

Para os veículos ingleses, Apling⁽⁴⁾ elaborou curvas de fatores de emissão de CO, HC, e NOx em função da velocidade média, entre 10 e 110 km/h, determinando faixas de variação da emissão para os diversos modelos. Aplicando-se as velocidades de 31,5 km/h e 19 km/h nessas curvas, obtêm-se os dados expostos na Tabela-3.

Em trabalho realizado por Ponthieu⁽⁵⁾, na França, verificou-se o efeito de uma racionalização do tráfego, que elevou a velocidade média de 15,3 para 21,3 km/h, sobre a emissão de poluentes por veículos. Dessa forma, foi constatada uma melhoria de 20% no consumo de combustível e uma diminuição da emissão de poluentes, da ordem de 15% para o CO, 20% para o HC e 25% para o NOx.

Tabela 1: Fatores de Correção para 19 km/h — USA

Modelo	CO	HC	NOx
pré-68	1,50	1,50	1,00
68	1,56	1,54	0,98
69	1,74	1,52	0,97
70	1,73	1,47	0,93
71	1,68	1,48	0,95
72	1,63	1,48	0,90
73-74	1,70	1,63	0,89
75-77	1,39	1,53	0,84
78-79	1,59	1,56	1,09
80	1,42	1,66	1,00
81	1,41	1,43	1,13

Tabela 2: Fatores de Emissão Médios (g/km) — USA

Modelo	31,5 km/h			19,0 km/h		
	CO	HC	NOx	CO	HC	NOx
Pré-68	48,6	4,5	2,1	72,9	6,8	2,1
68	35,0	2,8	2,7	54,6	4,3	2,6
69	35,0	2,8	2,7	60,9	4,3	2,6
70	26,2	1,9	1,8	45,3	2,8	1,7
71	26,2	1,9	1,8	44,0	2,8	1,7
72	25,3	2,1	1,5	41,2	3,1	1,4
73-74	25,3	2,1	1,5	43,0	3,4	1,3
75-77	11,3	0,7	1,1	15,7	1,1	0,9
78-79	11,3	0,7	1,1	18,0	1,1	1,2
80	3,8	0,2	0,9	5,4	0,3	0,9
81	1,3	0,2	0,4	1,8	0,3	0,5

Tabela-3: Fator de Emissão Característico — Inglaterra

	Emissão (g/km)		
	31,5 km/h (A)	19 km/h (B)	Fator de Correção (B/A)
CO	7 a 30	10 a 38	1,26 a 1,42
HC	1,4 a 3,0	1,9 a 4,1	1,35 a 1,36
NOx	0,8 a 3,5	0,8 a 3,7	1,00 a 1,14

Hipótese de Trabalho

Uma diminuição da velocidade média de tráfego, sendo provocada por congestionamentos, pressupõe um maior número de acelerações e desacelerações, um aumento do tempo em que os veículos permanecem parados com o motor em marcha-lenta e ainda velocidades mais baixas.

É sabido que no regime de marcha-lenta, o motor opera com uma mistura excessivamente rica em combustível, sendo que a eficiência da combustão fica bastante comprometida, provocando assim uma alta taxa de emissão de CO e HC. Em contrapartida, devido às temperaturas mais baixas do motor em regime de marcha-lenta, visto estar operando sem carga, torna-se insignificante a emissão de NOx nessa condição.

Durante as acelerações e desacelerações, um motor com carburador convencional opera com misturas ricas, isto é, há um excesso de combustível para a quantidade de ar aspirada pelo motor, o que implica novamente um aumento da emissão de CO e HC. Durante as acelerações, há um aumento significativo da carga no motor, resultando em temperaturas e pressões mais elevadas, que implicam em maiores níveis de emissão de NOx.

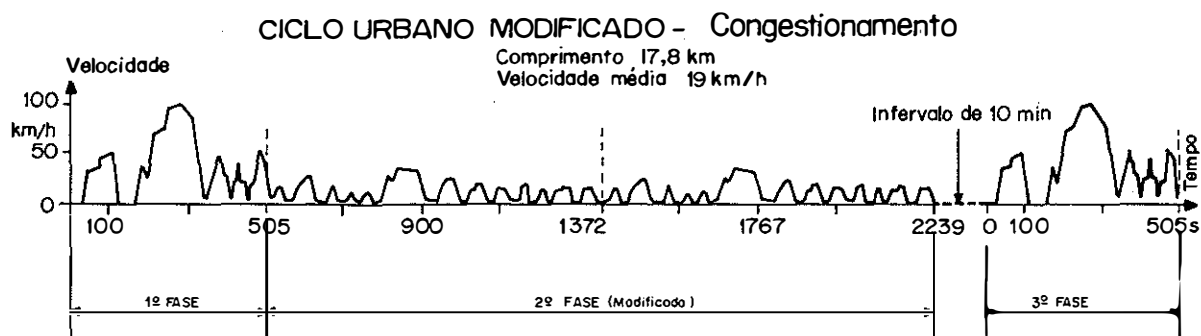
Dessa forma, numa situação de congestionamento, é de se esperar que haja um aumento da emissão de monóxido de carbono (CO) e hidrocarbonetos (HC), havendo porém, como foi explicado anteriormente, uma redução na emissão de óxidos de nitrogênio (NOx). O consumo de combustível também aumenta, pois está diretamente relacionado com a emissão de CO e HC. A emissão de óxidos de nitrogênio (NOx), tende a aumentar devido ao maior número de acelerações, ou a diminuir em consequência do aumento do período em marcha-lenta. Portanto, é de se esperar uma pequena variação na emissão desse poluente, sendo possível tanto uma diminuição quanto um aumento da mesma.

Os dados já mencionados, apresentados pela USEPA⁽³⁾, vêm confirmar essa hipótese, enquanto os trabalhos de Apling⁽⁴⁾ e de Ponthieu⁽⁵⁾ apontam coincidentemente para um aumento na emissão de CO e HC, mas também para um aumento da emissão de NOx em situações de velocidade média mais baixa.

Metodologia

Na determinação da influência de uma diminuição da velocidade média de tráfego nas emissões de poluentes, foi considerada uma redução dessa velocidade de 31,5 km/h para 19 km/h. Para tanto, foram utilizados oito veículos de marcas e modelos diferentes, sendo um movido a gasolina e os demais movidos a álcool. Os veículos eram de uso normal, e foram devidamente regulados, conforme as especificações dos fabricantes, antes da realização dos ensaios. Estes foram realizados no Laboratório de Emissão Veicular da Cetesb, em dinamômetro de chassi, com sistema de amostragem em volume constante (CVS) e bancada de analisadores para determinação de CO, HC, NOx e CO². Nos testes foram utilizados combustíveis do tipo comercial.

Figura 2



Cada veículo foi ensaiado quatro vezes, em dias consecutivos, sendo dois ensaios de emissão e consumo conforme descrito na norma NBR 6601⁽²⁾, que determina um ciclo de condução padrão cuja velocidade média é 31,5 km/h, e dois ensaios realizados também conforme a norma, porém utilizando-se um ciclo de condução modificado, cuja velocidade média é de 19 km/h.

Para se ensaiar os veículos com uma velocidade média de 19 km/h, foi criado um novo ciclo, onde a 2.ª fase, ou fase estabilizada, foi modificada segundo os seguintes critérios, que simulam uma situação de congestionamento (conforme Figura-2):

- a) Redução em 50% da velocidade média da segunda fase.
- b) Redução em 50% da distância percorrida em cada trecho compreendido entre dois períodos consecutivos de marcha-lenta.
- c) Diminuição em 25% das acelerações.
- d) Manutenção das desacelerações.
- e) Limite da velocidade em 32 km/h.
- f) Redução de todas as velocidades, em cerca de 30%, desde que respeitadas as condições anteriores.

A conjugação das condições acima, provoca um aumento considerável dos períodos de marcha-lenta na fase modificada, elevando o tempo nesse regime de 2,5 minutos para 8,9 minutos.

Na execução do ensaio, o ciclo resultante deve ser repetido mais uma vez, a fim de não alterar a distância total percorrida. Portanto, o ciclo congestionamento é composto por três fases, sendo que a primeira e a terceira são idênticas às do ciclo convencional, e a segunda fase consiste em se percorrer duas vezes seguidas a fase estabilizada modificada. Dessa forma, temos como resultado um ciclo com uma velocidade média, na segunda fase, reduzida de 26 km/h para 13 km/h, o que implica uma velocidade média global reduzida de 31,5 km/h para 19 km/h, sendo mantido o percurso total original de 12,1 km.

Resultados obtidos

Os resultados de interesse dos ensaios realizados nos oito veículos encontram-se na Tabela-4, onde são apresentados os valores médios de emissão de poluentes e consumo de combustível para cada veículo, operados segundo o ciclo convencional e segundo o ciclo modificado (congestionamento).

A Tabela-5 indica a relação entre os resultados obtidos com o ciclo congestionamento e com o ciclo normal, para cada veículo, e a média desses valores, que é o fator de correção, para 19 km/h, da emissão de poluentes pelo escapamento de veículos leves.

Tabela 4: Resultados de Emissão de Poluentes (g/km) e Consumo de Combustível (Autonomia em km/l).

Veículo	Ciclo Normal				Ciclo Congestionamento			
	CO	HC	NOx	Aut.	CO	HC	NOx	Aut.
A*	21,2	2,1	2,2	9,9	30,6	2,3	1,8	8,0
B	16,6	1,9	1,2	7,1	21,3	2,1	0,9	5,8
C	9,8	1,2	1,4	11,1	12,5	1,8	1,5	7,7
D	53,3	7,7	0,5	5,8	54,0	8,2	0,4	4,9
E	9,9	1,7	0,9	8,9	9,3	2,1	0,8	7,4
F	13,3	3,6	1,4	6,7	17,4	4,9	1,2	5,6
G	29,2	3,2	1,5	5,7	39,9	3,2	1,2	4,7
H	15,6	4,6	1,0	7,1	21,0	5,5	0,8	5,7

* O veículo "A" é movido a gasolina e os demais a álcool.

Tabela 5: *Fatores de Correção Obtidos para 19 km/h (Congest./Normal)*

Veículo	CO	HC	NOx	Aut.
A*	1,44	1,10	0,82	0,81
B	1,28	1,11	0,75	0,82
C	1,28	1,50	1,07	0,69
D	1,01	1,06	0,80	0,84
E	0,94	1,24	0,89	0,83
F	1,31	1,36	0,86	0,84
G	1,37	1,00	0,80	0,82
H	1,34	1,18	0,78	0,80
Média	1,25	1,19	0,85	0,81
D.P.	0,18	0,17	0,10	0,05

* O veículo "A" é movido a gasolina e os demais a álcool.

Discussão dos Dados

Os dados apresentados nas tabelas 5 e 6 indicam um aumento nas emissões de CO e HC e consumo de combustível, e uma redução na emissão de NOx em todos os casos, exceto em um ensaio, o que vem a confirmar a hipótese levantada anteriormente.

Os resultados obtidos pelo veículo a gasolina são bastante próximos à média dos resultados dos veículos a álcool, o que permite analisar conjuntamente os dados de todos os modelos, independentemente do combustível utilizado.

Desta forma, observa-se um aumento médio de 25% na emissão de CO e 20% na emissão de HC. A emissão de NOx sofreu uma redução média de 15% e o consumo de combustível aumentou em 20%.

Estes resultados vêm confirmar a hipótese anteriormente levantada.

Para os veículos nacionais, os fatores de emissão medidos conforme NBR 6601, dos modelos a álcool e gasolina, são apresentados na Tabela-6⁽⁶⁾.

Tabela-6: *Fator de Emissão (g/km) - Brasil*

	Álcool			Gasolina		
	CO	HC	NOx	CO	HC	NOx
médiada frota circulante	18,8	1,6	1,1	40,5	3,8	1,4

Aplicando-se os fatores de correção relacionados na Tabela-5 aos fatores de emissão médios da frota circulante expostos na Tabela-6, recalculam-se os fatores de emis-

são médios nas ocasiões em que a velocidade de tráfego for de 19km/h, em média, obtendo-se os seguintes valores:

Veículos a Álcool:

CO = 23,5g/km

HC = 1,9g/km

NOx = 0,9g/km

Veículos a gasolina:

CO = 50,6g/km

HC = 4,6g/km

NOx = 1,2g/km

Comparando-se os dados da literatura com os resultados obtidos, observa-se que os fatores de correção para 19 km/h, segundo a USEPA⁽¹⁾, variam muito conforme o ano-modelo, sendo que o mais próximo dos dados obtidos são os fatores dos modelos 75-77, que indicam um aumento de 39% na emissão de CO e de 53% na emissão de HC, e uma redução da emissão de NOx em 16%. Todos os fatores de correção norte-americanos para CO e HC são superiores aos determinados neste trabalho. Os fatores de correção da USEPA para o NOx, são maiores que um para os modelos mais recentes, coincidindo assim com os valores apresentados por Apling⁽⁴⁾ e Ponthieu⁽⁵⁾. As curvas de correção de Apling são concordantes com os dados obtidos apenas para o CO, apresentando valores superiores na correção do HC. Portanto, os fatores de correção de CO obtidos coincidem com a bibliografia consultada, os de HC foram um pouco inferiores e os de NOx coincidem apenas com os valores norte-americanos referentes aos veículos mais antigos.

Conclusões

Embora este trabalho ainda seja preliminar, dado o pequeno número de veículos ensaiados, pode-se observar claramente um aumento de cerca de 25% nas emissões de monóxido de carbono (CO) e 20% nas emissões de hidrocarbonetos (HC), bem como uma redução de 15% nas emissões de óxidos de nitrogênio (NOx). Visto que as concentrações de CO e HC na atmosfera da Região Metropolitana de São Paulo são bastante altas em relação aos padrões de qualidade do ar, um agravamento das condições de tráfego, que venha a provocar uma redução sensível na velocidade média das viagens urbanas, pode, realmente, vir a agravar ainda mais a qualidade do ar na cidade.

Além disso, foi verificado um aumento de 20% no consumo de combustível, o que resulta, sem dúvida, em um grande aumento do custo operacional dos veículos, que somados a uma perda de tempo adicional, um aumento da incidência de "stress" nos motoristas, e os danos ambientais, justificam uma grande concentração de esforços no gerenciamento de tráfego, criando ações que venham a melhorar a fluidez do mesmo.

Referências Bibliográficas

- (1) Cetesb — "Qualidade do Ar na Região de São Paulo e Cubatão" — São Paulo, 1987.
- (2) Associação Brasileira de Normas Técnicas — NBR 6601 — "Análise dos Gases de Escapamento de Veículos Rodoviários Automotores Leves a Gasolina" — Jun./1981.

(3) U.S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY —
"Compilation of Air Pollutant Emission Factors" — Volume II: Mobile Sources — Fourth Edition, 1985.

(4) Apling, A. J. — "Current Understanding of the Technical — Possibilities for Reducing Pollutant Emissions from Motor Cars" — United Kingdom

(5) Ponthieu, J. — "Influence de la Régulation du Trafic Urbain Sur les Émissions de Polluants d'Origine Automobile" — Pollution Atmosphérique n.º 109, Janvier-Mars 1986.

(6) Murgel, E. M. *et alii* — "Inventário de Emissão Veicular — Metodologia de Cálculo" — Revista Engenharia Sanitária — ABES — Vol. 26:3 — 1987.

