

DETERMINAÇÃO DO ACRÉSCIMO DE EMISSÕES DEVIDO À PARTIDA A FRIO PARA A ESTIMATIVA DE POLUENTES VEICULARES EM ÁREAS URBANAS

Marcelo Hansen

Paula Ariotti

Tsuneyoshi Imasato

Helena Beatriz Bettella Cybis

Laboratório de Sistemas de Transportes - LASTRAN
Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção - PPGEP
Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS

RESUMO

As emissões de poluentes atmosféricos decorrentes de veículos automotores representam um grave problema ambiental. O modo de operação do veículo influencia diretamente a quantidade de poluentes emitidos. Quando um veículo inicia sua operação com motor frio, a quantidade de poluentes emitidos torna-se consideravelmente maior que quando em condições estabilizadas de temperatura do motor. Este estudo propõe uma metodologia para a determinação do acréscimo das emissões de poluentes gerado no período em que os veículos operam em partida a frio. Esta metodologia visa aprimorar a análise macroscópica de emissões veiculares. Para a determinação do adicional de emissões, foram utilizados dados da pesquisa de entrevistas domiciliares de Porto Alegre. Através da análise dos adicionais emitidos, é possível identificar áreas críticas que necessitam de ações de controle de emissões. Os resultados deste estudo podem subsidiar o planejamento e gerenciamento das condições ambientais provocadas pelas fontes móveis de emissões de poluentes em áreas urbanas.

ABSTRACT

Vehicular emissions represent a serious environmental problem. The vehicle operation mode influences directly in the amount of emitted pollutants. When a vehicle begins its operation with the cold engine, the amount of emitted pollutants becomes considerably higher than when in stabilized conditions of engine's temperature. This study proposes a methodology to estimate the increase of the vehicular emissions generated in the period where the vehicles operate in cold start. This methodology was devised to improve the macroscopic analysis of vehicular emissions. It used data from household travel survey of Porto Alegre. Through the analysis of the emission's additional, it is possible to identify critical areas that need control actions of emissions. The results from this study can assist the planning and management of the environmental conditions deriving from vehicular emissions in urban areas.

1. INTRODUÇÃO

A quantificação das emissões veiculares através de modelagem pode ser realizada sob diversas abordagens. A diferença ocorre em função do nível de detalhes considerado, ou seja, a forma de descrição do tráfego. A abordagem macroscópica considera variáveis agregadas enquanto que a microscópica envolve o detalhamento da operação dos veículos em função das condições do tráfego. A escolha da abordagem adequada depende dos objetivos da análise e da disponibilidade de informações.

Os modelos de previsão de emissões veiculares têm a finalidade de quantificar o total de poluentes com base no modo de operação dos veículos. Estes modelos podem ser classificados em: (i) estáticos, que consideram fatores específicos de emissão para cada tecnologia de veículo/motor e uma situação de tráfego médio e, (ii) dinâmicos ou modais, que avaliam as emissões através de um ciclo de condução completo e estima-as em função do modo de operação específico ou de variáveis que possam explicar o carregamento do motor. O modo de operação dos veículos, que se refere à temperatura de operação do motor, tem grande influência na quantidade de poluentes emitidos.

Este estudo apresenta a proposição de um método para a determinação do acréscimo das emissões de poluentes gerado no período em que os veículos operam em partida a frio, para

aprimorar a análise macroscópica de emissões veiculares. O período de partida a frio refere-se ao tempo em que o veículo trafega até que seja atingida a sua temperatura ideal de operação do motor e dos equipamentos de controle de emissões. Para determinação do acréscimo de emissões, são considerados os pontos de localização das viagens iniciadas com partida a frio. A quantificação deste acréscimo de emissões pode indicar regiões que necessitam de análise mais detalhada em relação ao total de poluentes emitidos. Os resultados obtidos neste estudo podem subsidiar o planejamento e gerenciamento das condições ambientais decorrentes dos impactos gerados por fontes móveis de emissão de poluentes.

2. FATORES INTERVENIENTES NO PROCESSO DE EMISSÕES VEICULARES

De forma geral, as emissões veiculares são categorizadas em dois tipos: emissões de escapamento ou de descarga e, emissões evaporativas. As emissões evaporativas são formadas a partir da evaporação do combustível e têm sua formação vinculada à variação de temperatura. As emissões de descarga são dependentes do modo de operação dos veículos e representam cerca de 80% das emissões totais (Heywood, 1988; FEAM, 2004). As emissões veiculares variam em função de um número elevado de fatores, os quais determinam os padrões de emissão dos poluentes. Entre os principais fatores destacam-se:

- Características da frota como ano, modelo e categoria veicular: aspectos de tamanho, peso, potência e tecnologia do motor (injeção eletrônica de combustível ou através de carburadores) do veículo interferem na quantidade emitida de poluentes. Em geral, veículos novos, em função das tecnologias mais avançadas e equipamentos de redução de poluentes mais eficientes (conversor catalítico ou catalisador), são menos poluidores. A tecnologia de alimentação do motor por injeção eletrônica de combustível evita seu desperdício, contribuindo para a redução do grau de emissão. Com o uso do veículo, o desgaste de peças e componentes afeta as características de eficiência do motor, provocando índices mais elevados de emissão.
- Regulagem e manutenção: a regulagem e manutenção adequadas mantêm um funcionamento eficiente do motor, evitando desperdícios de combustível e garantindo que os níveis de emissão permaneçam dentro dos limites estabelecidos pela legislação. A manutenção adequada reduz a degradação natural do motor e dos equipamentos de controle de emissão de poluentes, aumentando a vida útil do veículo e contribuindo para o controle das emissões de poluentes.
- Tipo e composição do combustível: o tipo de combustível utilizado define a qualidade da queima da mistura ar-combustível dentro do motor, influenciando diretamente na formação dos poluentes emitidos. A redução, ou até mesmo a eliminação, de compostos presentes nos combustíveis como chumbo (Pb) e enxofre (S), têm grande influência nas emissões de óxidos de enxofre e chumbo pelos veículos. A emissão de hidrocarbonetos depende, principalmente, da qualidade e do grau de oxidação incompleta do combustível.
- Sistema de tráfego local e traçado da via: a emissão de poluentes veiculares é dependente das condições de tráfego, cujas características podem variar consideravelmente de uma área para outra. As características de controle nas interseções, números de faixas de tráfego, programações semaforicas, facilidades para estacionamento e permissividade de conversões são fatores relacionados ao sistema de tráfego local com conseqüências indiretas na emissão veicular. A largura e a inclinação da via também influem nas emissões. A largura exerce influência sobre a

liberdade do fluxo, e a inclinação leva a uma maior demanda de potência, reduzindo a relação ar/combustível em aclives, ocasionando emissões mais elevadas (Anh, 1998).

- Condições climáticas: A variação da temperatura tem grande influência nas emissões evaporativas de HC. Em locais com temperaturas mais elevadas, o uso do ar-condicionado nos veículos exige um maior carregamento do motor, emitindo mais poluentes. Em ambientes mais frios, o resfriamento do motor e dos equipamentos de controle de emissão de poluentes ocorre mais rapidamente, fazendo com que uma nova partida do motor ocorra em temperaturas mais baixas (Wenzel et al., 2000).
- Modo de condução: o modo de condução de cada motorista pode influenciar consideravelmente a emissão de poluentes, principalmente CO e HC. Acelerações mais bruscas e que exigem mais potência do motor tendem a emitir mais poluentes do que acelerações mais “suaves”. Em um padrão de direção mais agressivo, o veículo pode emitir dez vezes mais poluentes que em um padrão de direção calmo e duas (HC e NO_x) a três vezes (CO) mais do que em um padrão de condução normal (De Vlieger, 1997; De Vlieger et al. 2000).
- Modo de operação do veículo: os modos de operação do veículo são classificados em: (i) condições estabilizadas; (ii) partida a quente; (iii) partida a frio. Dentro de cada um desses modos, o veículo pode operar em velocidade constante, parado, em aceleração ou desaceleração. A diferença entre a partida a frio e a quente refere-se ao tempo transcorrido entre o desligamento do veículo e a seu religamento (Mehta et al., 2003). Quando os veículos trafegam em condições estabilizadas de temperatura do motor e dos equipamentos de controle de emissão de poluentes, as emissões variam em função da ocorrência de eventos de aceleração e desaceleração. A maior parte dos poluentes emitidos ocorrem em pequenos episódios de aceleração e desaceleração que acarretam elevados níveis de emissão (Rouphail et al., 2000; Rakha e Ding, 2003). O modo de partida do veículo também exerce influência sobre a quantidade de poluentes emitidos. Em geral, quando os veículos operam em partida a frio ou a quente, o nível de emissões tende a ser maior que em condições estabilizadas.

É importante considerar que os fatores intervenientes no processo de emissões veiculares são dependentes e interligados (Ericsson, 2000; Brundell-Freij e Ericsson 2005). Desta forma, a análise envolvendo a interação dos fatores em níveis macroscópicos mostra-se complexa. Este trabalho busca, portanto, determinar a influência do modo de operação em partida a frio na estimativa de emissões veiculares em áreas urbanas, sob a abordagem macroscópica.

3. INFLUÊNCIA DA PARTIDA A FRIO NAS EMISSÕES DE POLUENTES

Estudos indicam que as emissões de poluentes em condições de partida a frio são significativamente maiores que em condições estabilizadas. Isto se deve ao fato de que o motor ainda não atingiu sua temperatura de operação e, por isso, ocorre a queima incompleta do combustível. Além disso, nos veículos com catalisador, é necessário que o conversor catalítico alcance a temperatura de operação para que os gases poluentes resultantes da queima do combustível sejam convertidos em dióxido de carbono (CO₂) e água.

Kelly e Groblicki (1993) realizaram uma pesquisa com medição a bordo de um veículo com injeção eletrônica e catalisador de três vias. A medição foi realizada com registro de dados segundo a segundo. Os primeiros 505 segundos de teste foram reservados para a observação da influência da partida a frio em relação à quantidade de poluentes emitidos. Os 867 segundos seguintes envolveram as medições de poluentes em condições estabilizadas de

operação do motor. O teste prosseguiu com 600 segundos de motor desligado e após, com 505 segundos de medição com partida a quente. Os autores observaram que o tempo de partida a frio do motor variou entre 100 e 180 segundos e, o tempo de partida a quente foi 50 segundos. Em relação ao teste com partida frio, os autores observaram que o período crítico correspondeu aos primeiros 100 segundos de operação do veículo, onde as emissões representaram 60% do total de HC e CO emitidos no período de 505 segundos.

Jensen (1995) realizou um estudo em Roskilde (Dinamarca) onde um veículo seguia outros veículos e coletava as informações de velocidade segundo a segundo, buscando identificar o padrão de viagem de cada seção de vias. A emissão de poluentes foi estimada através de um modelo de emissões. O autor afirmou que o período de partida a frio representou 9% do tempo que o veículo viajou, e gerou cerca de 60% do total de CO e HC emitidos, para veículos com catalisador. As emissões em partida a frio, nos veículos sem catalisador, foram 3 a 4 vezes maiores que em condições estabilizadas, e entre 10 e 20 vezes mais para veículos com catalisador.

De Vlieger (1997) realizou medições com seis veículos com injeção eletrônica e catalisador de três vias e, um veículo com carburador e sem catalisador. O autor observou que, para o veículo equipado com carburador e sem catalisador, o tempo de partida a frio variou entre 130 e 180 segundos. As emissões de HC e CO medidas neste período variaram entre 4 e 6 vezes mais que em partida a quente. Para os testes com os veículos com catalisador e injeção eletrônica, o tempo de partida a frio variou entre 130 e 280 segundos. As emissões de HC e CO com partida a frio variaram entre 4 e 40 vezes mais que em partida a quente.

Singer et al. (1999) realizaram um estudo para medir o fator de emissão de incremento nas partidas a frio. Os testes foram realizados através do monitoramento do ar em uma garagem subterrânea nos períodos de chegada e saída dos veículos. Os veículos que estacionaram no turno da manhã foram considerados em condições estabilizadas de operação do motor. Ao final do dia, quando os veículos deixaram a garagem, considerou-se que os veículos estavam com motores frios. Foi realizado o teste FTP (*Federal Test Procedure*) para o período de partida a frio para vinte veículos. Os autores observaram que o tempo de aumento acentuado das emissões medido no teste FTP variou de 80 a 100 segundos e, o tempo onde a estabilização da temperatura do motor e do catalisador variou entre 200 a 220 segundos. As emissões com partida a frio foram 3 vezes maiores para CO, 4 vezes maiores para HC e 2 vezes maiores para NO_x nos primeiros 200 segundos, em relação às emissões em condições estabilizadas de operação do motor. Dos poluentes emitidos nos 200 segundos iniciais, mais de 80% de HC e CO e 70% de NO_x foram emitidos nos primeiros 100 segundos. Estes resultados foram obtidos a uma temperatura variando entre 18°C e 24°C.

Observa-se que a influência da partida a frio depende de diversos fatores como tipo de motor, presença de dispositivos de controle de emissões e temperatura ambiente. Assim, de acordo com a combinação de tais condições, tem-se um fator de ajuste que pode ser aplicado ao total de emissões durante o período de partida a frio do veículo. A Tabela 1 apresenta um resumo dos estudos supracitados em relação aos componentes monóxido de carbono (CO) e hidrocarbonetos (HC), considerados principais poluentes emitidos na combustão de gasolina.

Tabela 1: Características da influência da partida a frio nas emissões veiculares

Autor	Local do Estudo	Temperatura ambiente (°C)	Tempo de partida a frio (segundos)	Fator de ajuste de partida a frio na emissão de CO	Fator de ajuste de partida a frio na emissão de HC
Kelly e Groblicki (1993)	Califórnia (USA)	22	100 a 180	-	-
Jensen (1995)	Roskilde (Dinamarca)	-	-	3 a 4 vezes (sem catalisador); 10 a 20 vezes (com catalisador)	3 a 4 vezes (sem catalisador); 10 a 20 vezes (com catalisador)
De Vlieger (1997)	Turnhout (Bélgica)	0 – 15	130 e 180 (sem catalisador); 130 e 280 (com catalisador)	4 a 6 vezes (sem catalisador); 4 a 40 vezes (com catalisador)	4 a 6 vezes (sem catalisador); 4 a 40 vezes (com catalisador)
Singer et al. (1999)	Califórnia (USA)	18 – 24	80 a 100	3 vezes	4 vezes

4. DETERMINAÇÃO DO ADICIONAL DE EMISSÃO POR PARTIDA A FRIO (APF)

Os modelos estáticos de emissões, em geral, estimam a quantidade de poluentes em função da velocidade média e do volume de veículos nas vias. Estes modelos, por sua natureza, não consideram fatores como eventos de aceleração e desaceleração ou partidas a frio do motor, que exercem grande influência na emissão de poluentes, especialmente em áreas urbanas. Este trabalho propõe uma metodologia para determinação do adicional de emissões resultante da influência da partida a frio na estimativa de poluentes veiculares. Este adicional de poluentes emitidos tem grande importância em áreas onde um grande número de viagens, de curta duração e concentradas geograficamente, tem início no mesmo horário, como é caso de viagens urbanas.

Para a determinação do adicional de partida a frio são necessários dados que indiquem a localização das viagens que iniciam com partida a frio. A pesquisa de entrevistas domiciliares é uma importante fonte de dados que pode ser utilizada para o enriquecimento da análise de emissões em áreas urbanas. Este tipo de pesquisa contempla diversas informações úteis como a localização dos pontos de origem das viagens, horários das viagens, características dos veículos, entre outros. Este estudo propõe a utilização de pesquisas de entrevistas domiciliares como base para a quantificação do acréscimo de emissões devido à partida a frio.

Desta forma, a metodologia utilizada para determinação do adicional de emissão por partida a frio envolve: (i) a delimitação da área de estudo; (ii) a divisão da área de estudo em células de análise; (iii) a determinação das classes de veículos; (iv) a determinação dos compostos a serem quantificados e, (v) o cálculo do adicional de emissões derivado do período em que os veículos operam em partida a frio.

4.1. Delimitação da Área de Estudo

A análise da influência da partida a frio nas emissões veiculares supõe a existência de viagens que sejam originadas dentro de uma área urbana. O critério para a delimitação da área de estudo envolve a análise da concentração das viagens iniciadas com partida a frio.

4.2. Divisão da Área de Estudo em Células de Análise

Para facilitar a identificação de áreas críticas de uma região, em função do adicional de emissões por partida a frio, a metodologia proposta sugere a divisão da área de estudo em

células de análise. De forma geral, o tamanho das células pode ser determinado em relação à distância média percorrida pelos veículos na rede viária enquanto trafegam em partida a frio.

4.3. Determinação das Classes de Veículos

A análise do adicional de emissões pode ser realizada para diferentes tipos de veículos. Cada veículo possui um fator de emissão que pode variar em função do tipo de motor e dos equipamentos de controle de emissão de poluentes. É conveniente, portanto, classificar os veículos de acordo com suas características, agrupando as classes que correspondem a fatores de emissão similares.

4.4. Determinação dos Compostos a serem Quantificados

Os compostos emitidos por veículos dependem do tipo de motor e combustível utilizado. Em função do objetivo de cada estudo, a análise pode compreender distintos poluentes.

4.5. Adicional de Partida a Frio

Modelos estáticos de estimativa de emissões consideram valores médios das variáveis de tráfego e distribuem as emissões uniformemente por toda a rede. Esta abordagem pode representar distorções, principalmente, em locais onde são emitidas grandes quantidades de poluentes. A identificação dos locais onde ocorrem as viagens com partida a frio permite que o adicional de poluentes emitidos nesta situação seja contabilizado, melhorando a estimativa total de poluentes.

De forma geral, o total de emissões de um poluente é dado pela quantidade de poluentes emitida em condições estabilizadas, mais o adicional emitido referente ao período de partida a frio, como mostra a Equação 1.

$$E_x = E_{CE_x} + [APF_x] \quad (1)$$

Onde:

E_x = Emissões totais do poluente x (g);

E_{CE_x} = Emissões do poluente x em condições estabilizadas (g);

APF_x = Adicional de emissão por partida a frio do poluente x (g).

O valor de E_{CE_x} pode ser estimado através de modelos estáticos de emissões. O adicional de emissão por partida a frio é dado pela Equação 2.

$$APF_x = FE_x * N_{PF} * DMPF * (FPF_x - 1) \quad (2)$$

Onde:

FE_x = Fator de emissão para o poluente x (g/veic);

N_{PF} = Número de viagens iniciadas com partida a frio;

$DMPF$ = Distância média percorrida pelo veículo com o motor frio (km/veic);

FPF_x = Fator de Ajuste de Partida a Frio para o poluente x .

O fator de ajuste de partida a frio (FPF_x) representa a relação entre a quantidade de poluente emitida em condições estabilizadas e o adicional relativo ao período de partida a frio. Este fator pode variar em função das características do tipo de veículo, tipo de combustível e temperatura ambiente.

O fator de emissão FE_x para cada poluente e classe de veículos pode ser o mesmo utilizado na estimativa das emissões de poluentes em condições estabilizadas, ou obtido através da Equação 3. Segundo Zhang et al. (2002), os fatores de emissão para poluentes provenientes do escapamento de veículos automotores costumam ser expressos em g/km (fatores de emissão baseados em testes) e variam com a velocidade do veículo. A Equação 4 apresenta uma forma de conversão do FE_x em g/veic para g/km, através da quilometragem média que um veículo percorre numa viagem.

$$FE_x = \left[\frac{E_{CE_x}}{N_T} \right] \quad (3)$$

Onde:

E_{CE_x} = Emissões do poluente x em condições estabilizadas (g);

N_T = Número total de partidas (veic).

$$FE_x = \left[\frac{E_{CE_x}}{N_T * KMVV} \right] \quad (4)$$

Onde:

$KMVV$ = Quilometragem média viajada por veículo (km/veic).

É importante considerar que fatores como a presença de semáforos ou a topografia acidentada da rede viária também podem provocar um aumento pontual do nível de emissões em determinada região. Estas características podem ser associadas a fatores relacionados e adicionadas ao total de emissões em uma região.

5. DETERMINAÇÃO DO ADICIONAL DE EMISSÃO POR PARTIDA A FRIO (APF) NA ÁREA DE ESTUDO

A determinação do adicional por partida a frio foi realizada neste estudo através de uma aplicação na cidade de Porto Alegre. Neste trabalho, foram utilizados dados da pesquisa de entrevistas domiciliares (EDOM, 2004) realizada em Porto Alegre em 2003. Os dados foram representados através de um Sistema de Informações Geográficas (SIG) que auxiliou a análise dos resultados.

5.1. Delimitação da Área de Estudo

Para a delimitação da área de estudo, foram definidos os períodos de análise. A área de estudo considerada envolve a porção da rede viária que concentra a maior quantidade de viagens que iniciam com partida a frio. Os horários de análise definidos correspondem aos picos matinal e vespertino, entre 7:30h e 8:30h e 18:00h e 19:00h, respectivamente. A Figura 1 apresenta a área de estudo e a concentração de pontos de origem de viagens durante os períodos de pico.

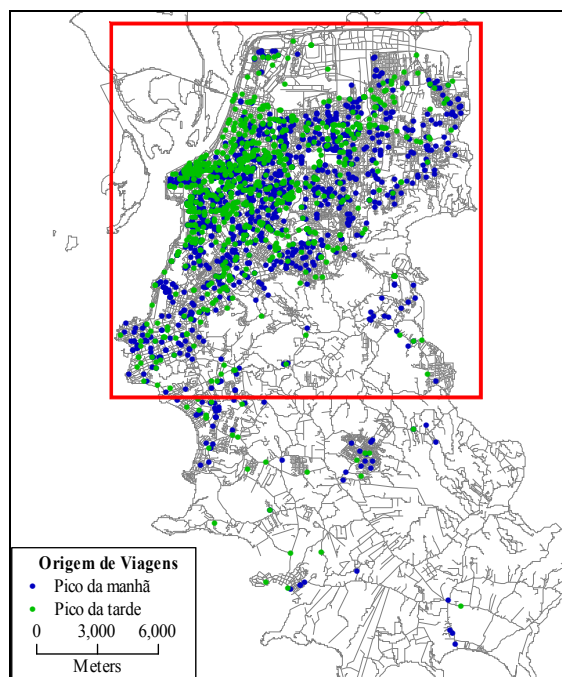


Figura 1: Delimitação da área de estudo e pontos de origem de viagens

5.2. Divisão em células de análise

A área de estudo foi dividida em células de análise de formato quadrado e de mesma área. A determinação do tamanho da célula considerou a distância que o veículo percorre no período em que o motor está em partida a frio. Para a determinação do tamanho da célula, esta distância que o veículo percorre com motor frio corresponde ao raio de um círculo imaginário. Através da área deste círculo imaginário, obteve-se um quadrado equivalente de mesma área. A partir da área do quadrado equivalente, foi obtida a dimensão da aresta da célula.

O período crítico de emissões em partida a frio adotado, baseado na literatura, foi de 100 segundos. A velocidade média na rede viária em estudo é de 25,6 km/h. Como os veículos não percorrem as distâncias em linha reta, foi aplicado um fator de correção da distância de 1,3 (Novaes, 1989). Assim, o tamanho da célula de análise adotado foi de 1 x 1 km. Considerou-se, por simplificação, que as viagens com origem em cada célula de análise iniciam no centro geométrico da célula. A distância média percorrida pelo veículo na partida a frio adotada (DPF) foi de 550 metros.

5.3. Determinação das classes de veículos

Os veículos foram agrupados em duas classes. A divisão considerou o ano de fabricação do veículo de acordo com os dados da pesquisa de entrevistas domiciliares. Os veículos fabricados entre 1997 e 2003 foram considerados como de “alta tecnologia” e classificados como classe A e, os veículos fabricados antes de 1997, considerados como de “baixa tecnologia”, foram classificados como classe B. Para a aplicação da metodologia proposta, foram analisados apenas os veículos equipados com motores do tipo ciclo Otto e que utilizaram gasolina como combustível.

5.4. Determinação dos Compostos a serem Quantificados

Neste estudo, para exemplificação da metodologia, foram quantificadas as emissões de monóxido de carbono (CO) e de hidrocarbonetos (HC).

5.5. Cálculo do Adicional de Partida a Frio

Foram adotados fatores de ajuste para partida a frio (FPF_x) para HC e CO em função da diferença de tecnologia dos veículos. Com base no estudo de Singer (1999), o FPF_x adotado para CO representa 3 vezes mais poluentes emitidos em partida a frio em relação às emissões em condições estabilizadas e, para HC, 4 vezes mais. Ainda, considerou-se que, para a emissão de CO, um veículo sem catalisador e equipado com carburador emite 5 vezes mais que um veículo equipado com catalisador e injeção eletrônica e, para HC, 3 vezes mais (De Vlieger, 1997). Apesar dos veículos norte-americanos possuírem tecnologia e utilizarem combustíveis diferenciados dos veículos brasileiros, para fins de teste da metodologia, assumiu-se que a diferença de emissão de poluentes entre a classe A e B seguem a mesma proporção que os veículos americanos em relação à partida a frio e em condições estabilizadas. A Tabela 2 apresenta os fatores de emissão para partida a frio para cada classe de veículos.

Tabela 2: Fatores de ajuste para partida a frio para cada classe de veículo

Classe	Fator de ajuste para CO	Fator de ajuste para HC
A	3	4
B	15	12

O fator de emissão FE_x adotado é o mesmo para as classes A e B. Para a estimativa do adicional de emissão de CO na partida a frio, foi adotado FE_x de 12,3 g/km e, para HC, 1,3 g/km. Estes valores, referentes a 2003, foram baseados na frota da região metropolitana de São Paulo (RMSP) (CETESB, 2004), que representa as características da frota brasileira no período em que ocorreram as entrevistas domiciliares em Porto Alegre.

5.5.1. Cálculo do Adicional de Partida a Frio para CO

A quantificação do adicional de emissões de CO em partida a frio foi realizada para cada classe de veículos em cada período de estudo. As células de análise apresentadas nas Figuras 2 e 3 representam a soma dos adicionais calculados para as classes A e B.

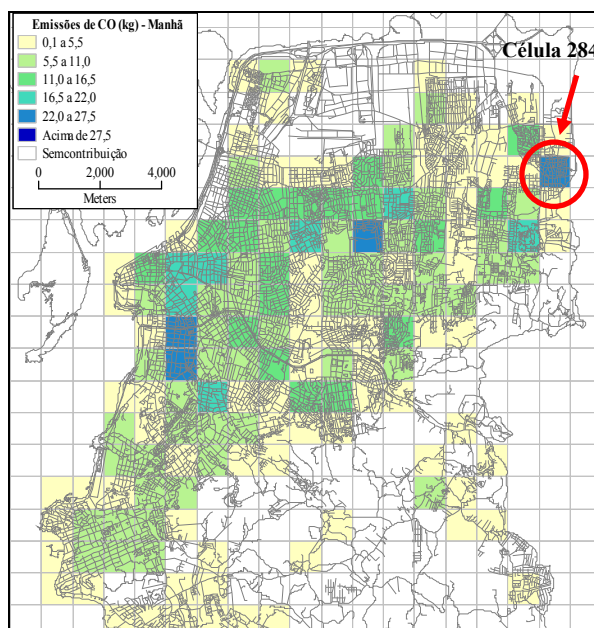


Figura 2: Adicional de CO em partida a frio no pico da manhã

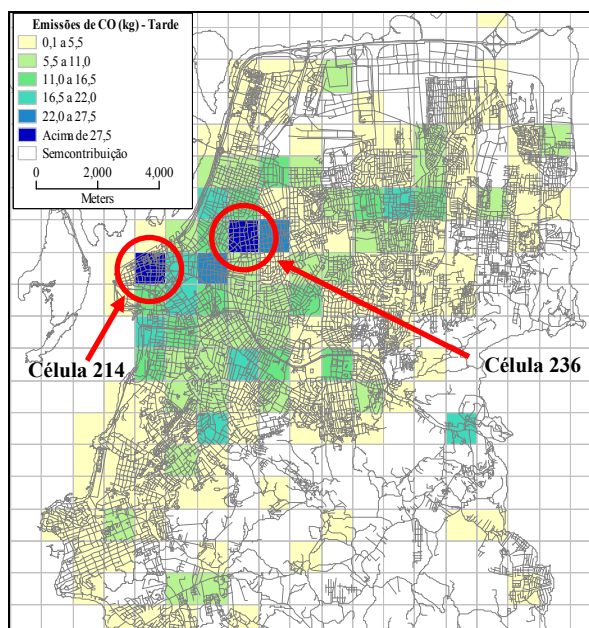


Figura 3: Adicional de CO em partida a frio no pico da tarde

Observa-se que, para a emissão de CO, o adicional de partida a frio é mais acentuado nas células de análise do período da tarde. No entanto, considerando-se toda a área de estudo, o adicional de CO emitido no período da manhã, correspondente a 1108 kg, é superior ao da tarde, que é igual a 853 kg, uma vez que o número de viagens que iniciam com partida a frio no período da manhã é 30% maior que à tarde. É importante ressaltar que estes valores referem-se apenas aos adicionais de emissão de partida a frio, que devem ser acrescidos aos valores de emissão de poluentes em condições estabilizadas.

O adicional de emissão em partida a frio é diretamente relacionado ao total de viagens que iniciam com motores frios e à classe dos veículos. No período da manhã, observou-se que a célula de análise que apresentou maior quantidade de CO emitido em partida a frio (célula 284), identificada na Figura 2, não possui o maior número de viagens em relação às outras células, mas a maioria dos veículos dessa célula são de classe B, com baixa tecnologia. Ainda, as células com maior número de viagens nesse período e, porém, com a maioria de veículos de classe A, com alta tecnologia, não são as mais críticas.

No período da tarde, as células de análise que apresentaram adicional emitido maior que 27,5 kg na hora modelada correspondem às células que possuem o maior número de viagens. Na Figura 3, estas células correspondem ao centro da cidade (célula 214) e à uma região de grande oferta de serviços e comércio (célula 236).

5.5.2. Cálculo do Adicional de Partida a Frio para HC

A contribuição da partida a frio nas emissões de HC para cada classe de veículos é apresentada nas Figuras 4 e 5. As células de análise representam a soma dos adicionais de HC para as classes A e B, nos períodos de pico da manhã e da tarde.

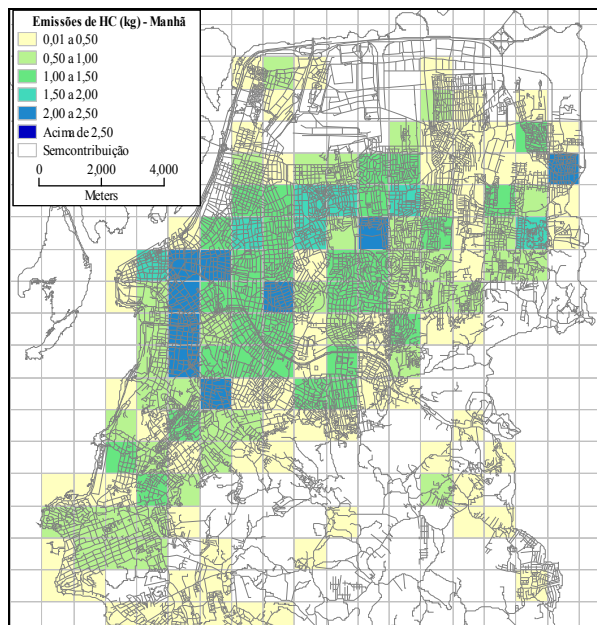


Figura 4: Adicional de HC em partida a frio no pico da manhã

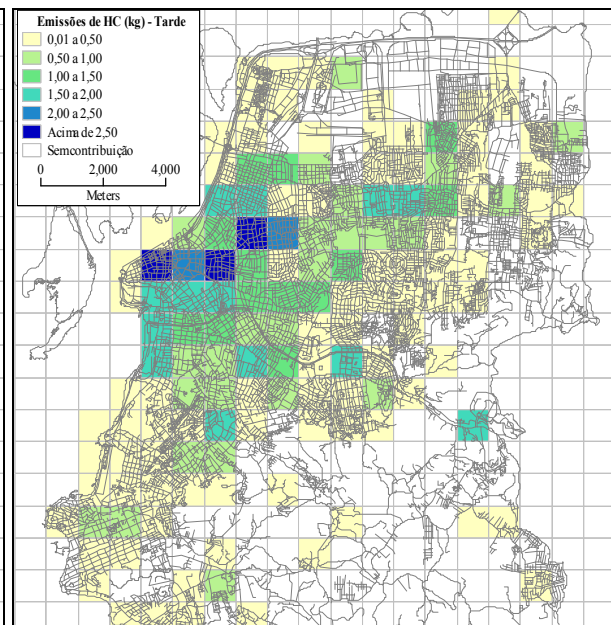


Figura 5: Adicional de HC em partida a frio no pico da tarde

Durante o período da manhã, em toda a área de estudo, o adicional de partida a frio de HC, correspondente a 113 kg, foi superior ao período da tarde, 87 kg. Entretanto, no período da

tarde, observou-se uma maior concentração de poluentes emitidos em relação ao período da manhã.

No período da manhã, nove células de análise apresentaram maiores adicionais de emissão de HC devido à partida a frio, entre 2,00 e 2,50 kg. Estas células possuem grande volume de viagens em que os veículos iniciam com motores frios, ou grande parte dos veículos é de classe B. Para a classe B, o FPF_x para HC é três vezes maior que para a classe A.

No período da tarde, foram identificadas três células em que o adicional de emissão de HC devido à partida a frio ultrapassou 2,50 kg na hora de pico e, outras duas células com adicional entre 2,00 e 2,50 kg na hora modelada. Estas células são localizadas próximas à região central da cidade, o que indica a concentração das origens das viagens no período vespertino.

6. CONCLUSÃO

As emissões de poluentes atmosféricos decorrentes de veículos automotores representam um grave problema ambiental. Estas emissões são dependentes do modo de operação dos veículos. Veículos que operam em partida a frio emitem quantidades consideravelmente maiores que em condições estabilizadas de temperatura do motor. Este trabalho propôs um método para a estimativa do adicional de emissões de poluentes devido à operação dos veículos em partida a frio.

Modelos estáticos de estimativa de emissões consideram valores médios das variáveis de tráfego e distribuem as emissões uniformemente por toda a rede. A identificação dos locais onde iniciam as viagens com partida a frio permite que o adicional de poluentes emitido nesta situação seja contabilizado, melhorando a estimativa total de emissão. A metodologia proposta neste artigo para determinação do adicional de emissões utiliza informações de pesquisas de entrevistas domiciliares. Estas informações permitem a identificação da localização dos pontos de origem das viagens que iniciam com motores frios. Na pesquisa domiciliar realizada em Porto Alegre foram coletadas informações sobre os veículos utilizados nos deslocamentos. Esta é uma característica importante da pesquisa, uma vez que estes dados possibilitaram uma categorização da frota e um maior detalhamento da metodologia.

Para a aplicação da metodologia proposta, foram utilizados dados da pesquisa de entrevistas domiciliares realizada em Porto Alegre, em 2003. Foram quantificados os adicionais de emissão de monóxido de carbono (CO) e hidrocarbonetos (HC) para uma porção de área urbana de Porto Alegre em dois períodos de análise, correspondentes aos picos da manhã e da tarde. Os resultados indicaram que, de forma geral, para ambos os compostos analisados, as células de análise com níveis elevados de adicionais de emissão encontraram-se concentradas na região central no período da tarde e, com maior dispersão de localização no período da manhã. Identificou-se que células de análise com grande quantidade de veículos de classe B, com baixa tecnologia, apresentaram elevados níveis de emissão referentes ao período de partida a frio. Destaca-se, assim, a importância da existência de equipamentos de controle de emissão de poluentes na frota de veículos.

A metodologia proposta permite a identificação das regiões onde o incremento das emissões devido à operação dos veículos em partida a frio deve ser melhor avaliado através da utilização de abordagens mais desagregadas. É importante ressaltar que os adicionais

calculados através da metodologia proposta não consideram a variação da velocidade na rede viária, assumindo valores médios para cálculo.

Como forma de aprimorar a metodologia proposta, é possível a utilização de diferentes fatores de ajuste de partida a frio (FPF_x) e de emissão (FE_x), bem como a determinação de outras classes de veículos, e combustíveis, em função da disponibilidade de dados e dos objetivos específicos de análise. No entanto, a qualidade dos resultados depende da confiabilidade dos dados da pesquisa de entrevistas domiciliares e da utilização dos fatores médios de emissão dos veículos. Para melhorar a confiabilidade dos resultados, aconselha-se a calibração dos fatores de ajuste de partida a frio (FPF_x) e de emissão (FE_x).

Como sugestão para trabalhos futuros, recomenda-se o aperfeiçoamento da metodologia através da consideração de outras variáveis pertinentes ao problema e a adição de outros fatores de ajuste, como efeitos da presença de semáforos ou de topografia acidentada. Enfatiza-se, ainda, a importância da realização de pesquisas de entrevistas domiciliares como importante fonte de dados para outras pesquisas e como suporte para o gerenciamento urbano.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ahn K. (1998) Microscopic Fuel Consumption and Emission Modeling. PhD. Dissertation. Blacksburg, Virginia.
- Brundell-Freij, K. e E. Ericsson (2005) Influence of Street Characteristics, Driver Category and Car Performance on Urban Driving Patterns. *Transportation Research Part D*, No. 10, p. 213-229.
- CETESB – COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL (2004) Relatório de qualidade do ar no Estado de São Paulo 2003. São Paulo.
- De Vlioger I.; D. De Keukeleere e J.G. Kretzschmar (2000) Environmental Effects of Driving Behaviour and Congestion Related to Passenger Cars. *Atmospheric Environment*, V. 34, No. 27, p. 4649-4655.
- De Vlioger, I. (1997) On Board Emission and Fuel Consumption Measurement Campaign on Petrol-Driven Passenger Cars. *Atmospheric Environment*, Vol. 31, No. 22, p. 3753-3761.
- EDOM – ENTREVISTA DOMICILIAR (2004) Pesquisa de Origem e Destino de Porto Alegre – Entrevista Domiciliar – EDOM 2003. Relatório Técnico. Porto Alegre: EPTC/Magna/TIS, 76 p.
- Ericsson, E. (2000) Variability in urban driving patterns. *Transportation Research Part D*, No. 5, p. 337-354.
- FEAM (2004) *Poluição Veicular*. Disponível em: www.feam.gov.br.
- Heywood, J.B. (1988) *Internal combustion engine fundamentals*. New York: McGraw-Hill.
- Jensen S. S. (1995) Driving Patterns and Emissions from Different Types of Roads. *The Science of the Total Environment*, V. 169, No. 1, p. 123-128.
- Kelly, N. e P. J. Groblicki (1993) Real-world automotive emissions from a modern production vehicle driven in Los Angeles. *Journal Air & Waste Manage*, No. 43, p.1351-1357.
- Mehta, T; A. Kottapalli; H. S. Mahmassani; C. Bhat (2003) Assessing the environmental benefits of intelligent transportation systems: methodologies and applications. CTR/University of Texas at Austin. Disponível em < http://www.utexas.edu/research/ctr/pdf_reports/4197_3.pdf >. Acesso em 09 de abril de 2007.
- Novaes, A. G. (1989) *Sistemas Logísticos: Transporte, Armazenagem e Distribuição Física de Produtos*. São Paulo: Editora Edgard Blücher.
- Rakha, H. e Y. Ding (2003) Impact of Stops on Vehicle Fuel Consumption and Emissions. *Journal of Transportation Engineering*, V. 129, p. 23-32.
- Rouphail, N. M.; H. C. Frey; J. D. Colyar e A. Unal (2000) Vehicle Emissions and Traffic Measures: Exploratory Analysis of Field Observations at Signalized Arterials. 80th Annual Meeting of the Transportation Research Board. Washington D.C..
- Singer B. C.; T. Kirchstetter ; R. A. Harley; G. R. Kendall e J. M. Hesson (1999) A Fuel-Based Approach to Estimating Motor Vehicle Cold-Start Emissions. *UCTC No 505*, Transportation Center, University of Califórnia, Berkeley.
- Wenzel, T; Singer, B. C. e Slott, R. (2000) Some Issues in the Statistical Analysis of Vehicle Emissions. *Journal of Transportation and Statistics*. No. 3, p. 1-14.
- Zhang, J.J. e L. Morawska (2002) Combustion sources of particles: 2. Emission factors and measurement methods. *Chemosphere*, V.49, p. 1059-1074.