

## PROPOSTA DE MODELO NUMÉRICO PARA SIMULAÇÃO DE POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA PROVOCADA POR VEÍCULOS EM POLOS GERADORES DE VIAGEM: O CASO DO TERMINAL RODOVIÁRIO DE UBERABA, MG

**Luís César Oliveira**

Universidade de Uberaba, Departamento de Engenharia Civil  
Avenida Nenê Sabino, 1901 Bairro Universitário  
38055-500 Uberaba, MG

E-mail: gestor.engenhariacivil@uniube.br

**José Aparecido Sorratini<sup>1</sup>**

**José Eduardo Alamy Filho<sup>2</sup>**

Universidade Federal de Uberlândia, Faculdade de Engenharia Civil  
Avenida João Naves de Ávila, 2121 Bairro Santa Mônica  
38400-902 Uberlândia, MG

<sup>1</sup>E-mail: sorratin@ufu.br

<sup>2</sup>E-mail: zealamy@yahoo.com.br

### Resumo

Este trabalho analisa a concentração de poluentes causada pelos ônibus intermunicipais, tanto no local da emissão, quanto nos arredores de um polo gerador de tráfego. Será desenvolvido um modelo matemático que possibilite analisar a dispersão da pluma emitida principalmente por veículos de transporte intermunicipal e interestadual que utilizam o terminal rodoviário de Uberaba. Espera-se, no final do trabalho, simular a dispersão de poluentes emitidos no terminal rodoviário de Uberaba e contribuir com os órgãos responsáveis, nas esferas municipal e estadual, na tomada de decisão eficaz para controlar a poluição atmosférica veicular, uma vez que os gases automotivos provocam diversas alterações climáticas, como o efeito estufa e a inversão térmica.

### 1. INTRODUÇÃO

A mecanização dos sistemas de produção teve início em meados do século XVIII, na Inglaterra, com a Revolução Industrial. Esta representou a consolidação do sistema capitalista, sistema sócioeconômico que tem na indústria sua atividade econômica de vanguarda. Esse sistema incentivou a produção e acúmulo de riquezas e redefiniu as estratégias para se alcançar o progresso: exploração e destruição dos recursos naturais (Brown, 2003).

Foi a partir do período industrial que a poluição passou a ser um problema para o homem. A industrialização levou à urbanização, acarretando inúmeros problemas ambientais, tais como aumento da quantidade de resíduos sólidos, do volume de esgoto, das descargas de poluentes atmosféricos, entre outros. As condições atmosféricas e as fontes de poluição identificam a qualidade ambiental de uma localidade ou região, que varia no tempo e no espaço. A carga de poluente no ar depende tanto dos mecanismos de dispersão como de sua produção e remoção. A topografia e as condições meteorológicas influem na capacidade de dispersão. Neste contexto, são relacionados os seguintes aspectos:

- Nos vales, principalmente naqueles localizados entre encostas muito íngremes, há uma tendência de maior concentração de substâncias em virtude das limitações na dispersão lateral dos poluentes;
- A velocidade e a direção dos ventos proporcionam o transporte e a dissipação dos poluentes atmosféricos, direção e possíveis alcances. Em situações perenes, ocorre um aumento nas concentrações de poluentes devido à menor dispersão.
- As chuvas atuam como agentes eficientes na remoção dos poluentes do ar, com menor ou maior eficiência, dependendo da sua intensidade. São normalmente relacionadas com a penetração de frentes frias que intensificam os ventos e ocasionam precipitações pluviométricas.

- A precipitação pluviométrica passa a ser o único mecanismo de remoção dos poluentes em locais onde o escoamento do ar é obstruído por grandes barreiras naturais ou artificiais, principalmente em locais onde não há corredores de ventos. Mas com este processo deve-se considerar a transposição dos poluentes para o solo e para águas superficiais (Szwarcfiter, 2004).

Os poluentes especificamente relacionados ao transporte são: monóxido de carbono (CO), hidrocarbonetos (CH), óxidos de enxofre (SO<sub>x</sub>), oxidantes fotoquímicos (O<sub>3</sub>), partículas (fumaça), óxidos de nitrogênio (NO<sub>x</sub>) e chumbo. O monóxido de carbono (CO) combina prontamente com a hemoglobina, a maior responsável pelo transporte de oxigênio para as células. Em consequência, uma exposição muito prolongada do ser humano a CO resulta em danos à visão e à faculdade de julgamento, modificações cardiovasculares, de forma que extremas concentrações de CO provocam morte. O óxido de nitrogênio, especificamente o NO<sub>2</sub>, pode corroer materiais (por meio da formação de ácidos), matar folhagens de plantas e causar danos ao tecido pulmonar. O chumbo é um veneno metabólico que quando ingerido por longo período de tempo pode causar uma variedade de efeitos tóxicos, incluindo anemia, doenças cerebrais, e inúmeras disfunções metabólicas. O dióxido de enxofre é um gás de odor desagradável e provoca irritação no aparelho respiratório. Por sua vez, o material particulado (MP), dependendo de sua composição, pode causar danos às plantas. No entanto, é a sua interação potencialmente sinérgica com outros poluentes, tal como SO<sub>2</sub>, que é preocupante do ponto de vista da saúde pública (Kawamoto, 2004).

No Brasil, o padrão nacional de qualidade ambiental vigente foi estabelecido pela Secretaria Especial do Meio Ambiente (SEMA, 2011) com o propósito de proteger a população, a flora e a fauna em toda extensão do território nacional. A resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA nº 315, de 29 de outubro de 2002, (CONAMA, 2002) dispõe sobre a nova etapa do Programa de Controle da poluição do ar por Veículos automotores – PROCONVE, em caráter nacional, para serem atendidas nas homologações dos veículos automotores novos, nacionais e importados, leves e pesados, destinados exclusivamente ao mercado interno brasileiro, com os seguintes objetivos:

- Reduzir os níveis de emissão de poluentes pelo escapamento e por evaporação, visando atender ao padrão;
- Promover o desenvolvimento tecnológico nacional, tanto na engenharia de projeto e fabricação, como também em métodos e equipamentos para o controle de emissão de poluentes;
- Promover a adequação dos combustíveis automotivos comercializados, para que resultem em produtos menos agressivos ao meio ambiente e à saúde pública, e que permitam a adoção de tecnologias automotivas necessárias ao atendimento do exigido pela resolução do CONAMA (CONAMA, 2002).

## 2. OBJETIVOS

Este trabalho tem o intuito de construir um código computacional que calcule as concentrações de poluentes atmosféricos, causadas por ônibus intermunicipais nos arredores de um polo gerador de viagens (PGV). Será desenvolvido um modelo matemático tridimensional que possibilite visualizar a dispersão da pluma emitida principalmente por veículos de transporte intermunicipal e interestadual que utilizam o terminal rodoviário de Uberaba.

## 2.1. Objetivos específicos

- Analisar, por meio de programa computacional comercial (TSIS – *Traffic Software Integrated System*), a emissão de poluentes provenientes de veículos de transporte de passageiro do terminal rodoviário de Uberaba, levando em conta os trajetos e suas declividades no entorno do referido terminal.
- Caracterizar os tipos de poluentes emitidos pela frota de ônibus.
- Inserir, no modelo a ser construído, fatores topográficos (aclives e declives das vias) e meteorológicos (rosa dos ventos, perfis verticais de velocidade e gradiente de temperatura), de forma a verificar sua influência na dispersão de poluentes emitidos pela frota.
- Caracterizar a movimentação dos ônibus intermunicipais no terminal rodoviário de Uberaba.
- Quantificar o número de veículos que utilizam o terminal rodoviário.
- Utilizar ferramentas computacionais para construção de modelo matemático para caracterizar o deslocamento da pluma.

## 3. METODOLOGIA

O presente estudo, de uma maneira geral, visa a analisar a dispersão da pluma de poluentes atmosféricos emitidos exclusivamente por ônibus intermunicipais no entorno do terminal rodoviário de Uberaba, MG. Nesse sentido, serão estimados coeficientes de dispersão baseados em modelos empíricos e dependentes dos perfis de temperatura na atmosfera. O produto final consistirá na delimitação de isosuperfícies de concentrações para os diversos poluentes emitidos pela frota, durante o intervalo de 24 h. Pretende-se analisar diversos cenários baseados principalmente na magnitude, direção e sentido dos ventos preferenciais na cidade, aspectos que serão extraídos da rosa dos ventos local.

O estudo será realizado em quatro etapas, em que a primeira etapa será constituída de uma revisão bibliográfica a respeito do tema proposto. A segunda etapa constará de um levantamento de dados junto ao setor administrativo de transporte do terminal rodoviário de Uberaba, juntamente com as empresas de ônibus diretamente envolvidas com o transporte rodoviário. A terceira etapa consistirá no levantamento dos elementos que interferem diretamente ou indiretamente na dispersão da pluma, fazendo uma avaliação da topografia em uma área a ser definida, na vizinhança do terminal. Nessa etapa serão identificadas as trajetórias seguidas pelos ônibus nas vias urbanas. Nesse contexto, será utilizado o programa TSIS, o qual, a partir das rotas dos veículos e do modelo numérico de terreno, permitirá o cálculo das emissões, em cada trecho, para cada veículo. O levantamento das emissões é fundamental para o estudo proposto, haja vista que elas atuarão como dados de entrada para o código computacional a ser construído, o qual simulará isosuperfícies de concentração dos diversos poluentes, considerando o intervalo de um dia de tráfego. Além dos fatores de emissão de poluentes por veículos movidos a diesel, também serão utilizados os limites estabelecidos na resolução nº 128/96 do tratado do MERCOSUL (MERCOSUL, 1996) e na lei nº 8.723, de 28/10/1993, (Brasil, 1993). Segundo Mattos (2001), o método *bottom-up* leva em conta a emissão de todos os gases e quantifica as emissões considerando o tipo de equipamento utilizado e o rendimento.

A quarta etapa consistirá na construção de um programa computacional que simule a dispersão tridimensional de poluentes, em termos de isosuperfícies de concentração, na região analisada. O programa será baseado na topografia da área selecionada, no delineamento das vias que servirão de linhas de deslocamento das fontes emissoras (ônibus que utilizam o terminal rodoviário) e na equação de advecção-difusão que permitirá a estimativa da distribuição da concentração dos poluentes. Para a solução desta equação, será utilizado o método de diferenças finitas. Os perfis verticais de velocidade

serão baseados em leis de potência e será construídos em função da rosa dos ventos. As dispersividades turbulentas do poluente serão calculadas em função das classes de estabilidade atmosférica de Pasquill, vinculadas aos diferentes perfis de temperatura possíveis na baixa troposfera (gradientes subadiabáticos, adiabático, superadiabáticos), incluindo casos mais extremos onde há inversão térmica.

Atualmente, o trabalho encontra-se na segunda e terceira etapas, mais especificamente no levantamento das curvas de nível e dos traçados das vias no entorno do terminal rodoviário de Uberaba. Também se encontra em fase de levantamento, a quantificação da frota diária, bem como das vias seguidas por cada ônibus e seus horários de partida.

#### 4. CONCLUSÃO

Espera-se, ao final deste estudo, simular a dispersão de poluentes emitidos no terminal rodoviário de Uberaba, mediante o cálculo de isosuperfícies de concentração e, com os resultados obtidos, contribuir com os órgãos responsáveis, nas esferas municipal e estadual, na tomada de decisão eficaz para controlar a poluição atmosférica veicular.

O código computacional a ser construído baseia-se em dados que podem ser facilmente obtidos, como curvas de nível, vias trafegadas pela frota analisada, horários de partida da frota e tipos de poluentes emitidos. Os dados atmosféricos solicitados vinculam-se basicamente à rosa dos ventos. Os diversos cenários a serem considerados terão por base gradientes de temperatura atmosférica e perfis de velocidade na forma de leis de potência. Em suma, pretende-se, ao final da pesquisa, construir uma ferramenta computacional prática, cuja aplicação dependa de uma lista de dados relativamente simples, que estão disponíveis, ou que podem ser levantados na maioria das cidades de médio e grande porte do país.

#### Agradecimentos

Os autores agradecem o apoio financeiro da FAPEMIG na divulgação desta pesquisa.

#### REFERÊNCIAS

- Brasil (1993). *Lei nº 8.723, de 28 de outubro de 1993*. Disponível em: <<http://www.prpe.mpf.gov.br/internet/Legislacao/Meio-Ambiente-e-Urbanismo/Leis/LEI-N1-8.723-DE-28-DE-OUTUBRO-DE-1993>>. Acesso em: 05 jul. 2012.
- Brown, L. (2003). EPI – Earth Policy Institute, UMA – Universidade Livre da Mata Atlântica. Disponível em: <<http://www.uma.org.br>>. Acesso em: 07 dez. 2011.
- CONAMA – *Conselho Nacional do Meio Ambiente* (2002). Ministério do Meio Ambiente (MMA). Resolução CONAMA nº 315, de 29 de outubro de 2002. Publicada no DOU nº 224, de 20 de novembro de 2002, Seção 1, p. 90-92. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama>>. Acesso em: 06 jul. 2012.
- Kawamoto, E. (2004). *Análise de sistemas de transportes*. 2. ed. São Carlos: Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- Mattos, L. B. R. (2001). *A importância do setor de transportes na emissão de gases do efeito estufa: O caso do Município do Rio de Janeiro*. 178 f. Dissertação (mestrado), UFRJ.
- MERCOSUL (1996). GMC. *Resolução 128 de 1996*. Regulamento técnico de limites máximos de emissão de gases poluentes e ruído para veículos automotores. Disponível em: <[http://www.mercosur.int/msweb/Normas/normas\\_web/Resoluciones/PT/96128.pdf](http://www.mercosur.int/msweb/Normas/normas_web/Resoluciones/PT/96128.pdf)>. Acesso em: 05 jul. 2012.
- SEMA – Secretaria de Estado do Meio Ambiente e Recursos Hídricos (2011). Plano de controle de poluição veicular – PCPV. *Instituto Ambiental do Paraná*. Estado do Paraná, maio de 2011.
- Szwarcfiter, L. (2004). *Opções para o aprimoramento do controle de emissões de poluentes atmosféricos por veículos leves no Brasil: uma avaliação do potencial de programas de inspeção e manutenção e de renovação acelerada da frota*. Tese (Doutorado), UFRJ.