

INFLUÊNCIA DA ENERGIA CINÉTICA TURBULENTA NA DISPERSÃO DE CO EM DIFERENTES VELOCIDADES E TAXAS DE EMISSÕES VEICULARES

Samuel R. Zechinelli¹, Noemy Lacerda dos Santos², Fernanda Capucho Cezana³

Engenharias

Introdução e Objetivo

O acelerado crescimento populacional tem intensificado sérios desafios ambientais, entre os quais se destaca a poluição atmosférica em centros urbanos.

De acordo com Gong *et al.*, (2017), a emissão de poluentes atmosféricos por meio de veículos automotores em áreas urbanas é uma das severas formas de poluição do ar. Somando-se a isso, o monóxido de carbono emitido se destaca por ser o poluente mais produzido por tais veículos. Segundo Ioannidis *et al.*, (2024), a poluição causada pela atividade de tráfego é considerada uma importante fonte de poluição do ar nas camadas atmosféricas, chamando a atenção para esse tipo de poluição em áreas com tráfego intenso.

De acordo com Cai *et al.* (2020), três mecanismos principais para a geração de turbulência em cânions urbanos são utilizados, incluindo (1) turbulência induzida pelo vento (TIV); (2) turbulência induzida por calor (TIC); e (3) turbulência induzida por veículo (TIV).

Este trabalho teve como objetivo analisar a dispersão de Monóxido de Carbono (CO) no interior de cânions urbanos idealizados. Considerou-se a turbulência induzida por veículos (TIV) para avaliar como diferentes velocidades e taxas de emissão de CO influenciam a dispersão no interior do cânion. Dessa forma, foi adotada a metodologia Reynolds Averaged Navier Stokes (RANS), utilizando a Dinâmica dos Fluidos Computacional.

Metodologia

A geometria (Fig. 1) representa um cânion urbano idealizado com razão de aspecto $W/H = 1$, onde a largura da rua e a altura dos prédios são ambas de 20 m. O veículo foi posicionado a 20 m do início da geometria. O vento incide paralelo ao eixo X. O domínio possui 60 m de largura e comprimento e 40 m de altura. Mais informações em (CAI *et al.*, 2020).

¹ Graduando em Engenharia Mecânica, Instituto Federal do Espírito Santo - IFES, zechisam@gmail.com;

² Graduanda em Engenharia Mecânica, Instituto Federal do Espírito Santo - IFES, noemylacerda831@gmail.com;

³ Doutora em Engenharia Ambiental, Instituto Federal do Espírito Santo - IFES, fecezana@ifes.edu.br;

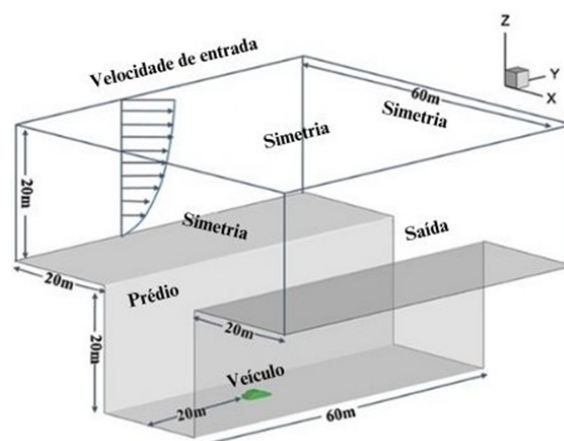


Figura 1 - Representação 3D do modelo proposto por Cai *et al.*, (2020) (Adaptado).

Fonte: Cai *et al.*, (2020).

O fenômeno estudado é modelado pelas equações de conservação de massa e de quantidade de movimento. Além disso, resolve-se a equação de conservação de massa da espécie química para representar a dispersão de poluentes na região. As condições de contorno estão ilustradas na (Fig. 1). O topo e as laterais do domínio foram tratados como simetria, enquanto a avenida, os prédios e o veículo foram considerados como paredes. Na entrada, aplicou-se um perfil de velocidade, e a saída foi definida como fluxo livre. O movimento do carro foi simulado por meio de termos fonte de Energia Cinética Turbulenta (ECT), momentum e dissipação adicionados nas células ao redor do veículo. A emissão de CO foi modelada por uma célula pontual atrás do carro.

Dois casos foram simulados, sendo eles a velocidade do veículo em 5 m/s e com taxa de emissão de $5,52e-4 \text{ g/m}^3\text{s}$. Posteriormente, esses valores foram dobrados, para 10 m/s e $1,104e-3 \text{ g/m}^3\text{s}$.

Procedimento Computacional

Dois tipos diferentes de malhas foram utilizados, sendo elas a tetraédrica e a hexaédrica. De acordo com Cai *et al.* (2020), a malha tetraédrica se adapta melhor para geometrias complexas. Logo, esta malha foi escolhida para a região do carro. Utilizou-se a malha hexaédrica acima da região do veículo, provocando melhoria no custo computacional e mantendo os resultados coerentes.

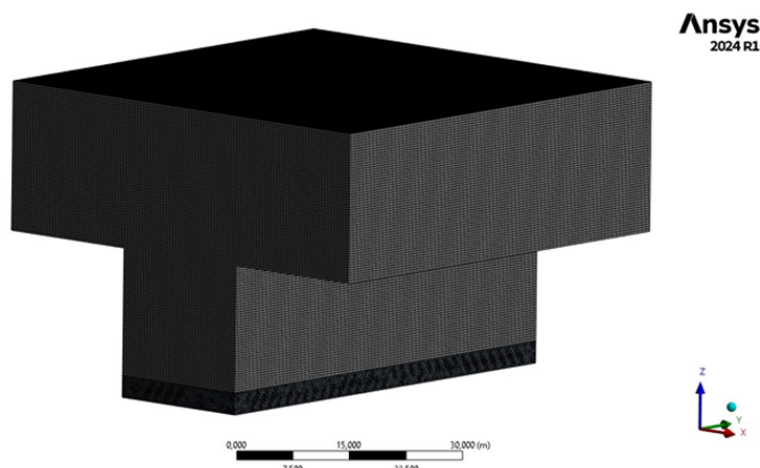


Figura 2 - Representação da malha computacional sobre o domínio.

Fonte: Autores.

Discussão e Resultados

Analisando os efeitos da dispersão de CO no interior do cânion, a (Fig. 4) apresenta um plano em $X = 0$, passando pelo centro do veículo, comparando a ECT gerada nas velocidades de 5 m/s (Fig. 4a) e 10 m/s (Fig. 4b). Nota-se que o veículo a 10 m/s gera maior ECT no interior do cânion em relação ao de menor velocidade. Esse aumento resulta diretamente do acréscimo da velocidade, intensificando a dispersão do poluente, conforme também observado por ZECHINELLI e CEZANA (2024).

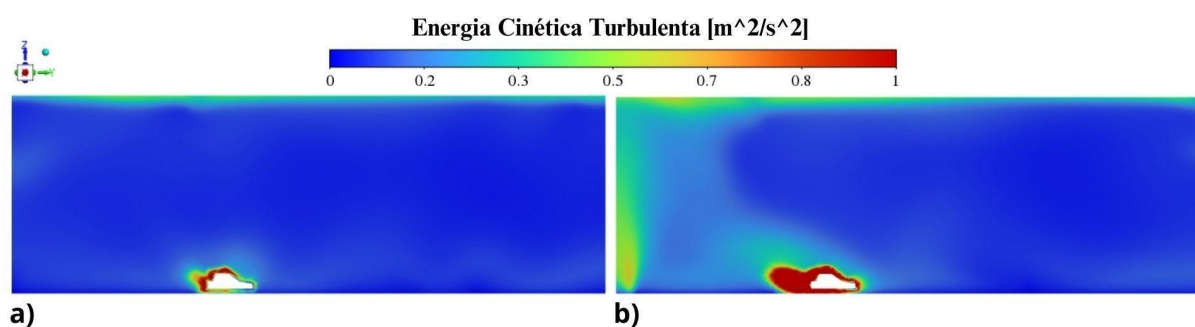


Figura 4 - Resultados de energia cinética turbulenta entre o carro a) 5 m/s e b) 10 m/s.

Fonte: Autores.

Na (Fig. 5), é mostrada a concentração de CO ao longo de uma linha no centro do veículo em ($X = 0$) a 1,6 m do solo, com início no começo do cânion ($Y = 0$ m) e término na traseira do veículo ($Y = 20$ m). Observa-se que, entre $2,5 \text{ m} < Y < 15 \text{ m}$, a concentração de CO não chegou a dobrar em comparação à condição de menor velocidade. Contudo, pontos de alta concentração aparecem tanto no início do cânion ($0 \text{ m} < Y < 3 \text{ m}$) quanto próximo à região de esteira atrás do veículo ($15 \text{ m} < Y < 20 \text{ m}$).

Primeiramente, a região de esteira atrás do veículo, favorece a retenção de poluentes. A alta concentração no início do cânion pode estar associada à formação de vórtices induzidos pela alta ECT gerada pelo veículo, indicado na (Fig. 4 b), dificultando a dispersão de CO.

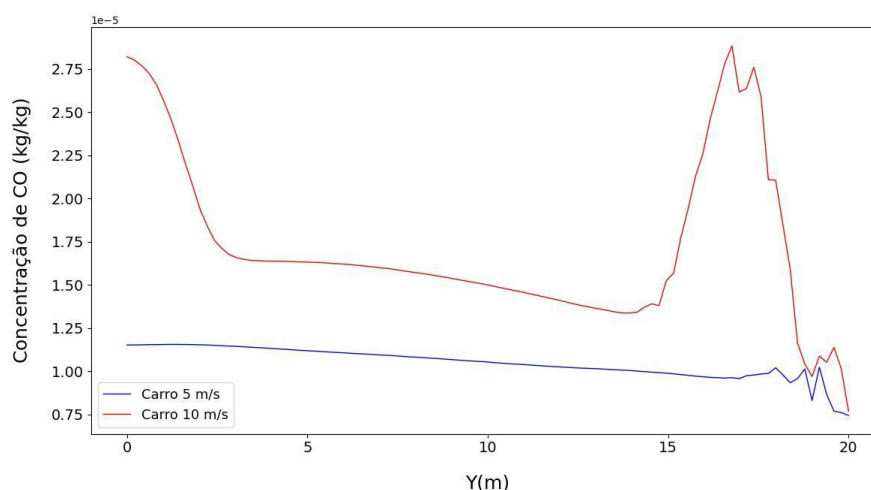


Figura 5 - Resultados de concentração de CO em uma linha do início do cânion até a traseira do carro, a 1,6 m do chão.

Fonte: Autores.

Outra observação pode ser feita em relação à (Fig. 5), onde observa-se que o carro com maior velocidade, (Fig. 4 b), apresenta uma maior ECT no intervalo de $2,5 \text{ m} < Y < 15 \text{ m}$ comparado com o carro de menor velocidade, (Fig. 4 a). Tais efeitos podem ser observados na (Fig. 5), no mesmo intervalo. Nota-se que, mesmo com a duplicação da taxa de emissão de poluentes do veículo, a diferença de concentração resultante não é duplicada.

Considerações Finais

O modelo proposto permitiu analisar as concentrações de CO em cânions urbanos sob diferentes velocidades e taxas de emissão veicular. A simulação em regime permanente apresentou resultados coerentes com a literatura e dados experimentais, evidenciando a relação entre a ECT gerada pelo aumento da velocidade e a dispersão do poluente. Observou-se que, apesar dos pontos ressaltados com alta concentração de poluente, ao longo do cânion a concentração é diluída devido à TIV. Como perspectivas futuras, sugerem-se estudos com diferentes tipos de veículos, direções de vento e efeitos térmicos na dispersão.

Agradecimentos/Apoio Técnico (opcional)

Os autores gostariam de agradecer a todos aqueles que forneceram sugestões e apoio para a conclusão deste trabalho e ao financiamento do Instituto Federal do Espírito Santo (IFES).

Referências

ANSYS. Ansys Fluent: Fluid Simulation Software. [S. 1]: Ansys, [s.d.]. Disponível em: <https://www.ansys.com/products/fluids/ansys-fluent>. Acesso em: 11 ago. 2025.

CAI, Cunjin; MING, Tingzhen; FANG, Weijie; de RICHER, Renaud; PENG, Chong. The effect of turbulence induced by different kinds of moving vehicles in street canyons.

Sustainable Cities and Society. v. 54, p.102015 . 2020.

IOANNIDIS, Giannis; CHAOFAN, Li; PAUL, Tremper; TILL, Riedel; LEONIDAS, Ntziachristos. Application of CFD Modelling for Pollutant Dispersion at an Urban Traffic Hotspot. **Atmosphere.** v. 15, n.1, p.113. 2024.

GONG, Tingrui; MING, Tingzhen; HUANG, Xiaoming; deRICHER, Renaud; WU, Yongjia; LIU, Wei. Numerical analysis on a solar chimney with an inverted U-type cooling tower to mitigate urban air pollution. **Solar Energy.** v. 147, p 68-82. 2017.

KOVAR-PANSKUS, A; LOUKA, Petroula, SINI, J-F; SAVORY, Eric; CZECH, M; ABDELARI, Abdelhaq; MESTAYER, Patrice; TOY, Norman. Influence of Geometry on the Mean Flow within Urban Street Canyons – A Comparison of Wind Tunnel Experiments and Numerical Simulations. **Water Air and Soil Pollution Focus.** v. 2,n.2, p 365-380. 2002.

ZECHINELLI, Samuel e CEZANA, Fernanda. Computational fluid dynamics for studying the dispersion of pollutants from motor vehicles in urban canyons. **20th Brazilian Congress of Thermal Sciences and Engineering - ENCIT 2024.** Foz do Iguaçu, Brasil, 2024.