

Artigo

Redução de Consumo de Combustível em Veículos de Carga Rodoviários: Uma Abordagem Numérica e Analítica

Oliveira, T. D.;* Tofaneli, L. A.; Magalhães, T. F.; Santos, A. A. B.

Rev. Virtual Quim., 2016, 8 (4), 1204-1219. Data de publicação na Web: 9 de agosto de 2016

<http://rvq.sbq.org.br>

Reduction of Fuel Consumption in Road Freight Vehicles: A Numerical and Analytical Approach

Abstract: Brazil, according to regulatory bodies in the country, has 1,584,402 km of highway, far superior numbers to 30,129 kilometers of rail tracks and 20,956 km of waterways used economically. Given the importance of road transport modal for the country, minimization of the need for inputs into its operations has significant impacts. Between inputs necessary for the operation of this mode of transport fuel, due to the increasing cost and significant environmental impact it causes, it is a frequent target of interest. This paper analyzes by computational fluid dynamics the impact of vehicle air deflectors in aerodynamic drag and computes, through analytical method, the impact of drag reductions in fuel consumption. Simulations using the three-dimensional turbulence model SST k- ω result in 36% reduction in aerodynamic drag which causes reductions in consumption that depends on the total load of the vehicle, varying between 33% and 35% for total loads between 10 and 20 tones.

Keywords: CFD; Fuel Consumption; Vehicle Aerodynamics.

Resumo

O Brasil, segundo órgãos regulatórios do país, possui 1.584.402 quilômetros de rodovia, números bem superiores aos 30.129 quilômetros de malha ferroviária ou 20.956 quilômetros de hidrovias utilizadas economicamente. Dada a relevância do modal de transporte rodoviário para o país, minimizações da necessidade de insumos em suas operações têm significativos impactos. Dos insumos necessários à operação deste modo de transporte o combustível, devido ao crescente custo e significativo impacto ambiental que ocasiona, é frequente alvo de interesse. O presente trabalho analisou através de fluidodinâmica computacional o impacto de defletores de ar veiculares no arrasto aerodinâmico e computou, através de método analítico, o impacto das reduções de arrasto no consumo de combustível. Simulações tridimensionais através do modelo de turbulência SST k- ω resultaram em redução de 36% no arrasto aerodinâmico que ocasionam reduções de consumo dependentes da carga total do veículo, variando entre 33% e 35% para cargas totais entre 10 e 20 toneladas.

Palavras-chave: CFD; Consumo de Combustível; Aerodinâmica Veicular.

* SENAI CIMATEC, Campus Integrado de Manufatura e Tecnologia, CEP 41650-010, Salvador-BA, Brasil.

✉ turan.oliveira@fieb.org.br

DOI: [10.21577/1984-6835.20160086](https://doi.org/10.21577/1984-6835.20160086)

Redução de Consumo de Combustível em Veículos de Carga Rodoviários: Uma Abordagem Numérica e Analítica

Turan D. Oliveira,* Luzia Aparecida Tofaneli, Tarcísio Faustino Magalhães, Alex Álisson B. Santos

SENAI CIMATEC, Campus Integrado de Manufatura e Tecnologia, CEP 41650-010, Salvador-BA, Brasil.

* turan.oliveira@fieb.org.br

Recebido em 6 de agosto de 2016. Aceito para publicação em 6 de agosto de 2016

1. Introdução
2. Metodologia
 - 2.1. Modelagem Computacional
 - 2.2. Caracterização das Geometrias
 - 2.1. Condições de Contorno
 - 2.2. Avaliação do Consumo de Combustível
3. Avaliação do consumo de combustível
4. Resultados e Discussão
5. Conclusão

1. Introdução

O Brasil é, segundo a Confederação Nacional do Transporte (CNT)¹, possuidor de 1.584.402 quilômetros de rodovias nacionais, estaduais ou municipais, número elevado comparado aos 41.635 quilômetros de hidrovias (sendo feito uso economicamente de apenas 20.956) ou aos 30.129 quilômetros de malha ferroviária. Enquanto esses números evidenciam o alcance do transporte rodoviário, também o evidencia no mesmo país como principal meio de transporte de cargas, por possuir participação maior que 60% em produto de toneladas por quilômetros transportados (TKUs), bem a

frente do transporte ferroviário (segundo colocado) de participação inferior a 21%.

Diante da relevância do transporte rodoviário, melhoramentos no setor que reduzam os custos operacionais refletem em um grande impacto financeiro. Focando o consumo de combustível como objetivo do melhoramento, logo surge outra grande área de relevância: a minimização de impactos ambientais.

Através de dados exibidos graficamente na Figura 1, nota-se que, em São Paulo (estado brasileiro com a maior frota rodoviária), veículos pesados (classificação na qual se inserem os veículos de transporte de carga) são responsáveis por parcelas significativas de diversos poluentes emitidos

para atmosfera. Ainda com a relevância na emissão de monóxido de carbono (CO) e de hidrocarbonetos (HC), a frota de veículos

pesados é o principal emissor de material particulado (MP) e de NO_x, causador de doenças respiratórias e dermatológicas.

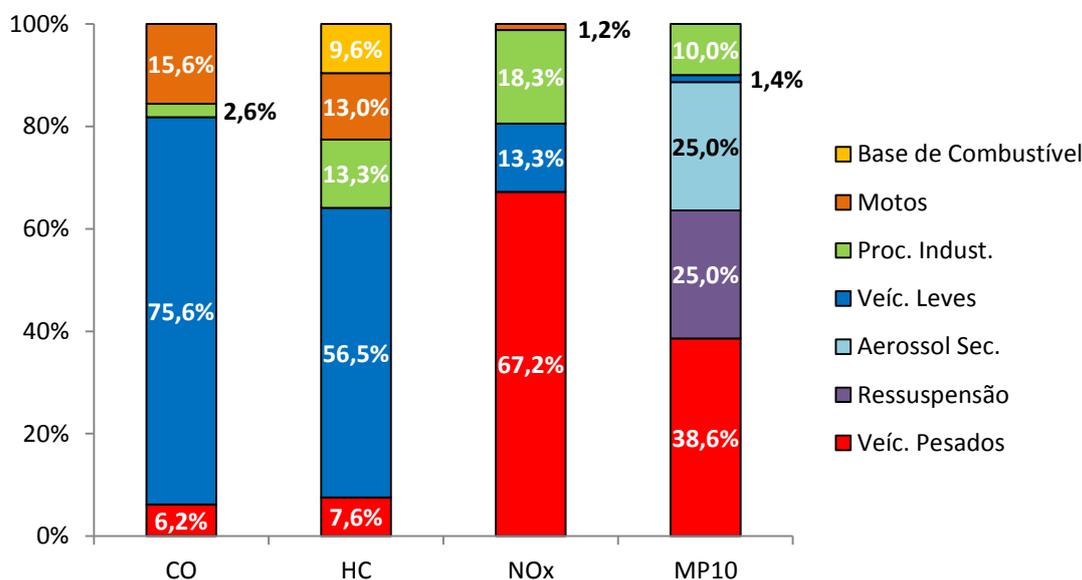


Figura 1. Emissões relativas por tipo de fonte para o Estado de São Paulo²

Assim, o melhoramento aerodinâmico de veículos de carga focado em redução de consumo de combustível, além de reduzir custos operacionais do principal meio de transporte de cargas do país, pode refletir em uma redução das emissões atmosféricas nocivas de uma fonte com significativa participação nas emissões totais de poluentes.

O consumo de combustível em veículos de carga rodoviários é de interesse nacional, já que grande parte da distribuição de produtos é feita por esse modal logístico, impactando significativamente no consumo de combustível. Como indicado por Hucho (1998)³ e Gillespie (1992),⁴ o arrasto é uma das resistências a serem vencidas pelo motor de um veículo. Desta forma, sua diminuição acarretará diminuições de consumo de combustível, uma vez que a potência, devido à queima de combustível, deve ser suficiente para, a certa velocidade, igualar ou ultrapassar as forças de resistência.

O estudo aerodinâmico, desta forma, possui contribuição importante à química

atmosférica. Neste contexto, as emissões atmosféricas veiculares dependem também da aerodinâmica do veículo, já que essa tem relevância sobre o consumo de combustível e também das posteriores emissões advindas da queima do combustível. As ferramentas computacionais para pesquisas em aerodinâmicas se apresentam como uma eficiente alternativa inicial aos extensos e caros testes aerodinâmicos.

Análises da aerodinâmica de um veículo pode permitir, aos estudos de química sobre emissões de poluentes em motores, encontrar perfis de concentração de poluentes em menor escala com a redução de consumo energético dos motores. Além disso, tais estudos podem avaliar o impacto da aerodinâmica na química atmosférica em, por exemplo, na formação de composto orgânicos voláteis e NO_x, sua influência na produção de ozônio na troposfera, além da influência na redução de emissões de CO₂, de HC não queimados, no efeito estufa potencial que motores desses veículos podem trazer.

Estudos^{5,6,7} associam a interação entre

consumo de combustível com as emissões veiculares e a sua influência na química atmosférica. O estudo aerodinâmico veicular e sua simulação computacional pode ser uma ferramenta interessante para potencializar esses estudos no que se refere à redução de consumo do objeto de estudo a ser selecionado, ou seja, o motor de combustão interna do tipo veicular.

Dentre as diversas ações para o melhoramento aerodinâmico pode-se citar proporções ótimas entre a largura e o raio das bordas do veículo³ e a instalação de saias e flaps⁸. Defletores de ar, também utilizados para esse melhoramento, são dispositivos instalados na parte superior da cabine próximo à carroceria. Assim, este trabalho teve como objetivo realizar um estudo sobre a aerodinâmica de um veículo comercial de carga, com especial foco na interação cabine-carroceria. Analisou-se, através da Fluidodinâmica Computacional (CFD, Computational Fluid Dynamic) a eficiência de dispositivos projetados para adequar essa interação a requisitos aerodinâmicos, no caso os defletores de ar. Entre os mais relevantes requisitos está à diminuição do coeficiente de arrasto, que tem fundamental contribuição no consumo de combustível do veículo. Os modelos foram simulados numericamente através do software ANSYS CFX. Simulações de veículos sem defletores foram realizadas juntamente com os mesmos com defletores para comparação. Foi aplicada uma metodologia analítica para o cálculo do impacto das reduções de arrasto no consumo de combustível.

2. Metodologia

2.1. Modelagem computacional

Para o estudo do escoamento em torno do veículo de carga comercial, foi utilizada uma aproximação isotérmica. As variações de temperaturas ocorridas através de geração de calor do motor e de elementos atritantes do veículo foram consideradas pequenas ou desprezíveis a ponto de modificar as propriedades de escoamento do ar. O escoamento analisado, apesar de possuir zonas de turbulência, efeito transiente, foi definido como um modelo que retrata a média temporal dessa turbulência para reduzi-lo ao regime permanente (não variante com o tempo).

Assumindo uma velocidade do som no ar de 340 m/s e sabendo que velocidades de cruzeiro de um veículo de carga não ultrapassam 200 km/h, tem-se um número de Mach máximo para o escoamento em torno de 0,16. Essa condição de baixa velocidade aliada à condição isotérmica do escoamento conduzirá a uma condição de incompressibilidade do ar que escoar. Para obtenção da solução das equações descritoras do escoamento estudado uma abordagem numérica foi adotada. O software ANSYS CFX foi utilizado para através do método dos volumes finitos, resolver as equações de continuidade e de Navier-Stokes, descritas nas equações 1-4:

$$\frac{\partial(\rho w)}{\partial t} + \text{div}(\rho w \vec{u}) = -\frac{\partial p}{\partial z} + \text{div}(\mu \text{grad } w) + S_{Mz} \quad (1)$$

$$\frac{\partial(\rho v)}{\partial t} + \text{div}(\rho v \vec{u}) = -\frac{\partial p}{\partial y} + \text{div}(\mu \text{grad } v) + S_{My} \quad (2)$$

$$\frac{\partial(\rho u)}{\partial t} + \text{div}(\rho u \vec{u}) = -\frac{\partial p}{\partial x} + \text{div}(\mu \text{grad } u) + S_{Mx} \quad (3)$$

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \text{div}(\rho \vec{u}) = 0 \quad (4)$$

onde ρ é a massa específica, p é pressão, t é tempo; x , y e z são, respectivamente, as três direções cartesianas; u , v e w são, respectivamente, as velocidades nas direções x , y e z ; \vec{u} é o vetor tridimensional de velocidade; μ é a viscosidade do fluido; S_{Mx} , S_{My} e S_{Mz} são os termos fontes de momento nas direções descritas em subscrito.

Na modelagem computacional, o “scheme” de interpolação utilizado foi o *high resolution*. Segundo o manual de uso do ANSYS CFX⁹ este é o indicado para obtenção de resultados finais.

Uma vez que a computação de escoamentos turbulentos, diretamente

através das equações de Navier-Stokes, exige um refinamento de malha não processável em tempo hábil pela maioria dos recursos computacionais atualmente disponíveis foi necessário utilizar uma modelagem para esse propósito. No presente trabalho o modelo de turbulência utilizado foi “sst k- ω ”. A ampla literatura aponta este modelo como mais adequado para situações em que o descolamento da camada limite é de suma relevância para o estudo, em especial para casos aerodinâmicos de veículos terrestres.^{9,10,11} Esse modelo exige a resolução de duas equações de transporte a mais: uma relativa à energia cinética turbulenta (k) e outra referente à frequência turbulenta (ω).

$$\frac{\partial(\rho k)}{\partial t} + \text{div}(\rho k \vec{u}) = \text{div}(\Gamma \text{grad } k) + S_k \quad (5)$$

$$\frac{\partial(\rho \omega)}{\partial t} + \text{div}(\rho \omega \vec{u}) = \text{div}(\Gamma \text{grad } \omega) + S_\omega \quad (6)$$

onde S_k e S_ω são os termos fontes de k e ω respectivamente e podem ter seus equacionamentos encontrados em.¹²

2.2. Caracterização das Geometrias

Caminhões classificados como semi-pesados foram os mais produzidos no Brasil em 2013.¹ A geometria escolhida para a presente análise foi definida a partir de desenhos e escalas presentes em diversos catálogos de veículos desta categoria. Desta forma, garante-se ampla aplicabilidade dos

resultados obtidos no presente estudo.

Através de software de Computer Aided Design (CAD) foram modeladas geometrias tridimensionais que apresentassem semelhanças em relação às características de um caminhão semi-pesado. A Figura 2 ilustra as geometrias utilizadas para o desenvolvimento deste trabalho. Assim o impacto da instalação do dispositivo foi analisado através de duas geometrias: uma sem contendo um defletor de ar (Figura 2a) e uma com um defletor de ar (Figura 2b).

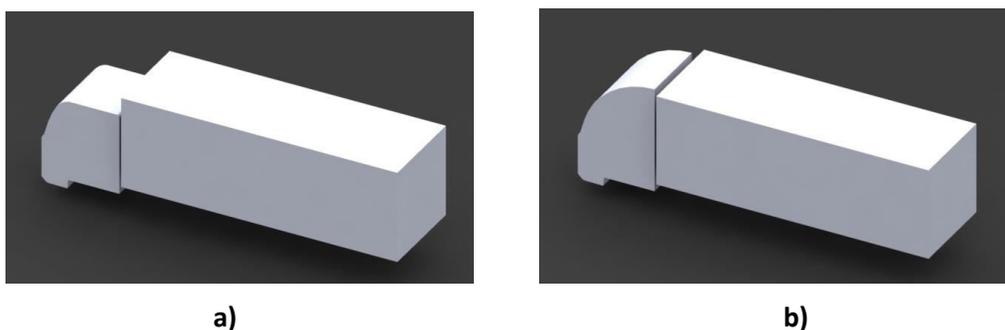


Figura 2. Desenho das geometrias: a) sem defletor; b) com defletor

Uma vez que o ar escoar ao redor do veículo, é necessária a criação de um domínio computacional que represente esta região. Computacionalmente não é viável representar a enorme dimensão de espaço existente para o ar escoar. Ribas¹¹ descreve trabalhos que indicam proporções ideais entre as dimensões do veículo e o tamanho do domínio computacional retangular (por

onde o ar escoará). Essas proporções estão descritas na Figura 3 e foram seguidas para o desenvolvimento desta pesquisa.

A Figura 4 ilustra os domínios criados para as duas geometrias que seguem as proporções indicadas na Figura 3. Apenas metade do domínio está sendo exibida para facilidade de visualização.

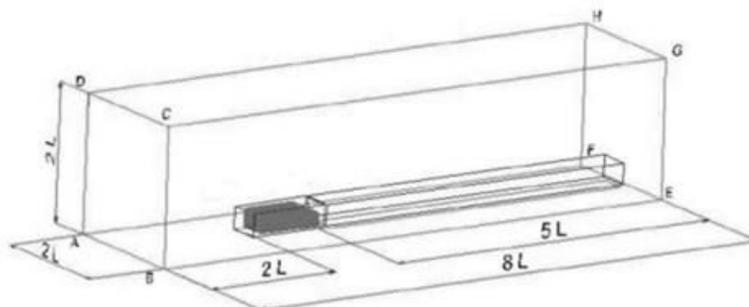
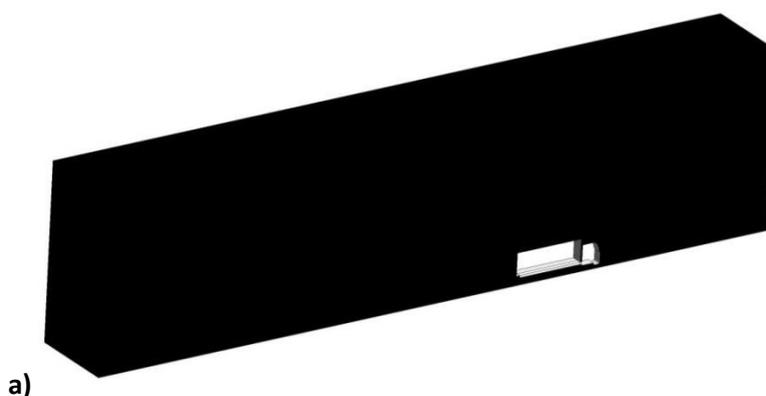
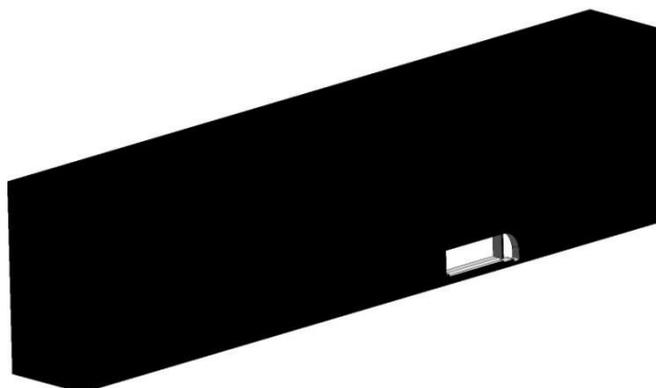


Figura 3. Proporções ideais para escoamento em torno de um corpo veicular⁷





b)

Figura 4. Domínio dos veículos: a) sem defletor; b) com defletor

As malhas geradas para a aplicação das equações de Navier-Stokes discretizadas foram então concebidas nos domínios exibidos. As Figuras 5 e 6 exibem detalhes das malhas geradas nas regiões próximas às paredes. É possível notar um refinamento para que o modelo computacional capture de

forma proveitosa a formação de camadas limite.

A Figura 7 exhibe um corte lateral das malhas criadas. Cada uma das malhas totalizou aproximadamente 5.600.000 elementos.

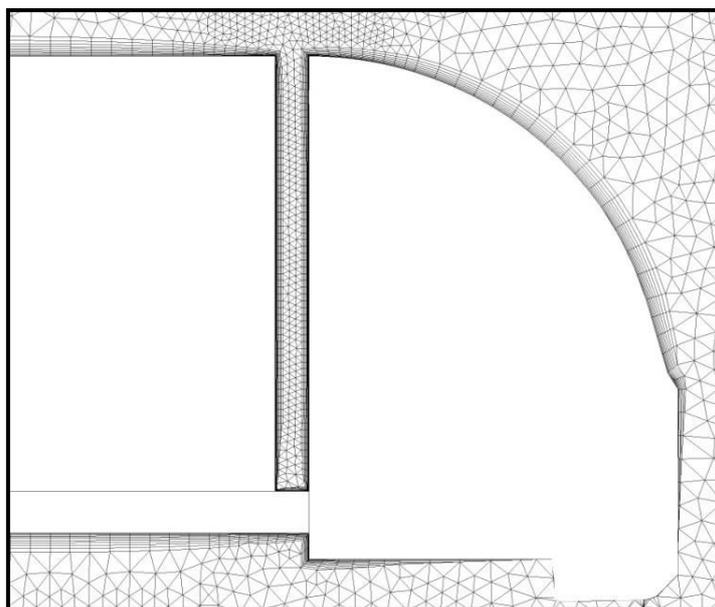


Figura 5. Malha refinada na interação cabine-carroceria com defletor

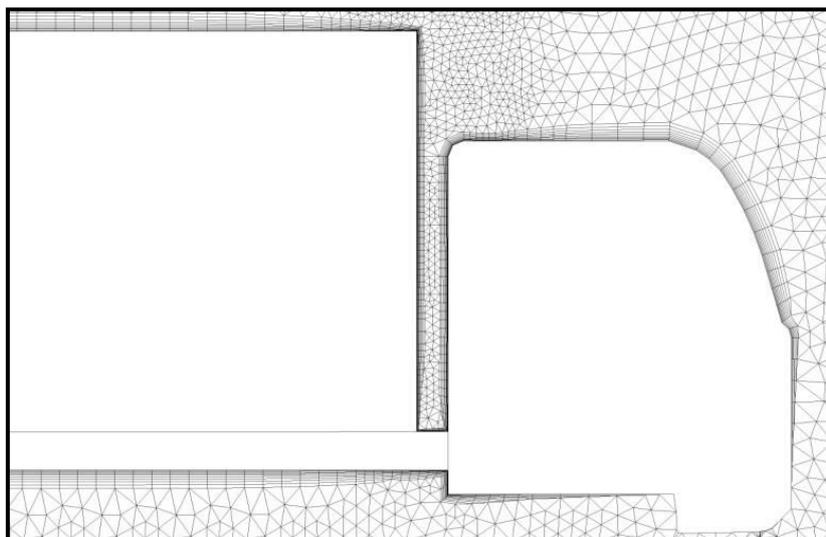


Figura 6. Malha refinada na interação cabine-carroceria sem defletor

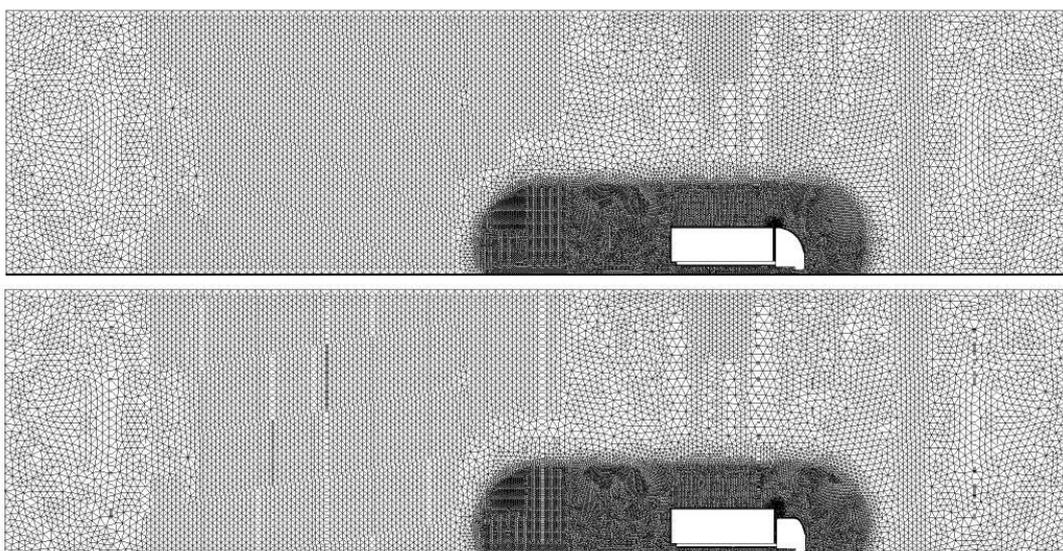


Figura 7. Malha gerada dos domínios

2.3. Condições de contorno

A Figura 8 ilustra as condições de contorno utilizadas para as simulações. Procurou-se simular o veículo mantendo-o parado e movimentando o ar a sua volta numa velocidade igual à velocidade de

tráfego. Na região denominada entrada utilizou-se a condição de contorno de velocidade constante igual a 80 km/h. As paredes que determinam o veículo são estacionárias. Desta forma, as velocidades relativas entre o veículo e o ar são coerentes com a realidade.

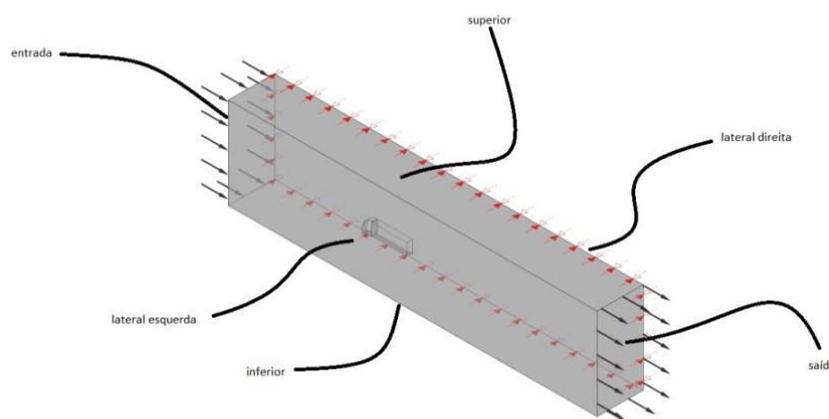


Figura 8. Condições de contorno utilizadas no domínio

A parede lateral direita foi definida com uma superfície simétrica. Isso é necessário uma vez que, no presente trabalho, se utiliza uma geometria que representa metade do domínio físico real. A região inferior do domínio (o que seria o solo num percurso real) foi definida como uma parede móvel movendo-se com a mesma velocidade do veículo. A condição estipulada para a superfície inferior resultará na velocidade relativa entre o ar e a superfície inferior nula em regiões à frente do caminhão, simulando a condição real no qual o ar está parado e o veículo em movimento.

Ambas as regiões superior e lateral esquerda foram modeladas como paredes sem condição de não deslizamento. Desta forma, o tamanho do domínio terá menor impacto sobre as forças resultantes no veículo.

A superfície de saída foi modelada tendo a pressão igual à pressão atmosférica. O comprimento do domínio resolve todos os efeitos da inserção do caminhão, validando esta condição. Todas estas condições foram definidas para a simulação tridimensional do veículo, replicando ao um caso real no ambiente e sendo modelado como incompressível e isotérmico.

3. Avaliação do consumo de combustível

O consumo de combustível B de um veículo (dado em litros por 100 km) pode ser computado através da equação 7.³

$$B = \frac{\frac{1}{\rho_{comb}} \int_{F_T > 0} b_e \left(\frac{F_T V}{\eta_D} + P_{b,a} \right) dt + \int_{F_T < 0} \dot{b}_b dt + \dot{b}_{V=0} t_{V=0}}{\int_0^T V dt} \quad (7)$$

onde b_e é o consumo específico de combustível [g/Kwh]; $P_{b,a}$ é a potência consumida por acessórios do veículo; \dot{b}_b e

$\dot{b}_{V=0}$ são as taxa de consumo de combustível durante a frenagem e com o veículo parado, respectivamente. Os termos $F_{T < 0}$, $F_{T > 0}$ e

$V=0$ fazem referência aos instantes de força trativa menor que zero, força trativa maior que zero e velocidade do veículo igual a zero, respectivamente.

O presente trabalho analisou o consumo de combustível para veículos de carga trafegando a velocidades constantes, utilizando um mesmo arranjo de transmissão, numa via nivelada (ortogonal à

gravidade local) e foram desconsideradas as parcelas de potência utilizadas por acessórios. Utilizando o subscrito C para o consumo de combustível para um veículo com defletor e o subscrito S para um veículo sem defletor, pôde-se calcular a redução relativa no consumo, como sugerido por Oliveira (2012)¹³, através da equação 8:

$$\frac{B_S - B_C}{B_S} = 1 - \left(\frac{D_C + R_C}{D_S + R_S} \right) \quad (8)$$

onde D é o arrasto aerodinâmico e R é a resistência à rolagem. O arrasto

aerodinâmico pôde ser calculado através da equação 9:

$$C_d = \frac{D}{\frac{1}{2} \rho V_\infty^2 A} \quad (9)$$

onde C_d é o coeficiente de arrasto, ρ é a densidade do fluido, V_∞ é a velocidade do veículo em relação ao ar e A é a área projetada frontal do veículo.

Através da simulação em CFD obtém-se o valor de D e, através da equação 9, encontra-se o C_d . Ferreira (2011)¹² mostra que, para geometrias semelhantes às deste estudo, o coeficiente de arrasto não varia significativamente para valores de Reynolds

maiores que 107. Assim, o coeficiente encontrado será, novamente através da equação 9 utilizado para encontrar os valores de força de arrasto (D) a diferentes velocidades (que resultem num número de Reynolds maior que 107).

A resistência à rolagem R de um veículo depende de sua massa m e de um coeficiente de resistência à rolagem f_r é definida pela equação 10:

$$R = f_r G \quad (10)$$

onde $G = mg$ é a força que o veículo exerce no solo devido a sua massa, sendo g a aceleração da gravidade.

Gillespie (1992)⁴ sugere para o cálculo de coeficientes de rolagem, para caminhões pesados utilizando pneus radiais rodando em superfícies suaves, a seguinte equação 11 encontrada experimentalmente:

$$f_r = 0,0041 + 0,00004 IV \quad (11)$$

onde V é a velocidade do veículo em milhas por hora.

Para o cálculo da resistência a rolagem (através da equação 10) foram tomadas massas entre 10 e 20 toneladas (compatíveis

com as permissões legais de tráfego de caminhões de dois eixos no Brasil).

A avaliação do campo de velocidade em torno dos veículos se deu através de uma variável adimensional, V_a , definida por:

$$V_a = \frac{V(x, y, z)}{V_\infty} \quad (12)$$

onde $V(x, y, z)$ é a velocidade num ponto (x, y, z) qualquer do domínio e V_∞ é a velocidade de escoamento livre.

4. Resultados e Discussão

As figuras 9 e 10 exibem os campos desta variável adimensional V_a para dois diferentes planos de secção.

A análise das Figuras 9 e 10 permitem a clara percepção da camada limite formada sobre cada uma das geometrias. Ambas permitem perceber que a camada limite do veículo sem defletor, tanto na região lateral quanto na região superior do veículo, são significativamente maiores do que quando comparadas à camada limite do veículo com defletor. Este é um primeiro indício de melhoramento aerodinâmico.

As figuras 11 e 12 exibem os campos de pressão em diferentes cortes para as geometrias simuladas.

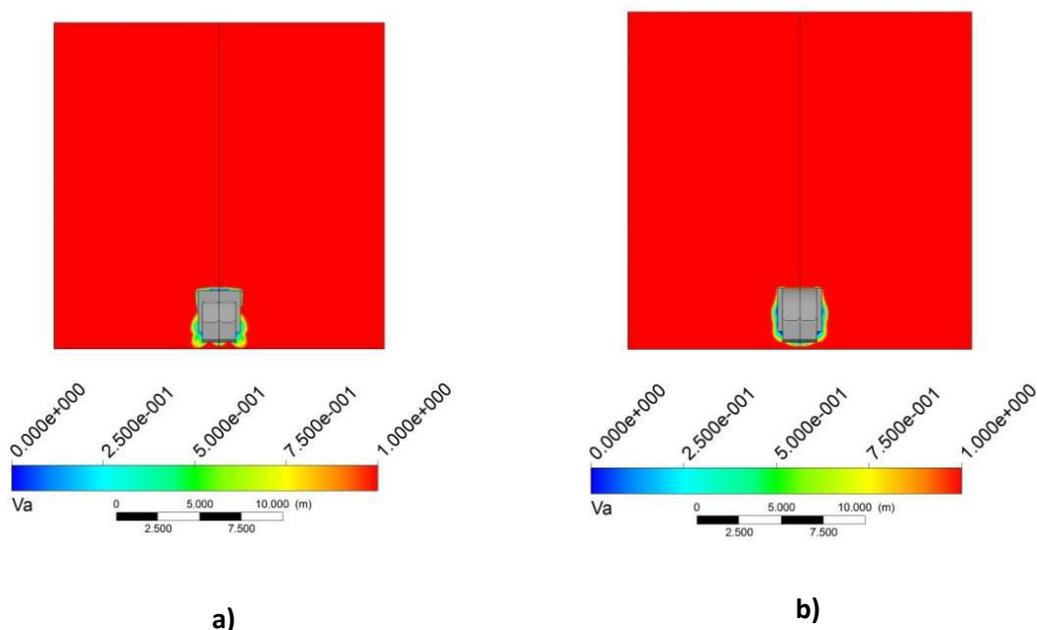


Figura 9. Campo de V_a no plano frontal: a) sem defletor; b) com defletor

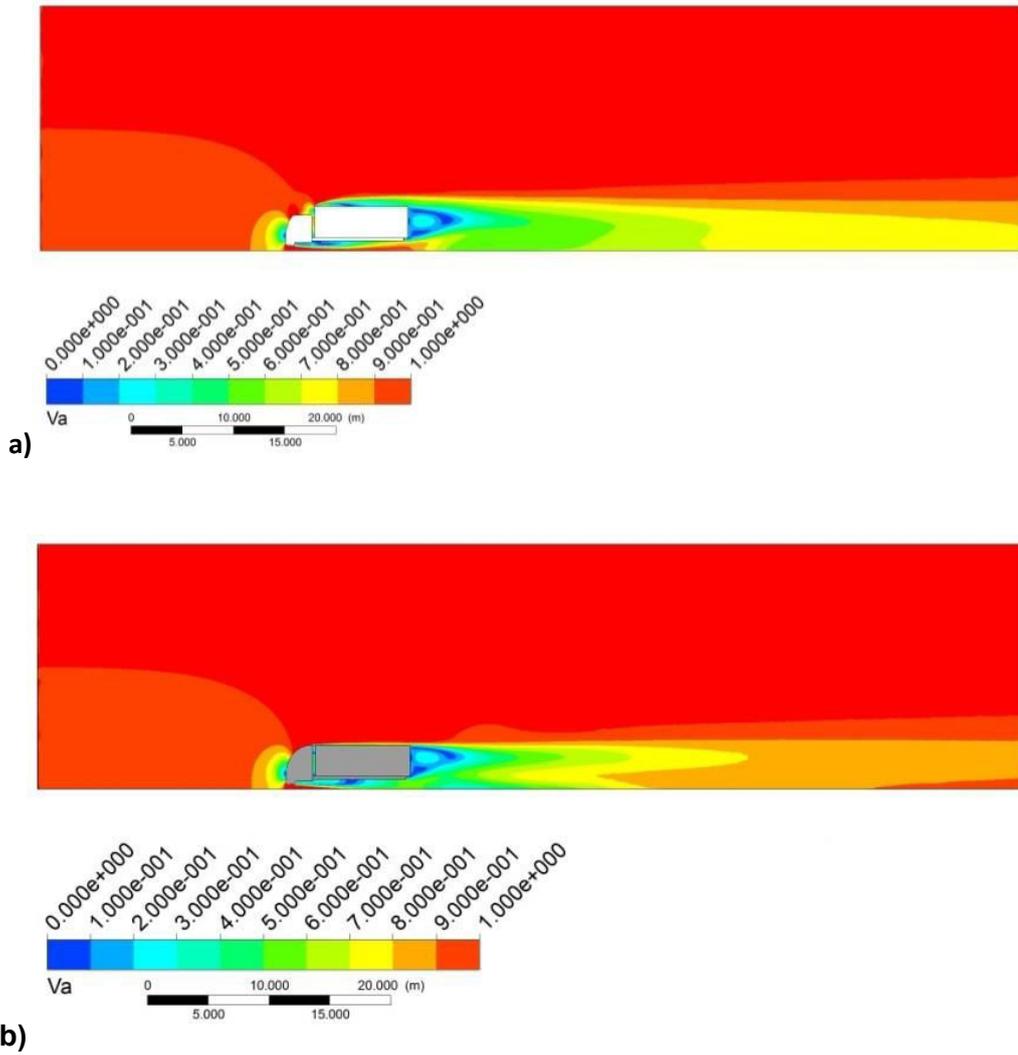


Figura 10. Intensidade dos campos de V_a : a) sem defletor; b) com defletor

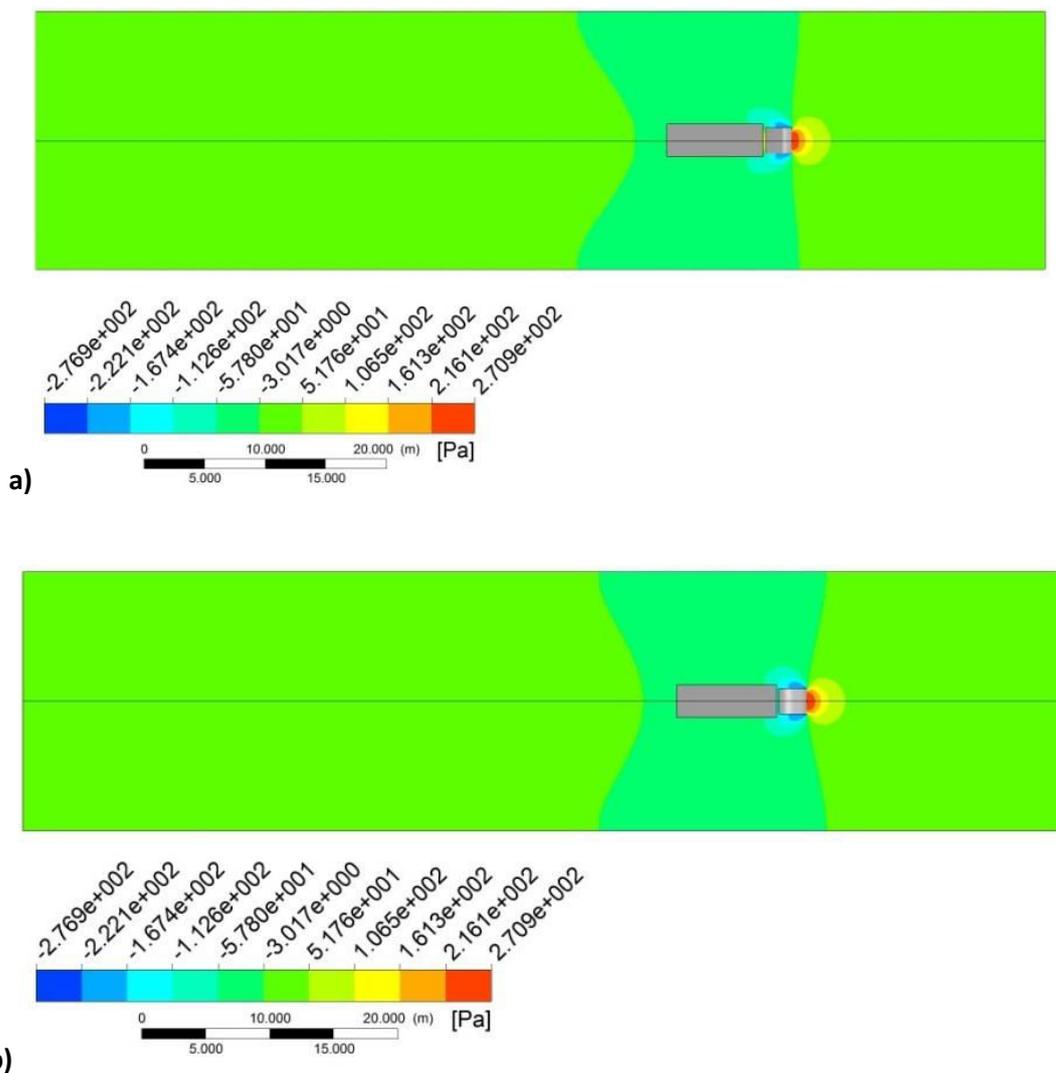


Figura 11. Intensidade do campo de pressão no plano superior: a) sem defletor; b) com defletor

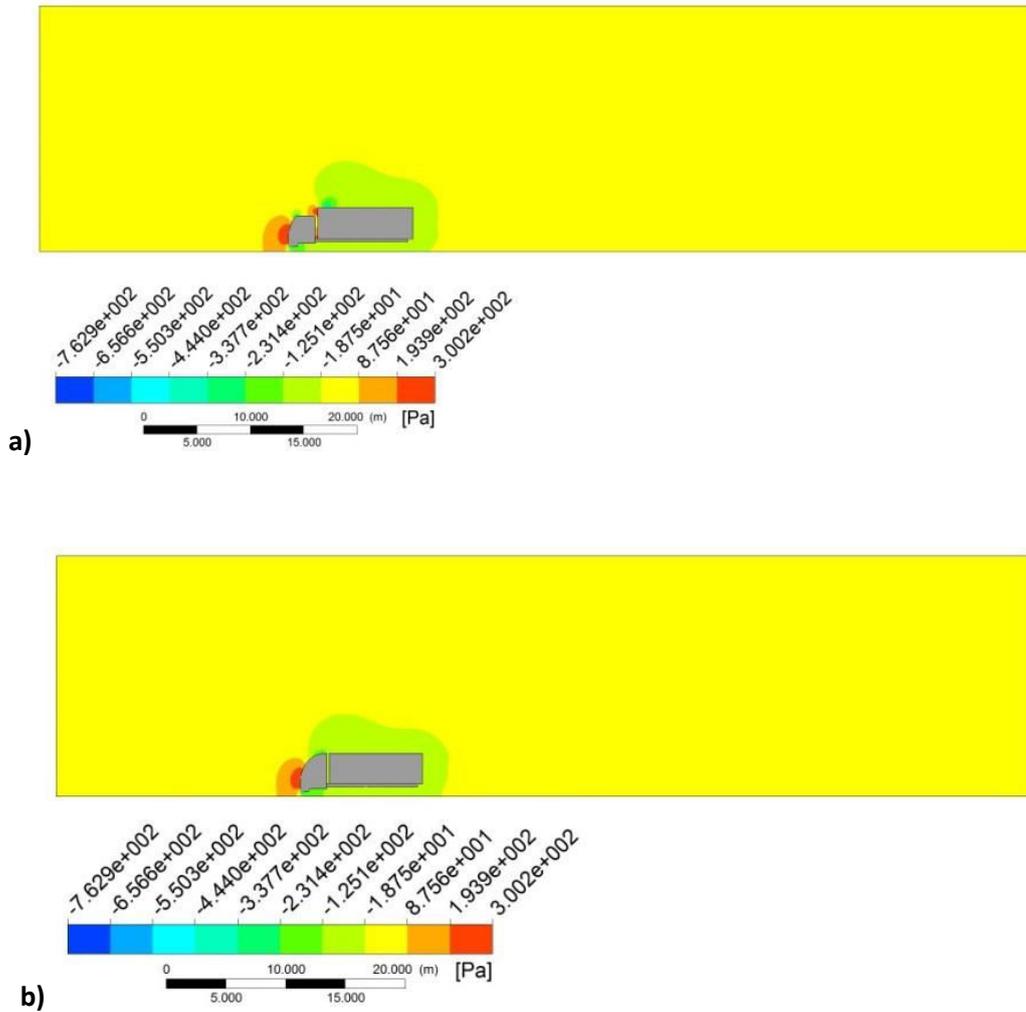


Figura 12. Intensidade do campo de pressão no plano lateral: a) sem defletor; b) com defletor

Apesar de em ambos os casos os valores máximos de pressão atingidos serem semelhantes há, no campo de pressão do veículo sem defletor, uma segunda região de alta pressão, logo acima da região da cabine (visível através da Figura 12a). Esta pressão, aplicada na parede do veículo, gerará uma força contrária ao movimento, intensificando o arrasto sobre o veículo. Com a presença do

defletor este segundo ponto de alta pressão (consequência de mais um ponto de estagnação) não existe.

A Tabela 1 exhibe os valores de força de arrasto (D) e coeficiente de arrasto (C_d) encontrados para a velocidade simulada (80 km/h).

Tabela 1. Resultados das forças e coeficientes de arrasto para os veículos simulados.

Veículo	Sem Defletor	Com Defletor
Fa (N)	799,9	511,27
C_d	0,338	0,216

Os valores contidos na Tabela 1 expressam a redução do arrasto consequente da presença do defletor de ar. Aplicando a metodologia descrita no item 3 deste documento é possível analisar a consequência da redução no coeficiente de arrasto no consumo de combustível. Isto pode ser feito para diversas velocidades e diversas cargas para o caminhão.

A Figura 13 exibe o comportamento da economia percentual de combustível em função da velocidade de tráfego para diversas cargas totais (veículo + carga útil), todas dentro dos limites estabelecidos por lei no Brasil. A dimensão característica utilizada para o cálculo do número de Reynolds foi o comprimento do veículo.

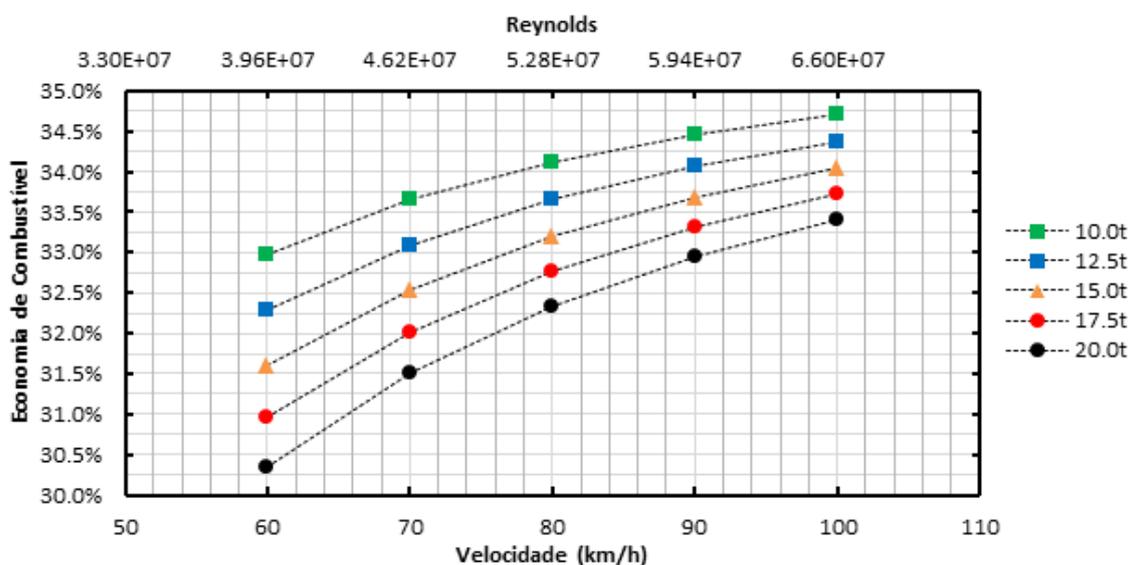


Figura 13. Gráfico de economia de combustível para diversas velocidades e cargas totais com o uso do Defletor

Nota-se que as reduções de combustível são maiores para menores cargas totais. Esse resultado era esperado uma vez que para menores cargas o arrasto tem papel mais significativo entre as forças totais de resistência ao movimento. Mesmo para cargas altas as possíveis reduções de consumo de combustível são bastante significativas, justificando o uso adequado de defletores de ar.

5. Conclusão

Foi comprovada a eficácia do uso de defletores de ar para a redução do consumo de combustível de veículos rodoviários de

carga. Num país que possui o transporte rodoviário como principal forma de escoamento de produtos, pequenas reduções percentuais de consumo de combustível podem representar ganhos brutos enormes.

Mostrou-se que, para um mesmo defletor de ar, sua eficácia em reduzir o consumo de combustível depende da velocidade de tráfego e da carga total do veículo.

Apesar da eficácia os defletores na região entre a cabine e a carroceria do veículo, diversos outros dispositivos, que busquem adequar o escoamento em outras regiões do veículo, podem contribuir para que, em conjunto, apresentem resultados ainda mais significativos. Assim, estudos sobre aerodinâmica veicular focando seus impactos

na redução de consumo de combustível devem continuar sendo desenvolvidos até que grande parte das possibilidades de melhoria já estejam esgotadas.

O trabalho identificou, através de simulações em CFD, que o uso de defletores propicia reduções de combustível entre 30,2% e 34,7%, a depender da velocidade de tráfego e da carga total do veículo. Essa redução de combustível é devida a uma redução em 36,1% dos coeficientes de arrasto. Literatura que analisa experimentalmente tais geometrias³ encontra para defletores da espécie dos tratados neste trabalho reduções de até 34,1% no arrasto, explicitando congruência entre as simulações realizadas e dados experimentais colhidos.

Referências Bibliográficas

- ¹ CNT – Confederação Nacional do Transporte. *Boletim Estatístico CNT*. [S.1.], 2013. [\[Link\]](#)
- ² CETESB, Relatório do Ar 2010, São Paulo, 2010. [\[Link\]](#)
- ³ Hucho, W. F.; *Aerodynamics of Road Vehicles*. Warrendale: SAE International, 1998. [\[Link\]](#)
- ⁴ Gillespie, T. D. ; *Fundamentals of Vehicle Dynamics*. Michigan: SAE International, 1992. [\[CrossRef\]](#)
- ⁵ Guarieiro, L. L. N.; Vasconcellos, P. C.; Solci, M. C. Poluentes Atmosféricos Provenientes da Queima de Combustíveis Fósseis e Biocombustíveis: Uma Breve Revisão. *Revista Virtual de Química* **2011**, 3, 434. [\[CrossRef\]](#)
- ⁶ Sovran, G. Tractive energy based formula for the impact of aerodynamics on fuel economy over the EPA Driving Schedules, Warrendale. *SAE Paper No 830304*, SAE, 1983. [\[CrossRef\]](#)
- ⁷ Marr, L. C., Kirchstetter, T. W., Harley, R. A. Characterization of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Motor Vehicle Fuels and Exhaust Emissions. *Environmental Science & Technology* **1999**, 33, 3091. [\[CrossRef\]](#)
- ⁸ Ortega, J. M.; Salari, K. An experimental study of drag reduction devices for a trailer underbody and base. *34th AIAA Fluid Dynamics Conference*, 2004. [\[CrossRef\]](#)
- ⁹ Ansys inc. Ansys cfx – Solver Theory Guide. [S.1.], 2009.
- ¹⁰ Korkishko, I.; Meneghini, J. R.; Experimental Investigation and Numerical Simulation of the Flow Around an Automotive Model: Ahmed Body. *19th International Congress of Mechanical Engineering*, 2007. [\[Link\]](#)
- ¹¹ Ribas, D. M.; *Dissertação de Mestrado*, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2008. [\[Link\]](#)
- ¹² Ferreira, T. A.; *Dissertação de Mestrado*, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2011. [\[Link\]](#)
- ¹³ Oliveira, T. D. Análise de Desempenho Aerodinâmico de Defletores de ar para Veículos de Carga Rodoviário Via CFD. *CONEM 2012*, São Luís. [\[Link\]](#)