

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATATINA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIAS DA MOBILIDADE
ENGENHARIA AUTOMOTIVA

Análise numérica do campo de escoamento externo na geometria de referência Ahmed para aplicações automotivas

Relatório parcial de atividades

Programa Institucional de Bolsas de Iniciação em Pesquisa Científica
PIBIC/CNPq – PIBIC-Af/CNPq – BIPI/UFSC
2015/2016

Aluno:

Saulo Leonardo Rocha
LCCP / CEM / UFSC
Campus Joinville

Joinville, SC – Maio de 2016

Sumario.

1. Introdução.....	3
2. Atividades realizadas até Abril de 2016.	3
2.1. Atividade #1 Revisão bibliográfica	3
2.2. Atividade #2 Geração da geometria de referencia "Ahmed" com variações de parâmetros geométricos.....	3
2.3. Atividade #3 Geração de malha computacional em cada uma das geometrias geradas no item 2.2	5
2.4. Atividade #4 Estudo de independência de tamanho de malha dos resultados.....	5
2.5. Atividade #5 Simulações numéricas usando diferentes modelos de turbulência.....	6
2.6. Atividade #6 Comparação com dados experimentais disponíveis na literatura	9
2.7. Atividade #7 Aperfeiçoamento / refino das simulações numéricas.....	12
2.8. Atividade #7 Redação de artigo para revista/congresso	12
2.9. Atividade #9 Relatório final	12
3. Referências bibliográficas	12

Lista de figuras

Figura 1. Geometria padrão de testes Ahmed com indicando as possíveis dimensões que podem ser variadas para a análise do campo de escoamento desta proposta. (Fonte: Autor).....	4
Figura 2. Geometria do corpo de referência de Ahmed (uma das 10 geometrias geradas em CAD neste trabalho – Fonte: Autor)	4
Figura 3. Refinamento local da malha na parte traseira do veiculo. (Fonte: Autor).....	5
Figura 4. Refinamento global da malha conforme se aproxima da geometria de interesse. (Fonte: Autor)	6
Figura 5. Dissipação de energia cinética turbulenta em contorno de iso-velocidad, para o caso de $\varphi = 20^\circ$ (Fonte: Autor)	7
Figura 6. Dissipação de energia cinética turbulenta em contorno de iso-velocidade (outro plano de visualização), para o caso de $\varphi = 20^\circ$ (Fonte: Autor).....	7
Figura 7. Dissipação de energia cinética turbulenta em contorno de iso-velocidad, para o caso de $\varphi = 35^\circ$ (Fonte: Autor)	8
Figura 8. Dissipação de energia cinética turbulenta em contorno de iso-velocidade (outro plano de visualização), para o caso de $\varphi = 35^\circ$ (Fonte: Autor).....	8
Figura 9. Coeficiente de arrasto – Corpo de referencia de Ahmed (Fonte: Hucho 1998).....	9
Figura 10. Coeficiente de arrasto vrs angulo de inclinação da superfície traseira do corpo de referência de Ahmed (Fonte: Autor)	9
Figura 11. Contornos de velocidade no plano de simetria, $\varphi = 20^\circ$ (Fonte: Autor)	10
Figura 12. Contornos de pressão no plano de simetria, $\varphi = 20^\circ$ (Fonte: Autor).....	10
Figura 13. Contornos de velocidade no plano de simetria, $\varphi = 35^\circ$ (Fonte: Autor)	11
Figura 14. Contornos de pressão no plano de simetria, $\varphi = 35^\circ$ (Fonte: Autor).....	11

1. Introdução

Sabemos que hoje são desenvolvidos pelas montadoras e estão disponíveis no mercado existem diversos tipos de veículos, muitas vezes sendo classificados de acordo com sua carroceria podendo ser um hatch, sedan ou station wagon, entre outros modelos. O estudo dessas geometrias externas do veículo é fundamental para entender o escoamento de ar ao redor do mesmo, que possui grande influencia sobre o comportamento e desempenho do veículo.

Conduzir um estudo que busque entender e aperfeiçoar cada uma dessas geometrias e considerando as particularidades entre um modelo e outro, iria gerar um trabalho com um escopo muito abrangente e pouco aprofundado. Por isso se opta trabalhar com uma geometria simplificada que pode ser usada para representar de maneira aproximada o comportamento do escoamento do ar, a geometria escolhida foi o Ahmed body devido à ampla disponibilidade de dados disponíveis em artigos e livros para auxiliar ao processo de validação dos resultados

Este relatório parcial mostra algumas das atividades realizadas até o momento, seguindo o cronograma de atividades proposto, da seguinte forma:

- Atividade #1 Revisão bibliográfica
- Atividade #2 Geração da geometria de referencia "Ahmed" com variações de parâmetros geométricos
- Atividade #3 Geração de malha computacional em cada uma das geometrias geradas no item 3.1
- Atividade #4 Estudo de independência de tamanho de malha dos resultados
- Atividade #5 Simulações numéricas usando diferentes modelos de turbulência
- Atividade #6 Comparação com dados experimentais disponíveis na literatura.
- Atividade #7 Aperfeiçoamento / refino das simulações numéricas
- Atividade #8 Redação de artigo para revista/congresso
- Atividade #9 Relatório final

A seguir é feita uma descrição simples de cada uma destas atividades.

2. Atividades realizadas até Abril de 2016.

2.1. Atividade #1 Revisão bibliográfica

Diversas bibliografias foram revisadas e analisadas, a maioria delas sendo artigos científicos com o foco central em aerodinâmica de veículos de estrada, assim como a literatura disponível em simulações e testes experimentais em campos de escoamento ao redor do corpo de Ahmed. A base de dados principalmente consultada foi PERIODICOS CAPES. Vários livros também têm sido consultados na área de aerodinâmica, assim como artigos científicos em modelos de turbulência. O manual do programa ANSYS-FLUENT também foi consultado, assim como fóruns e blogs on-line associados a temas de simulação numérica em CFD.

Desta forma, esta etapa do projeto deixou uma base de dados organizada e disponível para consulta em aerodinâmica veicular e modelagem numérica.

2.2. Atividade #2 Geração da geometria de referencia "Ahmed" com variações de parâmetros geométricos

A Figura 1 mostra a geometria padrão de estes (Ahmed body) indicando os possíveis parâmetros geométricos a serem variados para a análise do campo de escoamento ao redor do corpo.

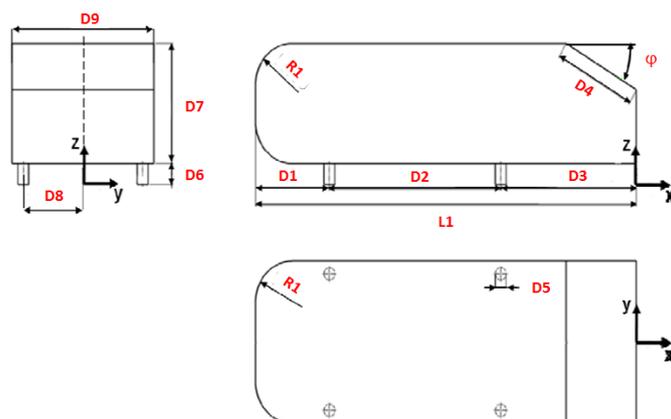


Figura 1. Geometria padrão de testes Ahmed com indicando as possíveis dimensões que podem ser variadas para a análise do campo de escoamento desta proposta. (Fonte: Autor)

Observa-se que são sete comprimentos (D1, D2, D3, D6, D7, D8 e D9), um raio (R1), um diâmetro (D5) e um ângulo de inclinação (φ). Para efeitos de validação usando dados experimentais, o principal parâmetro a ser variado é o ângulo de inclinação da superfície traseira inclinada (φ).

Neste projeto de pesquisa, o do ângulo de inclinação foi variado numa faixa entre $0^\circ < \varphi < 90^\circ$ da seguinte forma: $\varphi = 5^\circ, 15^\circ, 20^\circ, 25^\circ, 30^\circ, 35^\circ, 40^\circ, 50^\circ, 70^\circ$ e 85° . Desta forma, 10 geometrias foram criadas.

Primeiramente a modelagem de 3D em software CAD foi realizada, obedecendo às dimensões e orientações especificadas na metodologia do Ahmed body, no total foram geradas dez modelos cada uma contendo o parâmetro de acordo o que foi proposto, o modelo pode ser visto na Figura 2.

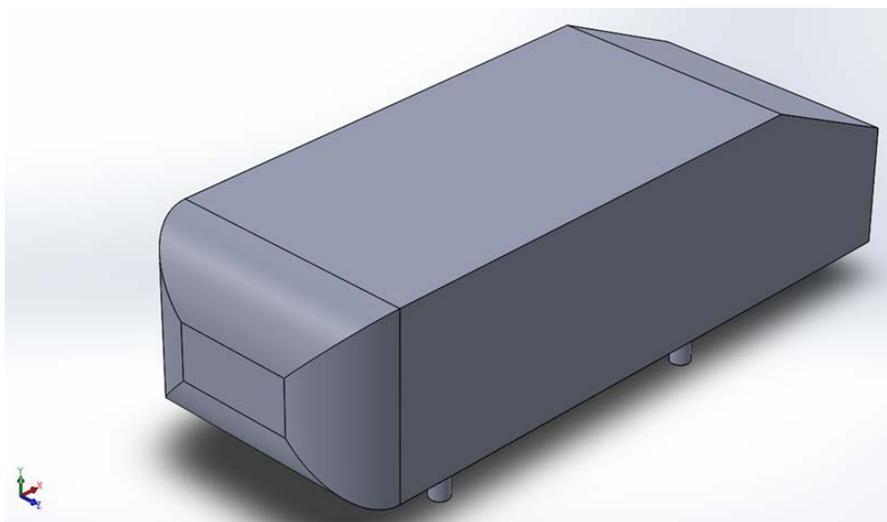


Figura 2. Geometria do corpo de referência de Ahmed (uma das 10 geometrias geradas em CAD neste trabalho – Fonte: Autor)

A variação de apenas um parâmetro é uma técnica muito importante, pois revela de maneira isolada a sua influencia sobre o comportamento global do sistema, no caso do escoamento do ar sob o veículo. À medida que possuímos a resposta do sistema à variação de um de seus parâmetros é possível adicionar novas alterações e comparar sua interação.

2.3. Atividade #3 Geração de malha computacional em cada uma das geometrias geradas no item 2.2

Utilizando as geometrias geradas com a variação do ângulo de inclinação da superfície traseira, foi feito um processo de geração de malha computacional, de forma sistemática, variando parâmetros de geração de malha (tamanho da discretização, razão de aspecto, etc.). Para a geração de malha o software ANSYS-FLUENT tem duas ferramentas: ICEM-CFD e FLUENTMESH. Nesta proposta de pesquisa será utilizado o ICEM-CFD. Esta etapa é importante, pois é aqui aonde é definido o tamanho do “túnel de vento virtual” que será utilizado nas simulações.

O layout da Malha é composto por diversos volumes de controle que conforme se aproximam da região de interesse, contém elementos com menores dimensões, esse comportamento pode ser observado na Figura 3 e Figura 4. O elemento de malha tetraédrica, que na dimensão final escolhida pelo estudo, resultou por volta de 10 milhões de elementos.

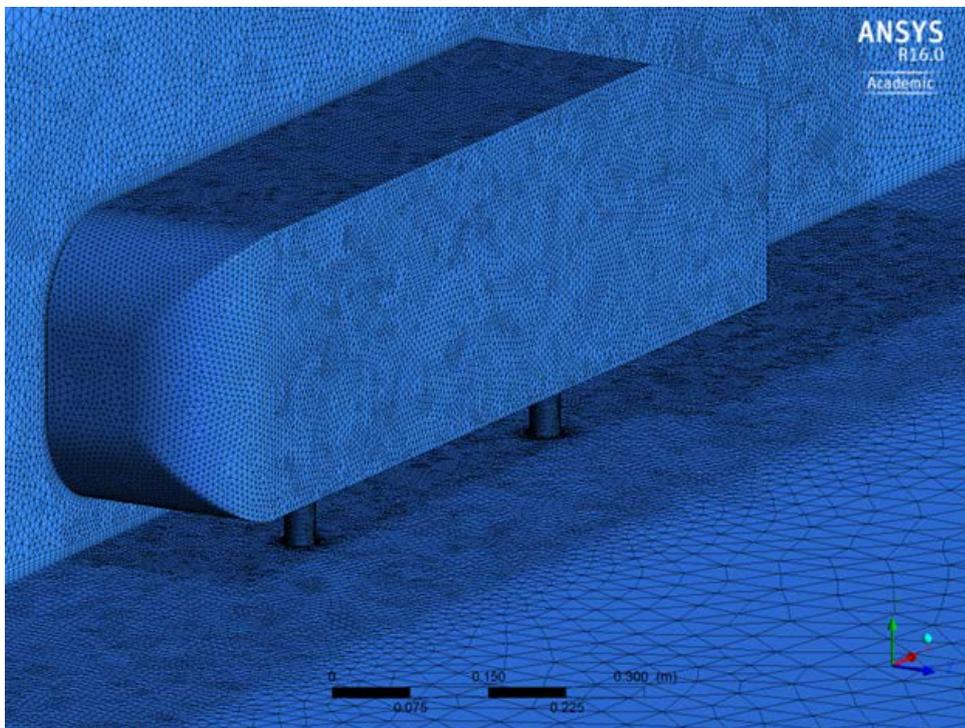


Figura 3. Refinamento local da malha na parte traseira do veículo. (Fonte: Autor)

2.4. Atividade #4 Estudo de independência de tamanho de malha dos resultados

A variação dos parâmetros da malha conforme citado é fundamental, pois ela faz parte do estudo de independência de malha ou estudo de convergência de malha, pratica comum em simulações numéricas. Fundamental para estudos acadêmicos ou situações aonde se busca minimizar os erros da simulação associados á discretização da geometria do problema, que depende apenas da maneira de como foi conduzido o estudo da malha.

O estudo de independência de malha foi dirigido através de um processo interativo que promove o refinamento da malha, reduzindo o tamanho de seus elementos em uma escala de 0.67 , até o ponto em que a variação entre os resultados obtidos permaneça abaixo de um valor esperado, que no caso foi definido em 5%, esse teste foi repetido para duas geometrias aonde se espera um comportamento diferente do escoamento, no ponto de $\phi = 20^\circ$ e 35° .

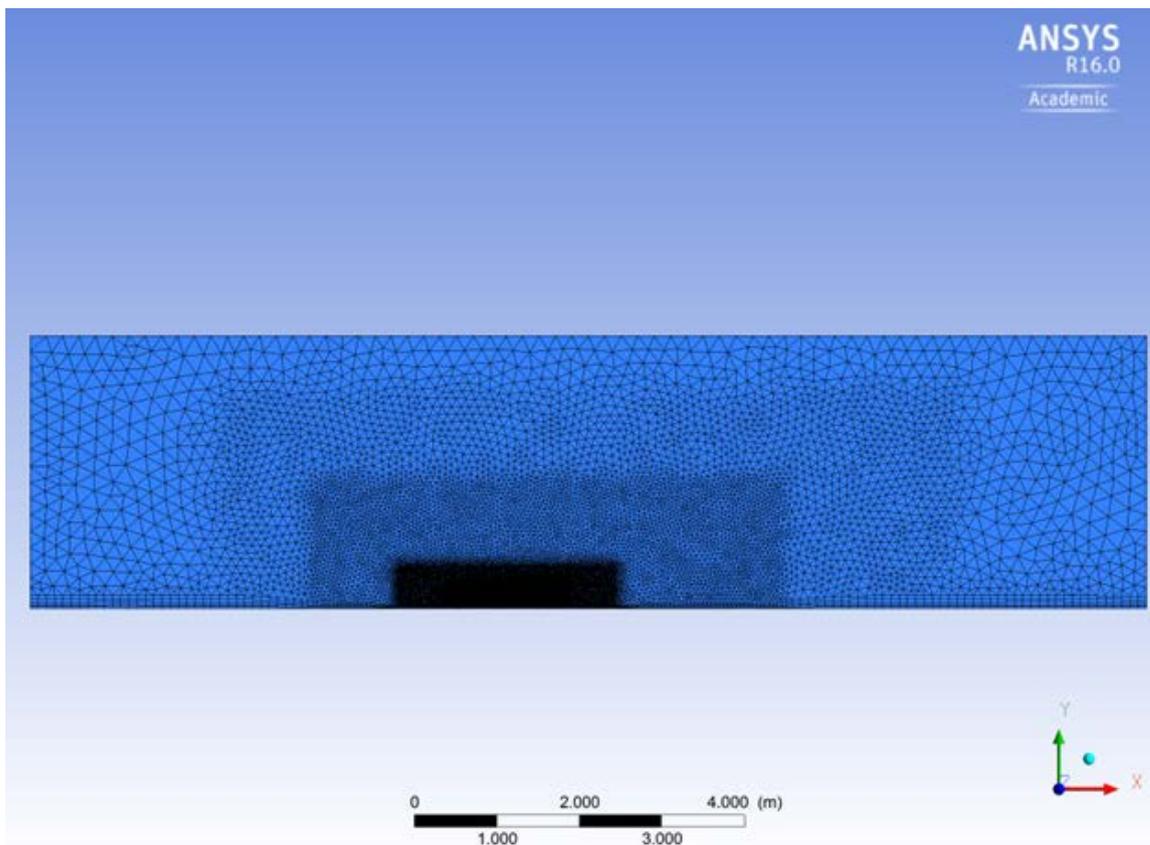


Figura 4. Refinamento global da malha conforme se aproxima da geometria de interesse. (Fonte: Autor)

2.5. Atividade #5 Simulações numéricas usando diferentes modelos de turbulência

O túnel de vento rebe ar a pressão atmosférica, com uma velocidade de 40m/s e uma turbulência de 5%, essa taxa de turbulência representa um escoamento desenvolvido situação que é encontrada em casos reais, o ar sai pelo final do túnel de vento a uma pressão atmosférica. Para evitar interferência devido ao desenvolvimento da camada limite, problema comumente encontrado em túneis de vento reais no chão foi definida a condição de contorno aonde ele se move na mesma velocidade e sentido que o ar.

O modelo de turbulência usado foi o k- ϵ , devido a sua boa capacidade de resolver escoamentos altamente turbulentos e robustez na convergência. Outras alterações significativas foram os fatores de relaxamento que devem ser escolhidos de maneira com que as interações sejam mais curtas, porém que não impossibilitem a convergência, que foi definida no ponto em que os erros e residuais se permanecessem abaixo de 0,001.

A Figura 5, Figura 6, Figura 7 e Figura 8, mostram os contornos de dissipação de energia cinética turbulenta em duas das configurações de inclinação da superfície traseira inclinada no corpo de Ahmed ($\phi = 20^\circ$ e 35°), numericamente a modelagem conseguiu mostrar a presença de uma zona de recirculação na superfície inclinada (para $\phi = 35^\circ$, veja Figura 8). A presença de esta zona de recirculação é importante, pois é justamente aquela a que gera a modificação do campo de escoamento (pressões e velocidades) que gera a variação abrupta no coeficiente de arrasto total do corpo de Ahmed. Adicionalmente, dados experimentais obtidos em túneis de vento apontam uma faixa do ângulo de inclinação $28^\circ < \phi < 34^\circ$ como sendo uma zona de instabilidade, vide Figura 9.

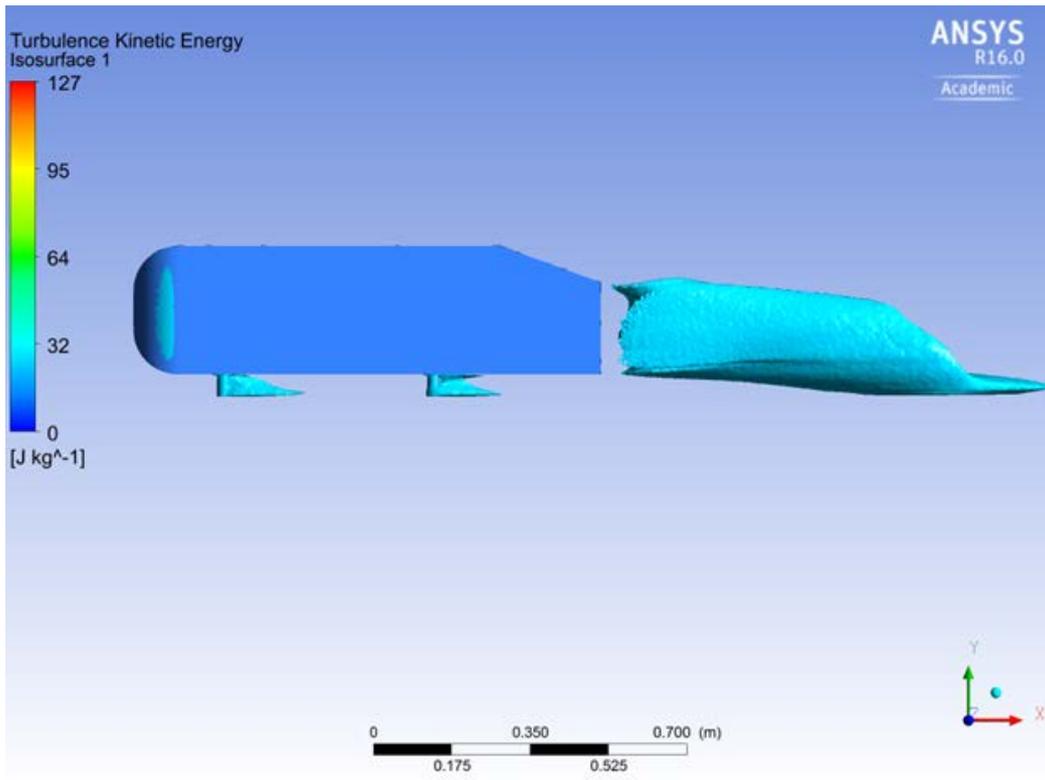


Figura 5. Dissipação de energia cinética turbulenta em contorno de iso-velocidade, para o caso de $\phi = 20^\circ$ (Fonte: Autor)

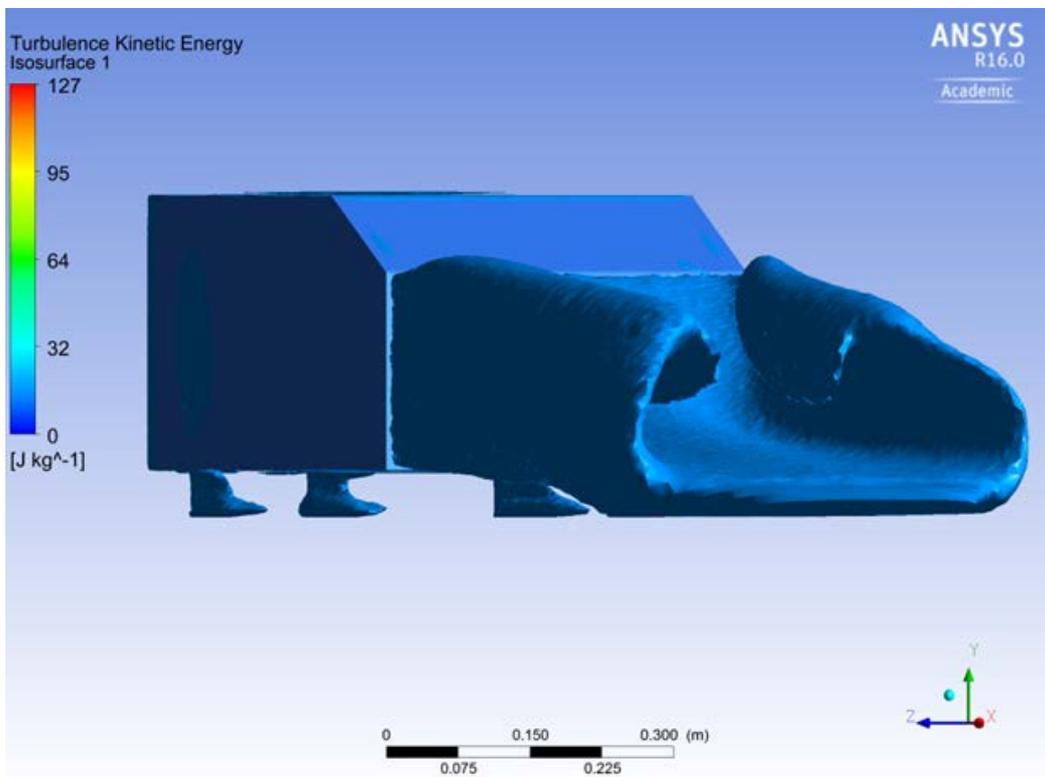


Figura 6. Dissipação de energia cinética turbulenta em contorno de iso-velocidade (outro plano de visualização), para o caso de $\phi = 20^\circ$ (Fonte: Autor)

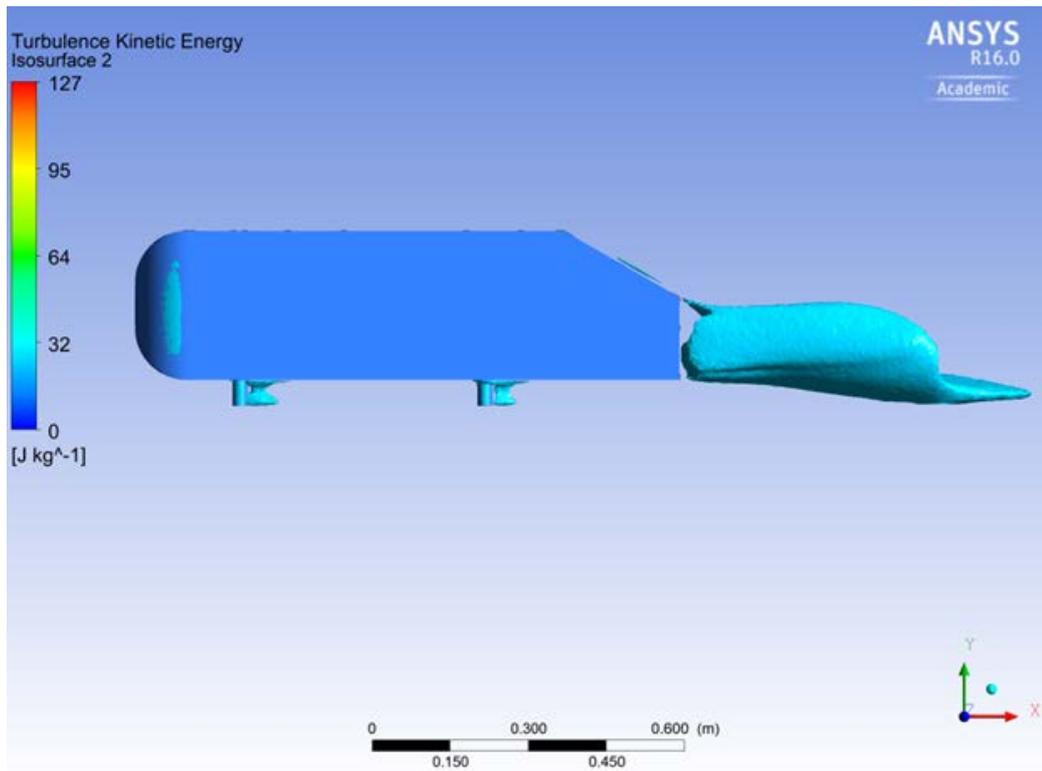


Figura 7. Dissipação de energia cinética turbulenta em contorno de iso-velocidade, para o caso de $\phi = 35^\circ$ (Fonte: Autor)

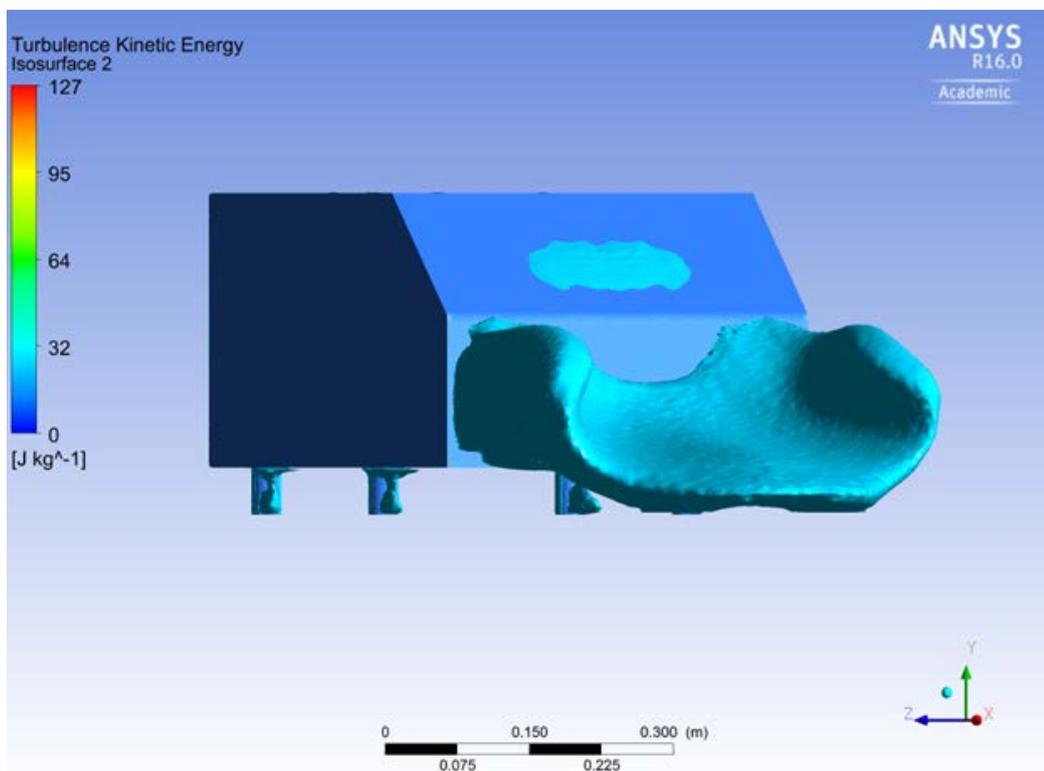


Figura 8. Dissipação de energia cinética turbulenta em contorno de iso-velocidade (outro plano de visualização), para o caso de $\phi = 35^\circ$ (Fonte: Autor)

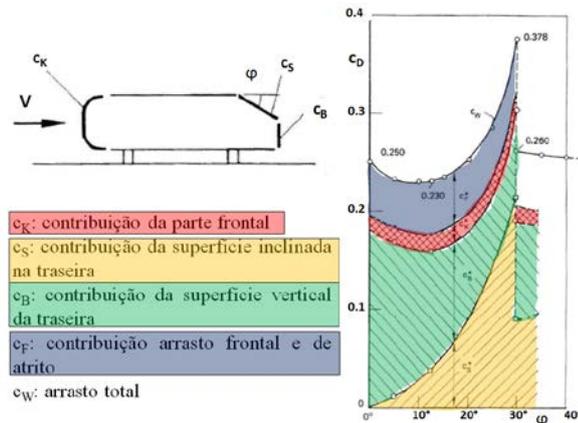


Figura 9. Coeficiente de arrasto – Corpo de referencia de Ahmed (Fonte: Hucho 1998)

2.6. Atividade #6 Comparação com dados experimentais disponíveis na literatura

Os resultados de acordo com o esperado não foram exatamente idênticos aos obtidos experimentalmente, porém através dos resultados obtidos até então na região considerada mais importante do caso, encontrada entre $\varphi = 20^\circ$ e 35° , foi possível observar a mesma tendência nas duas curvas, a fornecida por experimentos em túneis de vento e encontradas no Hucho e a obtida no trabalho, conforme mostrada na Figura 10. A Figura 9 (Hucho, 1998) mostra dados experimentais de arrasto total e parcelas de contribuição de arrasto das diferentes componentes da superfície da geometria padrão de testes Ahmed, em função do ângulo da inclinação (φ) da superfície traseira inclinada.

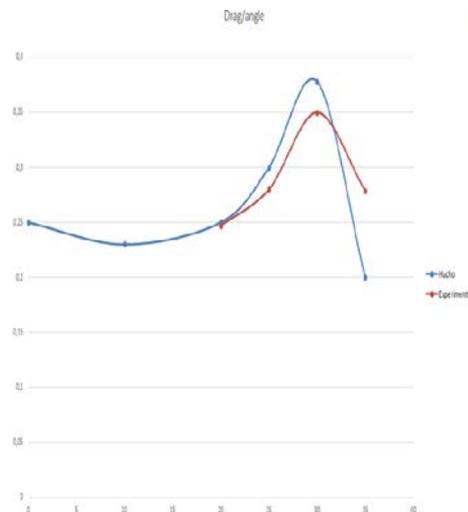


Figura 10. Coeficiente de arrasto vrs ângulo de inclinação da superfície traseira do corpo de referência de Ahmed (Fonte: Autor)

Observe-se a variação abrupta da parcela de contribuição de do coeficiente de arrasto quando o ângulo de inclinação (φ) é de $\sim 30^\circ$. Fluidodinamicamente, esta variação abrupta do coeficiente de arrasto origina-se pela mudança do campo de escoamento e intensidade energética dos vórtices formados na “coluna C” do automóvel (Hucho, 1998, Barnard, 2009). Adicionalmente, dados experimentais obtidos em túneis de vento apontam uma faixa do ângulo de inclinação $28^\circ < \varphi < 34^\circ$ como sendo uma zona de instabilidade. O comportamento de formação de vortex no descolamento do escoamento na parte de trás do veículo é algo bem relatado em todos os estudos sobre o assunto na academia mostrando que as simulações estão representando de maneira adequada o fenômeno. Informações adicionais podem ser obtidas através dos da pressão e velocidade do escoamento, retratados nas figuras: Figura 11, Figura 12, Figura 13, e Figura 14.

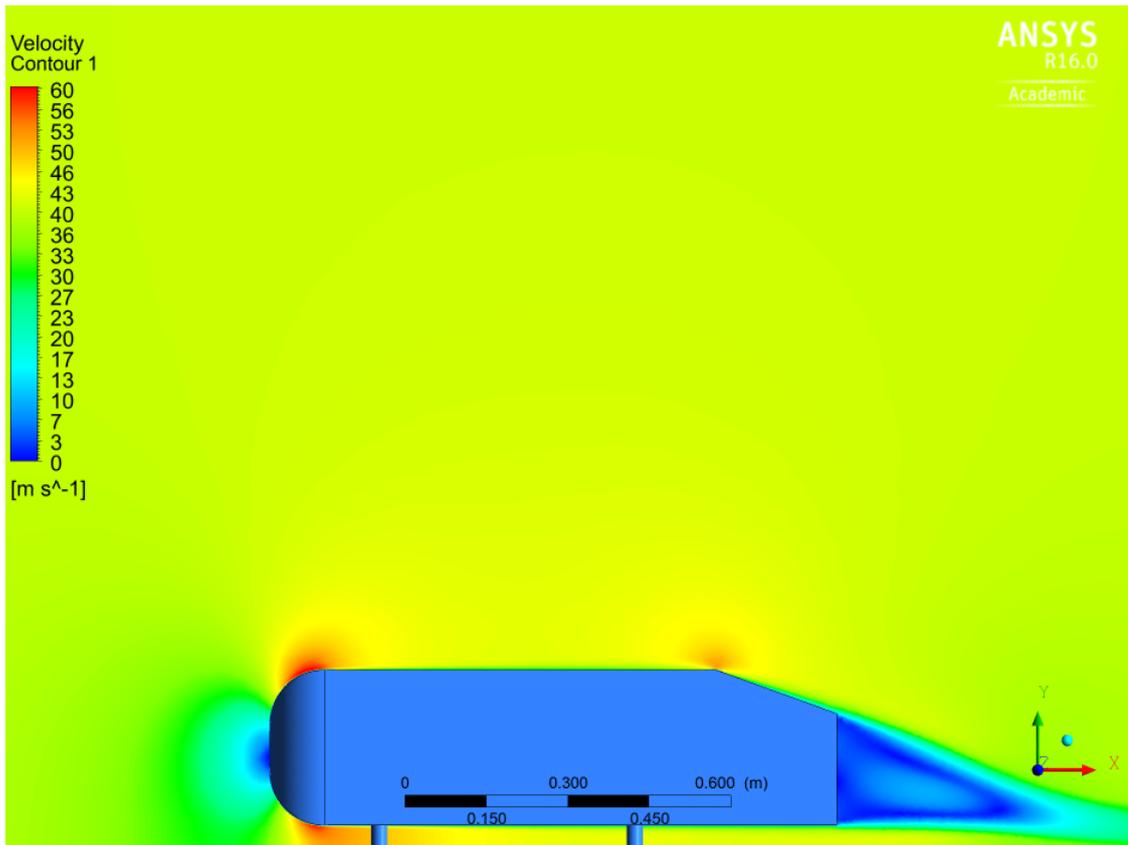


Figura 11. Contornos de velocidade no plano de simetria, $\phi = 20^\circ$ (Fonte: Autor)

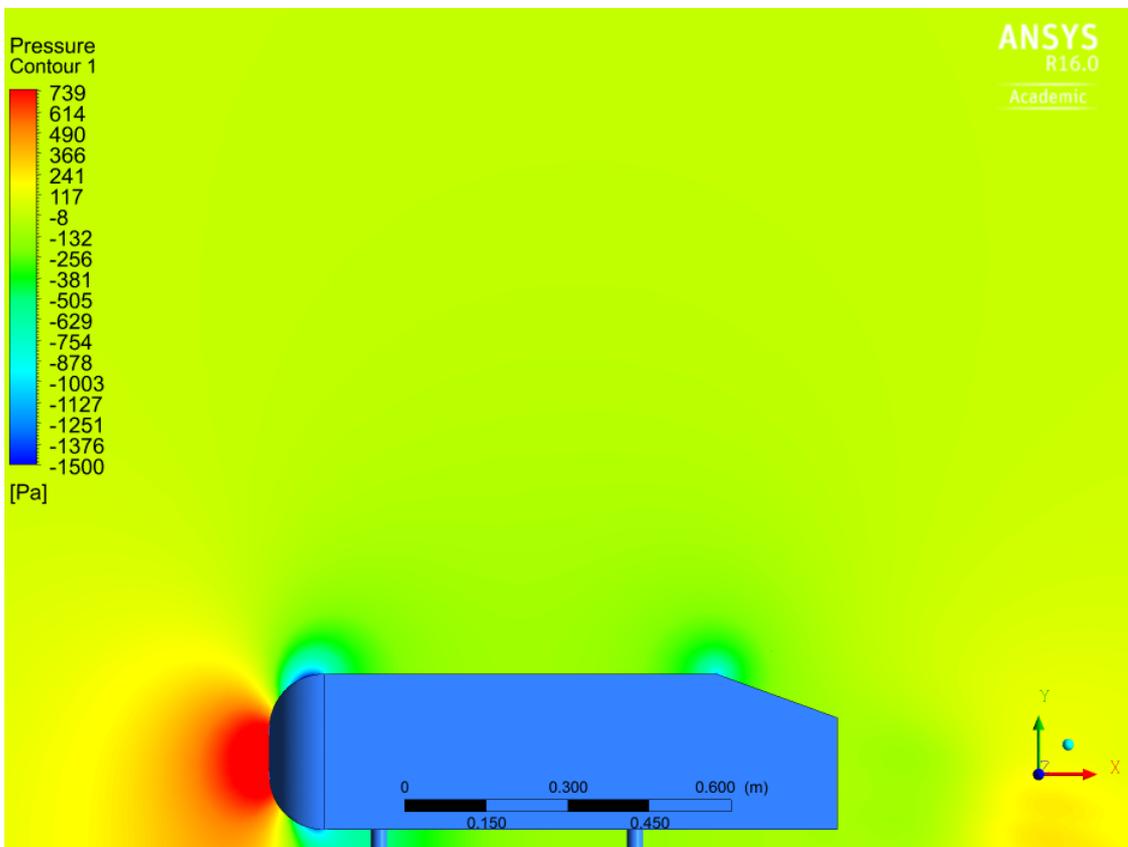


Figura 12. Contornos de pressão no plano de simetria, $\phi = 20^\circ$ (Fonte: Autor)

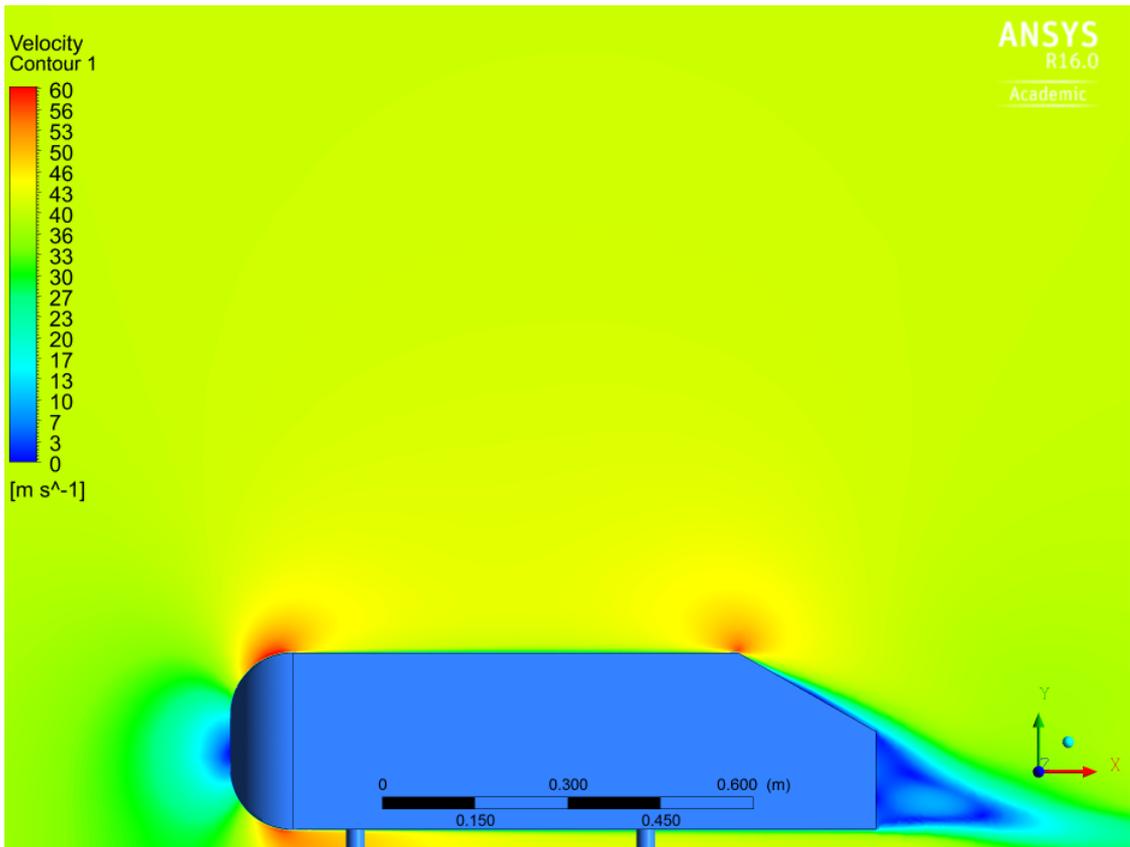


Figura 13. Contornos de velocidade no plano de simetria, $\phi = 35^\circ$ (Fonte: Autor)

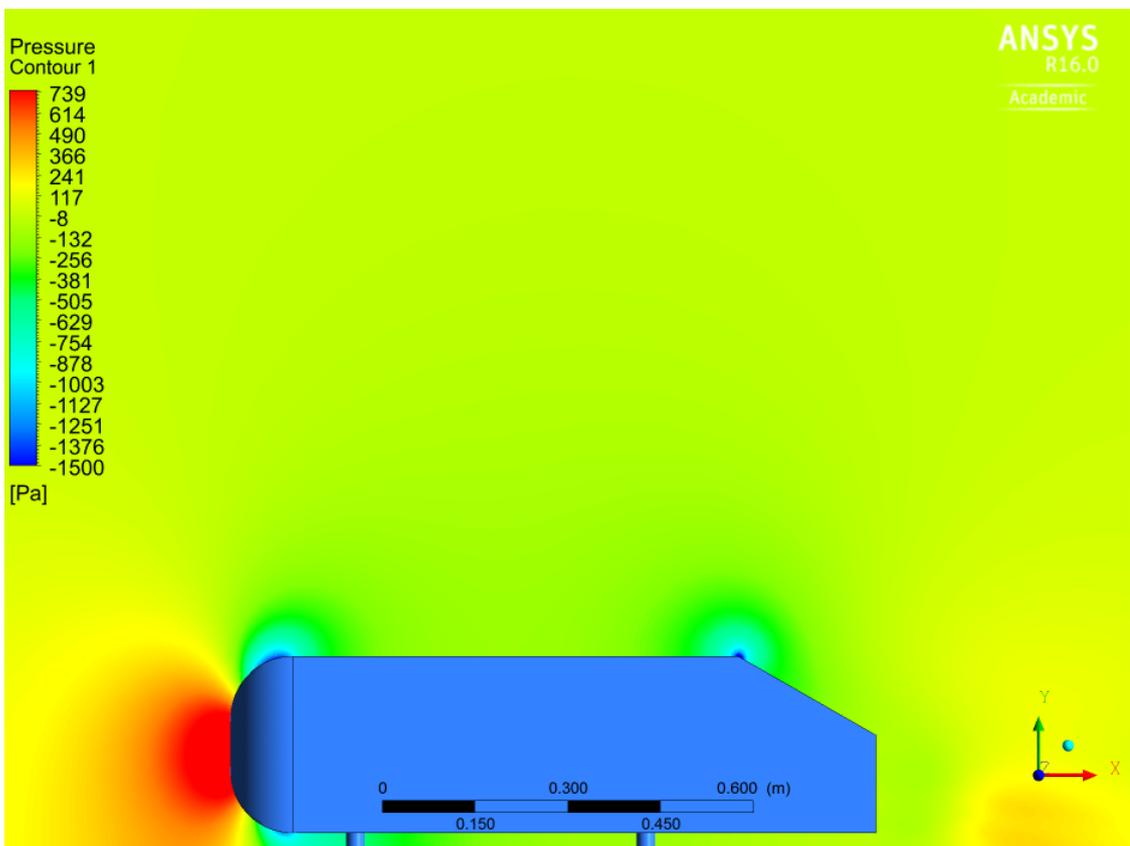


Figura 14. Contornos de pressão no plano de simetria, $\phi = 35^\circ$ (Fonte: Autor)

2.7. Atividade #7 Aperfeiçoamento / refino das simulações numéricas

Esta atividade esta em desenvolvimento conforme o cronograma de atividades. Varias simulações estão sendo refeitas, mudando parâmetros de set-up assim como testes adicionais com outros modelos de turbulência.

2.8. Atividade #7 Redação de artigo para revista/congresso

Esta atividade esta em desenvolvimento conforme o cronograma de atividades.

2.9. Atividade #9 Relatório final

Esta atividade esta em desenvolvimento conforme o cronograma de atividades.

Cronograma de atividades.

Atividade	Mês 1	Mês 2	Mês 3	Mês 4	Mês 5	Mês 6	Mês 7	Mês 8	Mês 9	Mês 10	Mês 11	Mês 12
#1	x	x	x	x	x	x	x	x	x			
#2	x	x	x	x								
#3		x	x	x	x	x	x					
#4		x	x	x								
#5			x	x	x	x	x	x	x			
#6						x	x	x	x	x		
#7						x	x	x	x	x	x	
#8					x	x	x	x	x	x	x	x
#9												x

3. Referências bibliográficas

Barnard, R.H. Road Vehicle Aerodynamic Design: An Introduction. Third Edition, MechAero, 2009

Buchheim, R., Leie, B., Lückkoof, H.-J. Der neue Audi 100 – Ein Beispiel für konsequente aerodynamische Personenwagen-Entwicklung. ATZ. Vol. 85, 1983, pp. 419-425

Fox, R, Pritchard, P.J., McDonald, A. Introdução à Mecânica dos Fluidos. Sétima Edição. LTC. 2009

Hucho, Wolf-Heinrich. Aerodynamics of Road Vehicles. SAE International, Fourth Edition, 1998.

Khan, R.S., Umale, S. CFD Aerodynamic Analysis of Ahmed Body. International Journal of Engineering Trends and Technology (IJETT) – Volume 18 Number 7 – Dec 2014

Meile, W. Brenn, G. Reppenhagen, A. Lechner, B. Fuchs, A. Experiments and numerical simulations on the aerodynamics of the Ahmed body. CFD Letters, VOI 3(1) March 2011.

Race Car Engineering. Disponível em: < <http://www.racecar-engineering.com/cars/red-bull-rb10/> > Acesso em 01/05/2015.

Rosilho, V. Diminuição do arrasto aerodinâmico e economia de combustível de um veículo devido à substituição dos espelhos retrovisores externos por câmeras. Dissertação de mestrado, Instituto MAUÁ de Tecnologia, 2013.

White, F. Mecânica dos Fluidos. Sexta Edição. McGraw Hill. 2007