



28 · 29 · 30  
de OUTUBRO

**XII SEGET**  
SIMPÓSIO DE EXCELÊNCIA EM GESTÃO E TECNOLOGIA  
TEMA 2015  
Otimização de Recursos e Desenvolvimento



# ESTUDO DA DIMINUIÇÃO DO ARRASTO AERODINÂMICO E DO CONSUMO DE COMBUSTÍVEL DE UMA GEOMETRIA VEICULAR

**Celso do Vale G. Junior**  
dovalelcelso@gmail.com  
FER

**Messias Barbosa Teixeira**  
misiasmbt@hotmail.com  
FER

**Vicente Ferreira**  
ferreiravicente@gmail.com  
FER

**Resumo:** Este trabalho apresenta o estudo de melhoria aerodinâmica de uma geometria veicular, e também uma análise de métodos utilizados em estudos e pesquisas de aerodinâmica veicular, junto a uma análise teórica das iterações do fluido em torno desta geometria. Os métodos utilizados para redução do arrasto bem como aplicação na geometria são realizados junto a um programa CFD (Fluído dinâmica computacional), com o objetivo de se reduzir o arrasto aerodinâmico do modelo. Com a redução do arrasto espera-se uma diminuição significativa do consumo de combustível e em consequência também a diminuição das emissões de gases poluentes.

**Palavras Chave:** Aerodinâmica - CFD - Arrasto aerodinâmico - Consumo de combustív - Veicular

## 1. HISTORIA

A Tabela 1 mostra a evolução histórica da aerodinâmica, observa-se que o avanço da tecnologia tem contribuído para alcançar resultados cada vez mais satisfatórios no estudo da aerodinâmica. O princípio do estudo da aerodinâmica começa com a análise feita por projetistas de navios e aeronaves encontrada nas formas da natureza através de peixes e pássaros (HUCHO,1998).

A partir destas formas começou-se o estudo da aerodinâmica para veículos de passeio. Percebeu-se mais tarde que esta aplicação não era válida para a implantação na aerodinâmica veicular. Os primeiros veículos a serem fabricados eram muito lentos e as estradas não favoreciam um melhor desempenho do veículos dificultando a proteção de motoristas e passageiros de intempéries.

|                        |             |                                                                                     |                                                                                      |                                                                                    |                                                                                    |
|------------------------|-------------|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|
| Formas básicas         | 1900 a 1925 |    |     |  |                                                                                    |
|                        |             | Torpedo                                                                             | Boat tail                                                                            | Air ship                                                                           |                                                                                    |
| Formas aerodinâmicas   | 1921 a 1923 |    |    |                                                                                    |                                                                                    |
|                        | 1922 a 1939 |    |                                                                                      |                                                                                    |  |
|                        | 1922 a 1939 |   |   |                                                                                    |                                                                                    |
|                        | Desde 1955  |  |  |                                                                                    |                                                                                    |
|                        |             | Citroën                                                                             | NSU-Ro 80                                                                            |                                                                                    |                                                                                    |
| Otimização de detalhes | Desde 1974  |  |  |                                                                                    |                                                                                    |
|                        |             | VW-Scirocco I                                                                       | VW-Golf I                                                                            |                                                                                    |                                                                                    |
| Otimização da forma    | Desde 1983  |  |  |                                                                                    |                                                                                    |
|                        |             | Audi 100 III                                                                        | Ford Sierra                                                                          |                                                                                    |                                                                                    |

Tabela 1.1 – Evolução das formas aerodinâmicas

Fonte: HUCHO,1998

O estudo da aerodinâmica veicular com foco na diminuição do arrasto tem contribuindo para uma maior desempenho do veículo, e tem como uma das formas de redução e economia de combustível o estudo feito no capô e para choque dianteiro *front end*. Entender como o estudo da aerodinâmica se relaciona diretamente com a geometria do veículo, conforto, desempenho, consumo de combustível, a medida em que o arrasto proporciona uma resistência no deslocamento, é um fator que tem estimulado as indústrias automotivas a investirem em estudos de simulações computacionais para obter um melhor resultado do produto desenvolvido.

Os túneis de vento e as simulações computacionais constituem as principais ferramentas de estudo e análise para compreendermos o escoamento aerodinâmico ao redor do veículo. O trabalho apresenta o estudo da aerodinâmica sobre uma geometria básica de um veículo denominado Modelo SAE ( Society of Automotive Engineers) em ambiente computacional.

## 1.1 PROBLEMÁTICA

A definição da problemática que envolve este trabalho surge de uma pergunta, como se diminuir as emissões de poluentes do veículo, modificando a sua geometria, sem modificar a sua estrutura nem sua massa? Essa pergunta parte do princípio que em um veículo automotor de características mais populares as variáveis dos materiais de construção das carrocerias, massa e peso específico já são definidas, bem como, suas composições de *power train* ( motor, diferencial e caixa de velocidades) já são definidas com uma massa fixa.

## 1.2 JUSTIFICATIVA

Propõe-se através do estudo da aerodinâmica veicular a redução do coeficiente de arrasto no *front end* do veículo reduzindo assim o consumo de combustível e a redução da emissão de CO<sub>2</sub>. Hoje em dia um dos desafios das indústrias automobilísticas é a redução do consumo de combustível para atender as legislações ambientais e principalmente porque consumidores tem buscado veículos de baixo consumo e com mais eficiência.

## 2. METODOLOGIA

A metodologia utilizada neste trabalho será baseada em técnicas pré-definidas utilizados por pesquisadores e indústrias automotivas para diminuições das perturbações causadas por escoamentos em torno de veículos, estes métodos são totalmente eficientes na redução do arrasto aerodinâmico. A seguir definiremos a geometria específica neste estudo ela será baseada no *front end* a parte frontal do veículo, por ser uma das provedoras de arrasto aerodinâmico. Então será definido um modelo de estudo com base nas características do modelo *SAE* e a esse modelo será adicionado um *front end* básico onde serão feitas alterações nos ângulos de convergência e divergências baseados nos métodos de redução de arrasto. Estas alterações serão modeladas em software *CFD* (fluido dinâmica computacional) e serão testados para comparação posterior com o modelo sem alteração das características o modelo *SAE* que também será disposto a teste para definição do arrasto. A partir da definição dos coeficientes de redução do arrasto *C<sub>d</sub>* e definição destas porcentagens, os resultados serão comparados com as normas de consumo do EPA e ABNT. Ao final uma comparação entre redução do consumo por redução do arrasto e redução de emissões.

## 3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.

### 3.1 MECÂNICA DOS FLUIDOS

A área em que se encontra situado este trabalho e o da mecânica dos fluidos, que é a área específica da física que se dedica a analisar o comportamento de todos os fluidos líquidos e gasosos, tanto em estado estático quanto em estado dinâmico. A mecânica dos fluidos tem um papel fundamental na conceituação e na interpretação de muitas áreas da engenharia em especial a aerodinâmica.

Uma das perguntas fundamentais no estudo de fluidos é, quais são as características especiais que diferenciam um fluido de outro. Ao analisar a estrutura molecular dos sólidos(aço, concreto, madeira) verifica-se que suas moléculas estão pouco espaçadas isso lhe confere forma e não lhe permite ser deformado facilmente. Com relação aos fluidos, o líquido (água, óleo) tem suas moléculas mais espaçadas e isto lhe confere uma maior liberdade de movimentação molecular e uma deformação ampliada. Os gases (ar, oxigênio) apresentam espaços moleculares ainda maiores e com liberdade de movimento ampliada em relação ao dos líquidos. Assim os gases podem ser facilmente deformados ou comprimidos que sempre ocuparão o volume total do reservatório que os armazena(MUNSON, 1995).

A seguir apresentaremos alguns dos conceitos fundamentais.

### 3.1.1 DENSIDADE E VISCOSIDADE

Densidade ou gravidade específica pode ser considerada como, a relação das massas específicas “ $\rho$ ” de um sistema. Onde a massa específica é a divisão de sua massa por uma unidade de volume. Nos gases a massa específica tem como dependência pressão “ $p$ ” e temperatura “ $T$ ”.

$$\rho = \frac{p}{RT}$$

R e a constante universal do gases.

Para o estudo dos veículos utilizamos o ar como fluido, o considerando como incompressível devido à ínfimas variações de pressão e temperatura. A sua densidade a nível do mar com ( $p = 1\text{ atm}$  e  $T = 288\text{ K}$ ) é de  $1,2250\text{ kg/m}^3$ .

A viscosidade é causada pela tensão interna molecular nos fluidos. Devido à necessidade de se definir o comportamento dos fluidos que podem ter suas massas específicas muito parecidas, mas que ao escoar apresentam uma distinção em sua “fluidez” foi definida a taxa de viscosidade. A equação tem a dependência da massa específica do fluido.

$$\nu = \mu/\rho$$

### 3.2 ESCOAMENTO SOBRE CORPOS IMERSOS

O escoamento sobre corpos imersos tem como os principais ramos de estudo o da aerodinâmica e o da hidrodinâmica respectivamente escoamento em torno do ar e da água. Geralmente os estudos são denominados como de escoamentos externos onde os corpos estão totalmente envolvidos pelos fluidos.

As abordagens teóricas e experimentais são as comuns ao estudo, porém as técnicas teóricas muitas vezes pela complexidade de equações e de informações se torna limitada, nesse contexto surge a importância de se analisar com métodos experimentais por meios de túneis de vento e métodos computacionais como fluidodinâmica computacional. Dois tipos de abordagens também devem ser feitas com relação ao escoamento externo, o primeiro deve considerar que o escoamento se movimenta com velocidade  $U$  e o corpo imerso nele não se movimenta, a segunda leva em conta a movimentação do corpo com velocidade  $U$  e o escoamento parado (avião em voo). A duas maneiras também de se classificar o escoamento: com relação a natureza do corpo conforme Figura 1 onde (a) bidimensional, (b) axissimétrico e (c) tridimensional, e com relação ao formato do corpos (MUSSON,1995).

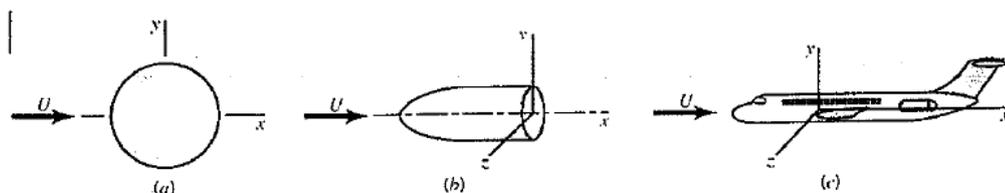


Figura 1– Classificação dos escoamentos  
Fonte: MUSSON,1995

### 3.2.1 NÚMERO DE REYNOLDS, CAMADA LIMITE E SEPARAÇÃO

O parâmetro para dimensionamento de todos os fluidos newtonianos e denominado Número de Reynolds, que é o primeiro parâmetro a ser dimensionado em um projeto aerodinâmico. Foi utilizado pelo engenheiro irlandês Osborne Reynolds que com seus estudos conceituou a existência de dois tipos principais de escoamentos, o Laminar que se caracteriza por ser um escoamento de camadas alinhadas e o escoamento Turbulento que é caracterizado pela oscilação molecular em torno de seu eixo, não existindo mais as camadas planas.

A faixa de qualificação dos escoamentos a partir da obtenção do número de Reynolds é dependente também da geometria e da forma do escoamento. Sua equação é definida por:

$$Re = \frac{\rho VL}{\mu}$$

onde V é a sua velocidade do escoamento e L o seu comprimento. A relação entre  $\rho$  e  $\mu$ , é igual à viscosidade do fluido.

Na Figura 2 observa-se as linhas de fluxo externo em torno de um veículo com condição de ar em estado estacionário onde  $V_{\infty}$  é a velocidade do carro na estrada. Desde que não ocorra a separação do fluxo, os efeitos viscosos no fluido estão restritos a uma fina camada de uma espessura de poucos milímetros, a chamada camada limite para além desta camada, o fluxo pode ser considerado como não viscoso, e a sua pressão é aplicada à camada de fronteira. Dentro da camada limite a velocidade diminui a partir do valor do fluxo viscoso externo no bordo exterior da camada limite para zero na parede, em que o fluido apresenta uma condição anti-derrapante (HUCHO,1998).

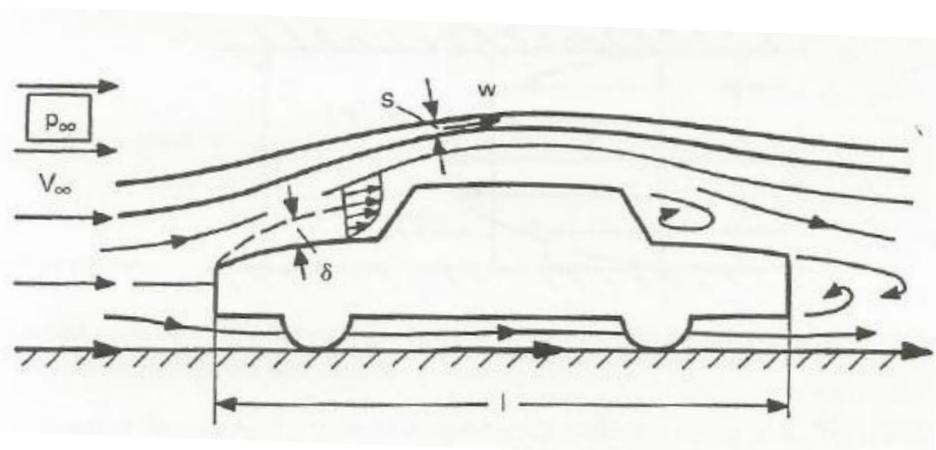


Figura 2 – Escoamento sobre a projeção de um veículo indicando as linhas de fluxo  
Fonte: HUCHO,1998

o conceito da camada limite somente pode ser valido para valores de número de Reynolds maiores que  $10 \times 10^3$ .

O fluxo laminar e o fluxo turbulento da camada limite tem grande dependência da distribuição de pressão aplicada ao fluxo externo, o que causa a separação. Ela se deve a perda excessiva de movimento do escoamento próximo a parede, com o aumento da pressão a camada limite move-se direção a corrente contrapondo o aumento de pressão.

### 3.3 AERODINÂMICA

Como um avião pode levantar voo? Quais são as provocações físicas inerentes ao comportamento dos gases em torno de um corpo? Essas perguntas são feitas no estudo da aerodinâmica. O comportamento teórico a partir das geometrias é muito influenciável pelas variáveis que surgem ao redor do fluxo Figura 4.

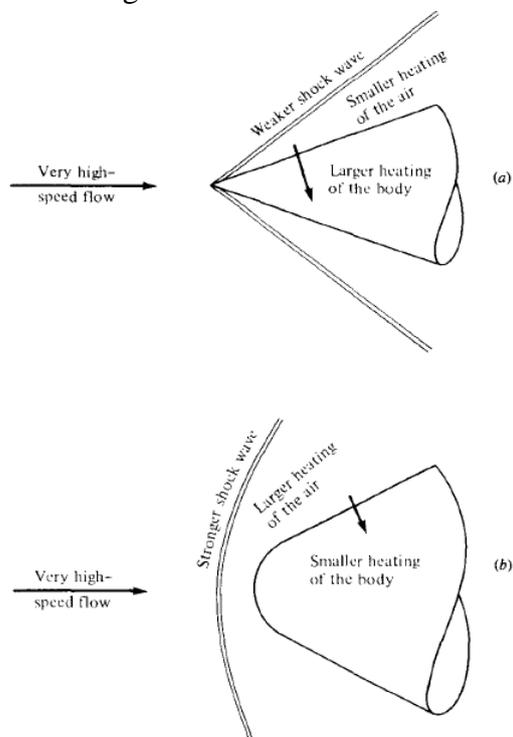


Figura 4 – Contraste da expansão aerodinâmica para um corpo delgado (a) e um corpo rombudo (b). A altas velocidades.

Fonte: ANDERSEN, 1991

Dessas variáveis são geradas as forças e os momentos que podem ser definidos por apenas duas fontes básicas:

1. Distribuição de pressão sobre a superfície do corpo
2. Distribuição de tensão cisalhante sobre a superfície do corpo

Essas são as únicas formas de um fluido expressar sua força em um corpo, na qual a pressão e a tensão são a unidade de força por metro quadrado. A partir desta iteração surgem três tipos de forças características da aerodinâmica o arrasto, a sustentação e a força lateral (Figura 5). No estudo da aerodinâmica veicular em carros com velocidades pequenas o arrasto é um componente mais estudado.

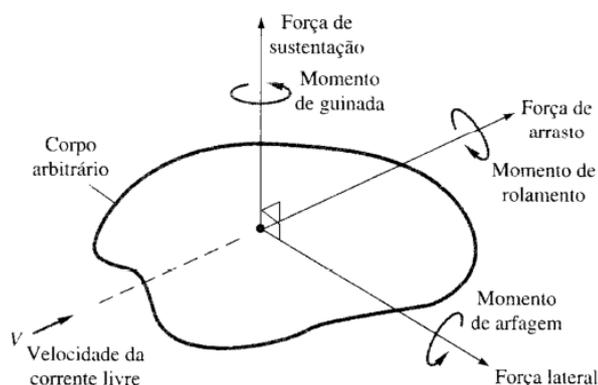


Figura 5 – Forças e momentos da aerodinâmica  
Fonte: RAMOS, 2012

O principal foco da aerodinâmica são os fluidos em movimento. Assim, a velocidade de fluxo é uma consideração muito importante. A compreensão do conceito da velocidade de um fluido é um pouco mais sutil do que a de um corpo sólido em movimento (ANDERSEN, 1991).

A aerodinâmica veicular tem início na motivação de se obter protótipos de carros mais velozes. Porém, como citado anteriormente havia uma grande influência das geometrias aeronáuticas no estudo aerodinâmico veicular. Então surgiu uma grande tendência de suavização das curvas esse desenvolvimento foi quase totalmente balizado na redução do arrasto, porém essas suavizações diminuíam as regiões de separação, condição ideal para o aparecimento da força de sustentação. À medida que a velocidade desses protótipos aumentava o veículo exercia uma força menor sobre o sistema de suspensão e seus componentes pneumáticos tinham a aderência diminuída (CASTEJON, 2010).

### 3.4 ARRASTO AERODINÂMICO

O arrasto aerodinâmico é a componente que surge na parede do corpo é contrária ao empuxo gerado por motores a combustão ou turbinas a gás. O arrasto se torna a variável de maior importância para se conseguir diminuições no consumo e facilitar a passagem do corpo pelo ar atmosférico. Para corpos característicos os coeficientes de arrasto são definidos pelas áreas dos corpos estudados.

$$C_d = \frac{D}{\frac{1}{2} \rho V^2 A}$$

O estudos feitos por HUCHO, 1995 verificou-se que o arrasto surge de forma mais incisiva na partes traseiras dos corpos conforme a Figura 8, esse comportamento também é alterado segundo o Número de Reynolds e definições de classificação do escoamento em uma mesma geometria.

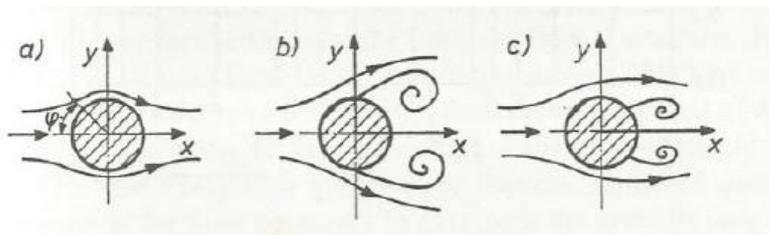


Figura 8 – (a) escoamento não-viscoso (b) escoamento subcrítico, camada limite laminar (c) escoamento crítico camada limite turbulenta.  
 Fonte: HUCHO.1998

Devido a isso e sempre importante se encontrar modos de conter a separação do fluxo nas partes traseiras suavizando o escoamento anteriormente a passagem dele pela região.

Com a interação do fluxo na parede do corpo surgem dois tipos de arrasto o de pressão e o de fricção. A Figura 9 mostra as componentes do arrasto em um corpo.

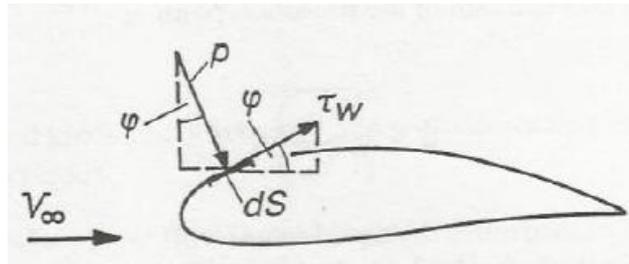


Figura 9 – Determinação do arrasto em um corpo  
 Fonte: HUCHO.1998

O arrasto de fricção surge de acordo com tensão cisalhante molecular distribuída em toda superfície do corpo. O arrasto e definido conforme a integração:

$$D_f = \oint \tau \cos \varphi dS$$

.O arrasto de pressão e definido como todas as variações de pressão ao redor do corpo.

$$D_p = \oint p \sin \varphi dS$$

A junção dos dois arrastos que surgem na parede do corpo e o arrasto total. Definido por:

$$D = D_f + D_p$$

### 3.5 FLUIDODINÂMICA COMPUTACIONAL: O CFD

Os estudos para obtenção de arrasto cada vez menor em veículos automotivos obtiveram uma mudança drástica a partir da década de 80 as montadoras que ate então utilizavam túneis aeronáuticos passaram a investir na construção de seus próprios túneis de vento como podemos ver na Figura 10. Estes tinham o propósito de aproximar ao máximo das características reais do comportamento do escoamento em torno de um veiculo em solo. A diferença pertinente para que a indústria tomasse este direcionamento é que os automóveis são corpos rombudos que promovem grandes perturbações no escoamento, e por estar próximo ao chão apresentam o “Efeito Solo”, o que exige uma modificação mais aguçada das melhorias aerodinâmicas (KATZ, 1995).

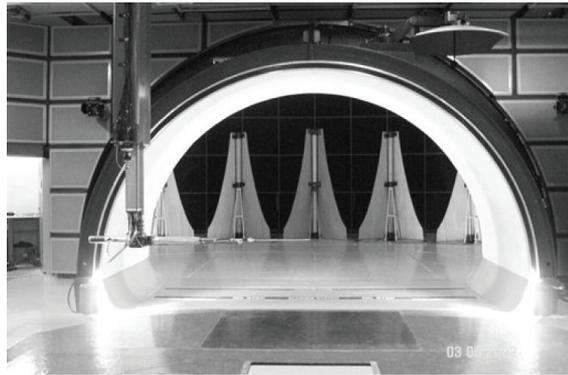


Figura 10 – Túnel de vento com geradores de vórtice  
Fonte: CASTEJON,2011

A importância do CFD e devido a grande necessidade de se alterar os modelos para obtenção de coeficientes aerodinâmicos mais apurados os túneis de vento apresentam um grande problema, por ter de se garantir a maior precisão e aproximação do ambiente real, os parâmetros como, razão de bloqueio ( $\phi = A_p/A_n$ , que é uma medida adimensional para a condição de não afunilamento das linhas de corrente do escoamento, onde  $A_p$  é a área do protótipo e  $A_n$  a área na saída da seção convergente) a camada limite da superfície, o número de Reynolds e as turbulências pertinentes do escoamento. Devem ser controlados e quantificados para que se aproximem do real. Com isso os custos operacionais dos túneis de vento acabam sendo muito elevados surgindo a necessidade da evolução dos estudos de códigos computacionais que permitiam simular com maior precisão os esforços aerodinâmicos.

O CFD tem a função de transformar o mundo real em computacional Figura 11 devido a sua facilidade de modelagem e mudança de parâmetros de teste, se tornou em uma das ferramentas mais importantes e utilizada em grande escala no início dos projetos aerodinâmicos. A grande vantagem do CFD e a diminuição das tentativas e erros dos estudos que somente utilizam túneis de vento, isso acontece devido a sua facilidade de quantificar dados acerca das linhas de corrente do modelo. Normalmente o CFD é construído em plataformas computacionais.

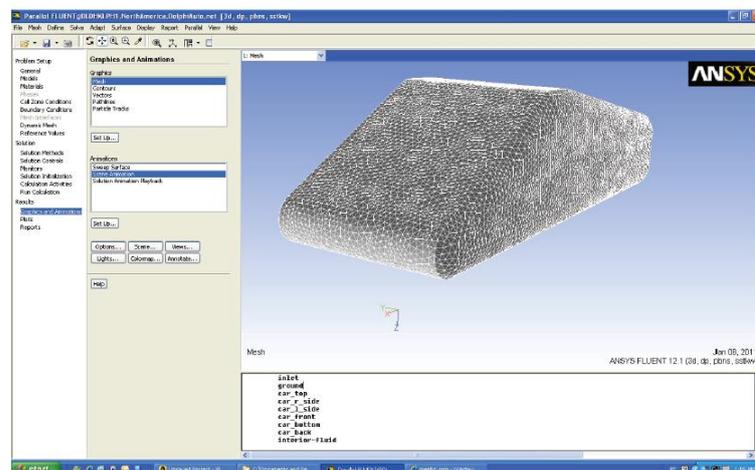


Figura 11 – Ambiente de simulação de um CFD, ANSYS®  
Fonte: CASTEJON,2011.

## 5. GEOMETRIA ANALISADA

Para as reduções do arrasto como e feito basicamente em todos os estudos aerodinâmicos será usado para comparação o modelo SAE Figura 13. Essa geometria foi desenvolvida por uma comissão de cientistas de aerodinâmica e foi divulgada na norma SAE J2071. Estes modelos tem grande aceitação devido a fácil modelagem computacional e a fácil modificação das formas do modelo para estudo. O modelo SAE apresenta três opções de ângulos para região traseira, e no estudo os utilizaremos a aproximação do ângulo para *squareback* por ser uma geometria que tem feito grande sucesso ao redor do mundo nos designs automotivos e por ser uma variação da geometria híbrida criada para comparação, que apresenta dois modelos um com área traseira de *fastback* e outro com *squareback*.

Na figura 14 contem a modelagem computacional do modelo SAE com o ângulo de convergência de 50°. A seguir também veremos a criação de uma geometria que adicionara a região de inclinação frontal ao modelo SAE, o chamamos de modelo híbrido. A Tabela 2 contém o cronograma de modelos e alterações.

| MODELO SAE<br>SQUAREBACK         | MODELO HIBRIDO                    |          |
|----------------------------------|-----------------------------------|----------|
|                                  | SAQUAREBACK                       | FASTBACK |
| Modelar e adicionar ao CFD       | Modelar e adicionar ao CFD        |          |
| Aplicar Malhas                   | Aplicar Malhas                    |          |
| Definir condições do escoamento. | Definir condições do escoamento.  |          |
| Definir soluções                 | Realizar modificações geométricas |          |
| Obter resultados arrasto         | Definir soluções                  |          |
|                                  | Obter resultados arrasto          |          |

Tabela 2 – Cronograma de alterações e resultados do modelos  
Fonte: Próprios autores

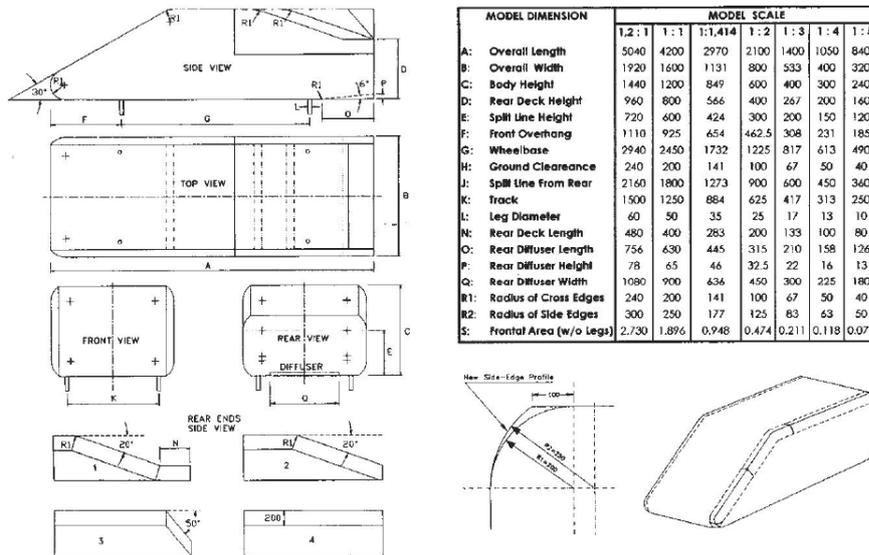


Figura 13 – Parâmetros do modelo SAE  
Fonte: PAPER SAE 2004-01-1308

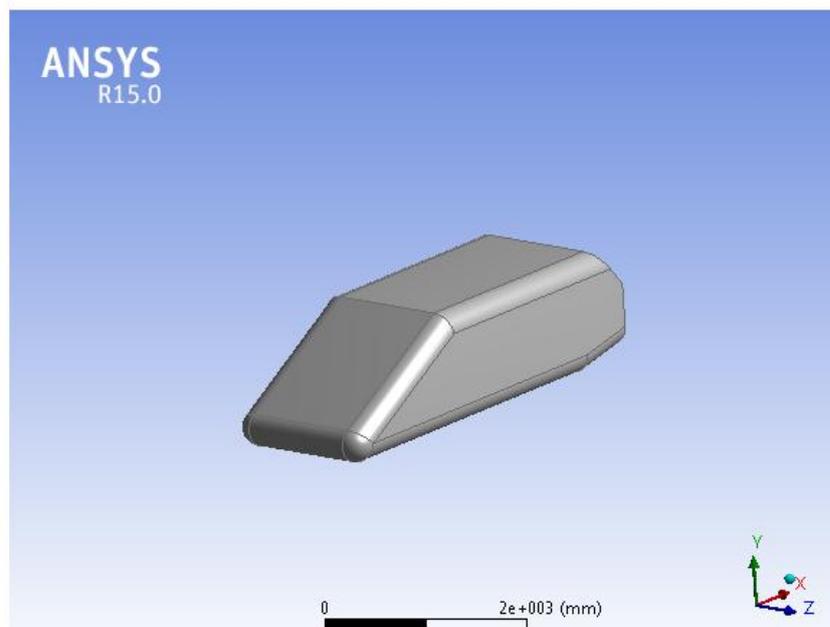


Figura 14 – Modelagem computacional do modelo SAE  
Fonte: Próprios autores, ANSYS R15.0

### 5.1 MODELO HIBRÍDO

O modelo híbrido é desenvolvido a partir de uma inclusão de um *front-end* no modelo SAE visto anteriormente, essa inclusão deriva da necessidade de se aproximar aos modelos reais que contem essa geometria, para analisar as influencias de seus ângulos no estudo do arrasto e do escoamento. A parte frontal será aproximada a um paralelepípedo considerando as entradas de ar como fechadas Figura 15.

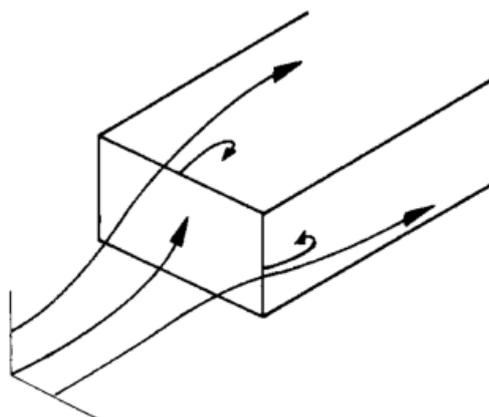


Figura 15 – Aproximação da região frontal  
Fonte: HUCHO,1998

Devido à proximidade da estrada. O ar tende a fluir sobre e em torno do veículo ao invés de debaixo dele; as linhas de corrente perto da extremidade frontal são, portanto, direcionadas para cima. O fluxo é desviado significativamente nas intersecções entre a face frontal o capô e pára-lamas (HUCHO,1995).

Os modelos de traseiras adicionados no modelo híbrido tem suas características com relação a interação com o escoamento que passa sobre o veículo, as bases foram retratadas no estudo de RAMOS,2012. Apresenta que os valores de altura de traseiras mais elevadas são

importantes referencias para conter o arrasto na região. As figuras 16 e 17 apresenta o modelo com a traseira *fastback*.

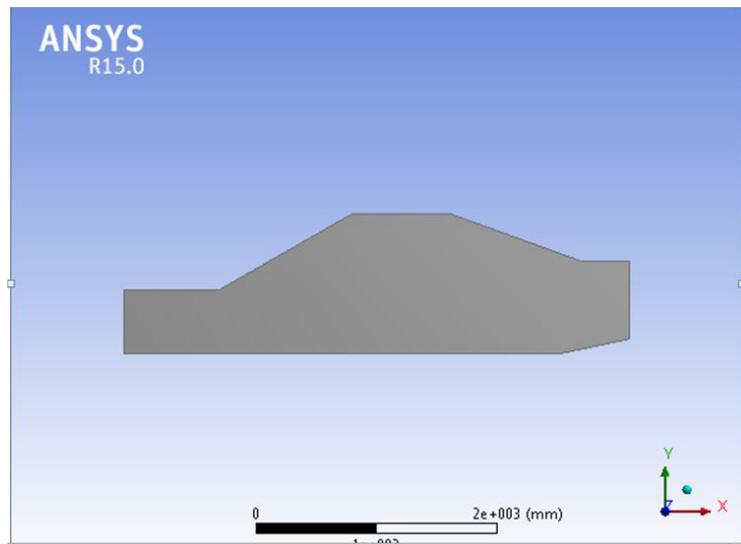


Figura 16 – Modelo híbrido com traseira *fastback*, 2D.  
Fonte: Próprios autores, ANSYS R15.0

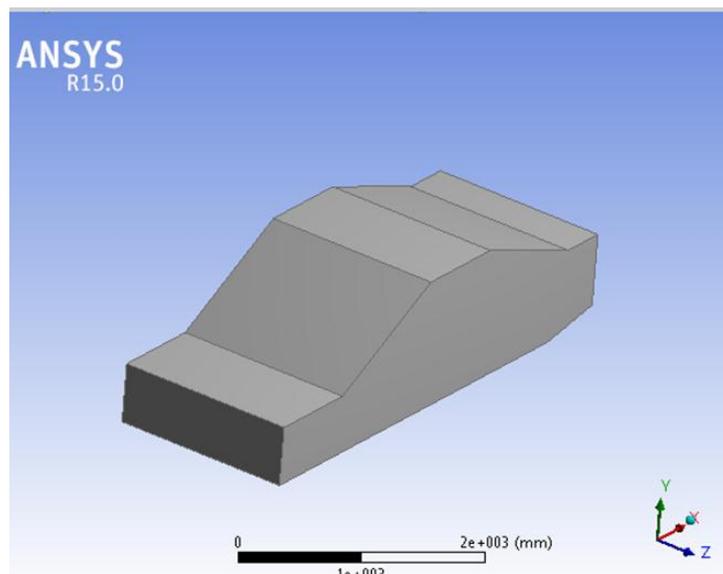


Figura 17 – Modelo híbrido com traseira *fastback*, 3D  
Fonte: Próprios autores, ANSYS R15.0

## 6. MÉTODOS DE REDUÇÃO DO ARRASTO

Métodos que serão utilizados para modificar as geometrias são citados por RAMOS,2012 desenvolvidos por HUCHO,1998 mostram alguns parâmetros para redução do arrasto aerodinâmico de um veículo automotor. Conforme citado acima o *front-end* foi aproximado a um bloco, que por observação do escoamento considerou algumas regiões de estagnação de fluxo, regiões de capô, para lamas área frontal e lateral, devido a proximidade com o solo o fluxo tende a fluir melhor sobre o veículo levando as maiores pressões a essas regiões. A seguir veremos alguns parâmetros de otimizações aerodinâmicas nessas regiões.

O primeiro parâmetro para modificação a ser adotado será na região superior do capô, essas regiões terão os cantos vivos transformados em raios. A relação utilizada é a  $b/r$  a base do capô sobre o raio Figura 18.



Figura 18 – Representação da alteração futura dos ângulos do capô  
 Fonte: Próprios autores, ANSYS R15.0

Esse parâmetro está embasado em uma modificação anterior feita no Volkswagen Van II, citado por HUCHO,1995 onde as alterações determinaram uma redução no arrasto de  $C_a$  0,45 para  $C_a$  0,40, a Figura 19 mostra essa alteração com relação também as pressões distribuídas ao contorno do corpo.

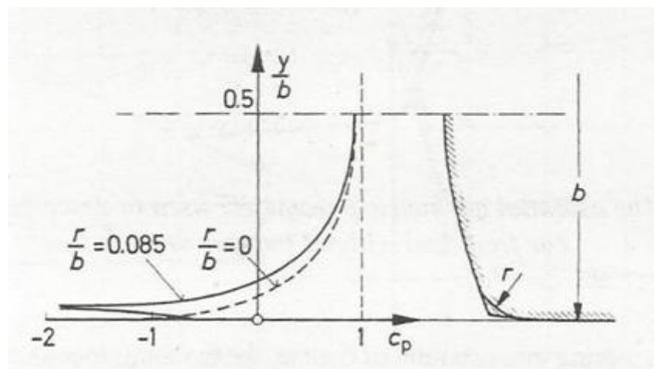


Figura 19 – Representação da alteração futura dos ângulos do capô  
 Fonte: HUCHO,1998

A segunda otimização será referente a ajustes de ângulos na região frontal e superior do capô veículo mostrado na Figura 20. Esses instrumentos são para se evitar separação do escoamento nesta região.

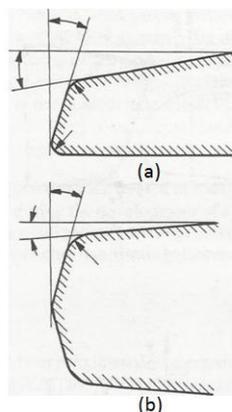


Figura 20 – Representação dos ângulos de alteração área frontal e área do capô, (a) inclinação do capô e região frontal para-choque, (b) raios de transição do capô e do assoalho  
 Fonte: HUCHO,1998

As alterações contidas em (a) na Figura 20, não representam uma redução significativa do arrasto aerodinâmico pelo efeito de saturação que é a redução pequena do arrasto até um certo ponto e logo após ocorre a estagnação da inclinação do capô  $\lambda$ . Conforme a Figura 21.

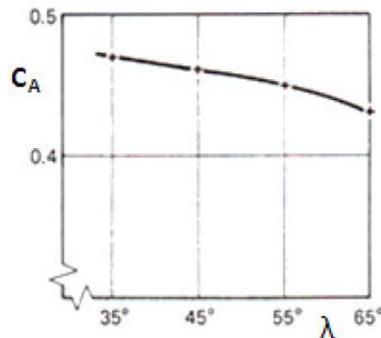


Figura 21 – Saturação do coeficiente de arrasto com relação ao ângulo de inclinação do capô  
 Fonte: HUCHO,1998

Más o ângulo do capo pode ter uma grande influencia quando e considerado em outras alterações como veremos a seguir.

Inicialmente serão feitos chanfros nas arestas Figura 22, com essa medida espera-se a redução dos pontos de estagnação e melhoria do fluxo na região. Essa melhoria também ocorre a partir da utilização do “nariz otimizado” que consiste na aplicação de estruturas aerodinâmicas modificadas a frente das regiões estudadas para se conseguir a redução esperada.

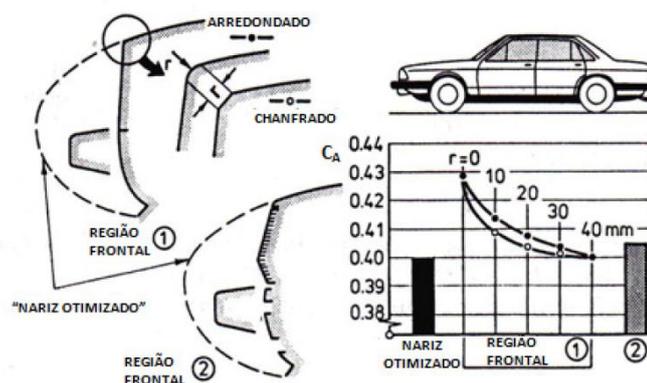


Figura 22 – Chanfros em regiões com nariz otimizado  
 Fonte: RAMOS, 2012

A outra modificação são alterações específicas de raios e inclinações como por exemplo a do capô e da grade. Criando assim uma redução considerável do arrasto Figura 23.

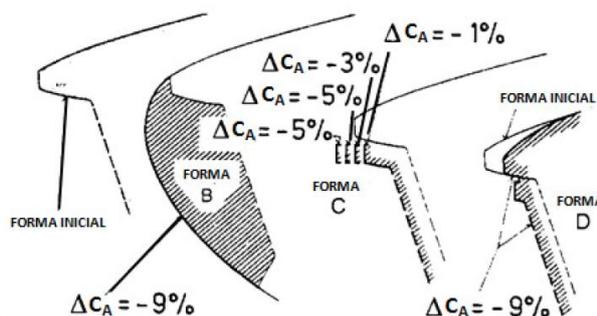


Figura 23 – Redução do arrasto por meio de otimização dos raios do capô e formas da grade  
Fonte: RAMOS, 2012

## 7. CONSUMO E EMISSÕES DE POLUENTES

A redução no consumo de combustível e um dos grandes responsáveis pela evolução na aerodinâmica veicular esforços para se diminuir o arrasto esta diretamente ligado a redução de consumo. Como cita CASTEJON, 2010 a redução exponencial no arrasto de um veiculo de produção, de 51% no estudo de Foux et al (1985), representou uma redução no consumo de 12,5%.

HUCHO, 1998 cita que com uma variação de arrasto de 40% pode-se conseguir uma redução no consumo também de 40% para um veículo com massa de 1000 Kg.

As relações de consumo e arrastos dependem de comparação com as normas de consumo, essas normas são baseadas em ciclos de direção dos veículos. O consumo será baseado em dois métodos de direção o EPA que e a norma norte americana de condução e a ABNT na Figura 24 que e a norma brasileira de condução para fins de comparação.

A comparação dos resultados de consumo por emissões de poluentes esta mostrado na Tabela 3. Esses níveis de poluentes são listados pelo CONAMA.

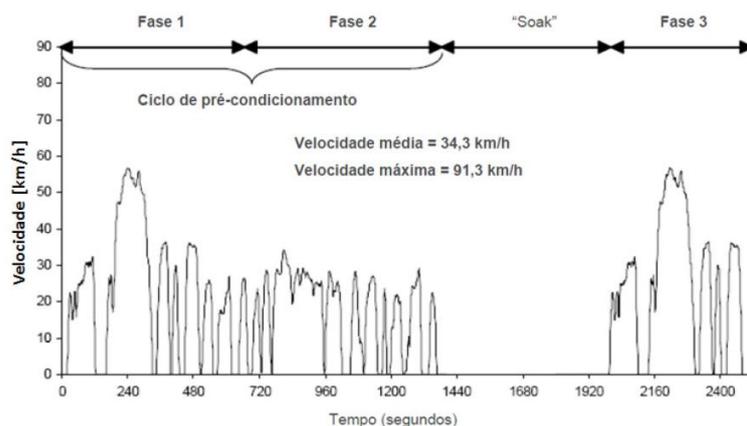


Figura 24 – Ciclo do consumo de combustível.  
Fonte: ABNT, NBR 7024, 2010

| Norma           | A partir de                          | Massa de monóxido de carbono (CO) |        | Massa total de hidrocarbonetos (THC) | Massa de hidrocarbonetos não metano (NMHC) |        | Massa de óxidos de nitrogênio (NO <sub>x</sub> ) |        | Massa de aldeídos (HCO) |        | Massa de particulado |        |
|-----------------|--------------------------------------|-----------------------------------|--------|--------------------------------------|--------------------------------------------|--------|--------------------------------------------------|--------|-------------------------|--------|----------------------|--------|
|                 |                                      | (mg/Km)                           |        | (mg/km)                              | (mg/km)                                    |        | (mg/km)                                          |        | (mg/km)                 |        | (mg/km)              |        |
|                 |                                      | Otto                              | Diesel | GNV                                  | Otto                                       | Diesel | Otto                                             | Diesel | Otto                    | Diesel | Otto                 | Diesel |
| CONAMA 315 (L5) | Jan/2009                             | 2000                              | -      | 300                                  | 50                                         | -      | 120                                              | 250    | 20                      | -      | -                    | 50     |
| CONAMA 415 (L6) | Jan/2013 (Otto)<br>Jan/2014 (Diesel) | 1300                              | -      | 300                                  | 50                                         | -      | 80                                               | -      | 20                      | -      | -                    | 25     |

Tabela 4 – Níveis de emissão de poluentes por consumo.  
Fonte: CONAMA Resolução 215, 2002

## 8. CONCLUSÕES

Conclui-se por meio desta explanação do trabalho, a importância da aerodinâmica nas indústrias automotivas modernas, sendo as diminuições no arrasto métodos de um grande potencial provedor de melhorias no consumo de combustível e emissões de gases poluentes.

Com as referências de estudos vistos aqui e com a utilização das técnicas e metodologias com auxílio da fluido dinâmica computacional obteremos uma redução do arrasto aerodinâmico nas geometrias modeladas, esperamos uma redução significativa de em torno de 9% para uma diminuição considerável no consumo.

## REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

MUNSON, BRUCE R.

**FUNDAMENTOS DA MECÂNICA DOS FLUIDOS/** BRUCE R. MUNSON, DONALD F. YOUNG, THEODORE H. OKISHI; TRADUÇÃO DA QUARTA EDIÇÃO AMERICANA: EURYALE ZERBINI – SÃO PAULO: EGARD BLUCHER, 2004

RAMOS, MÁRCIO DE OLIVEIRA

**ESTUDO DAS MELHORES PRÁTICAS DA AERODINÂMICA VEICULAR, VISANDO A MELHORIA DE CONSUMO DE COMBUSTÍVEL E REDUÇÃO DE EMISSÕES DE POLUENTES APLICADAS A VEÍCULOS DE PASSEIO/** MÁRCIO DE OLIVEIRA RAMOS – SÃO CAETANODO SUL: CEUN, 2012

CASTEJON, DANILO VIEIRA

**MÉTODOS DE REDUÇÃO DE ARRASTO E SEUS IMPACTOS SOBRE A ESTABILIDADE VEICULAR,** DISSERTAÇÃO DE MESTRADO, ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS, SÃO CARLOS, 2011

JOHAN LEVIN, RIKARD RIGDAL,

**AERODYNAMICS ANALISES OF DRAG REDUCTION OF A SAAB,** MASTER THESIS, CHALMERS UNIVERSITY OF TECHNOLOGY, GÖTEBORG, 2011

ANDERSON, JOHN DAVID

**FUNDAMENTALS OF AERODYNAMICS,** THIRD EDITION, MCGRAW-HILL, 1991

KATZ J, **RACE CAR AERODYNAMICS – DESIGN FOR SPEED** 2ND EDITION, BENTLEY PUBLISHER, 1995

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, **NBR 7024,** RIO DE JANEIRO, ABNT, 2010

CONSELHO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE, PROGRAMA DE CONTROLE DE EMISSÕES VEICULARES, **RESOLUÇÃO 315,** 29 DE OUTUBRO DE 2002