

# engenharia automotiva

aeroespacial



## Motos: o avanço da eletrônica

Freios, trocas de marchas,  
acelerador, controles  
de arrancada, tração e  
empinadas: tudo feito  
eletronicamente

### Aerodinâmica

A importância do design no consumo de  
combustível e na redução das emissões





# Aerodinâmica

ESPIONAGEM INDUSTRIAL NO DOMÍNIO DA NATUREZA

CAIO MORAES

70% da resistência ao avanço do carro na estrada resulta do arrasto aerodinâmico



5% a 15% do arrasto do aerodinâmico pode ser reduzido apenas com a adoção de novo desenho da parte traseira do veículo

Existem muitas maneiras de tornar um carro mais eficiente e reduzir suas emissões de CO<sub>2</sub>. O desenho aerodinâmico é uma das principais, pois um carro com desenho mais eficiente necessita de menos combustível para se locomover. Nas páginas seguintes, você acompanhará quais os melhores exemplos aerodinâmicos existentes na natureza, como é medida a aerodinâmica dos automóveis e como isso pode ser aperfeiçoado.

*Dr. Ulrich Hackenberg, membro da diretoria da marca Volkswagen e responsável por Pesquisa e Desenvolvimento*



## MODELO EXEMPLAR

### Aerodinâmica

#### Como o ar influencia o movimento

O ar freia – esse efeito é conhecido por quem já andou de bicicleta com vento de frente e precisou fazer mais força para pedalar. O mesmo se aplica aos carros: com maior resistência do ar, o motor é mais exigido e o consumo de combustível aumenta. Portanto, a aerodinâmica cada vez mais é o centro das atenções no desenho dos carros. E é na natureza que os estilistas vão buscar soluções. Para melhorar as propriedades aerodinâmicas dos protótipos, são fei-

tos testes em túneis de vento e muitos cálculos, sempre lutando contra o efeito frenante da resistência do ar.

#### Formas aerodinâmicas encontradas na natureza

Por um longo período a gota d'água foi considerada a forma mais aerodinâmica da natureza, hoje se reconhece que o pinguim é mais eficiente: quando a gota d'água cai, a parte frontal é a mais larga, enquanto no pinguim ela fica mais para trás. Vistos somente do ponto de vista aerodinâmico, a água e o ar diferem apenas pela sua densidade, sendo por isso que o pinguim pode ser utilizado para comparação.

#### O pioneirismo histórico

O Rumpler-Tropfenwagen (carro em formadegota), apresentado em Berlim pelo projetista Edmund Rumpler, em 1921, na Exposição do Automóvel Alemão, tinha um valor de Cx de 0,28, ou seja, uma forma aerodinâmica muito superior a de muitos carros atuais. Visto de cima ele lembra uma gota d'água, forma aerodinâmica considerada ideal naquele tempo. A fotografia foi tirada no túnel de vento da Volkswagen, em 1979, onde o carro foi testado para conferir como é realmente sua aerodinâmica.



FOTOS DIVULGAÇÃO

## VALORES DE MEDIÇÃO

### Medindo forças Condições reais no túnel de vento

Medições aerodinâmicas em um túnel de vento são complexas porque as condições de testes têm de ser o mais próximo possível da realidade. Todas as forças e momentos relevantes que afetam a movimentação dos veículos podem ser medidas aqui. A maioria dos grandes fabricantes de automóveis têm as suas próprias instalações para conduzir seus testes. O ar é misturado com névoa para tornar visível o curso exato do fluxo de ar. Dessa forma, turbulências e fluxo de ar podem ser melhor observados.

#### Configuração de um túnel de vento

A maior parte dos túneis de vento dos fabricantes de automóveis é construída como um corredor retangular no qual o ar é movimentado por meio de um potente ventilador e feito passar por um corretor de fluxo e um convergedor, atinge o carro pela frente e segue até a parede atrás. O ventilador pode gerar velocidades de ar de até 300 quilômetros por hora.

Fonte: Instituto de Pesquisa de Engenharia Automotiva e de Motores de Veículos de Stuttgart (2012)

#### Medições

O carro fica em uma plataforma giratória, de forma a colocá-lo em ângulo reto em relação ao convergedor para simular ventos laterais. Rolos instalados na plataforma giratória simulam o movimento das rodas e a superfície da pista. Além disso, uma balança é instalada no chão da seção de medição. Dessa forma, podem ser medidas todas as forças exercidas pelo vento

Valor do  $C_x^*$ :  
em torno de 0,05

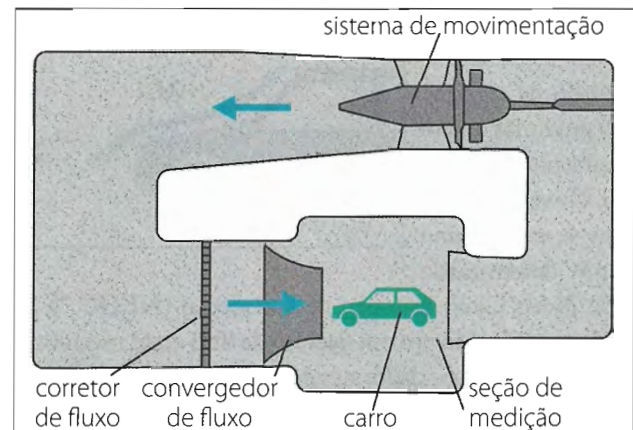


Valor do  $C_x^*$ :  
em torno de 0,03



\* O  $C_x$  (coeficiente de arrasto do ar) é medido em um túnel de vento. Quanto menor o valor, mais aerodinâmico é o objeto

sobre o carro, assim como determinar o arrasto induzido de sustentação, a força lateral e a força longitudinal. Usando estes valores o valor do  $C_x$  é calculado.



## Influências

### Quais medidas interessam

Um carro fica constantemente afastando o ar – quanto, vai depender da sua forma aerodinâmica. Isso é indicado pelo chamado valor de  $C_x$ . Esse dado técnico, que não tem unidade, é uma informação que pode ser encontrada nos dados técnicos dos carros mais novos e geralmente se situa na casa de 0,2 a 0,4. Ele representa a força de atrito exercida pelo ar sobre um carro e é composto de diferentes forças, que são geralmente medidas em um túnel de vento.

$$C_d = \frac{F_d}{A \times \frac{\rho}{2} \times v^2}$$

$F_d$  é a força de arrasto, coloquialmente chamada de resistência do ar. Ela é medida em uma balança no túnel de vento e sua unidade de medida é o newton.



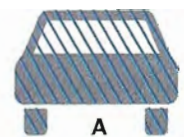
$\rho$  é a densidade do ar. Ela indica quanto de massa está contida em um determinado volume de ar. É calculada utilizando-se a temperatura e pressão de ar e sua unidade de medida é a quilogramas por metro quadrado.

$v$  representa a velocidade do carro e sua unidade de medida é a metros por segundo.



$A$  representa a área frontal do carro, porque o ar precisa se deslocar por esta área.

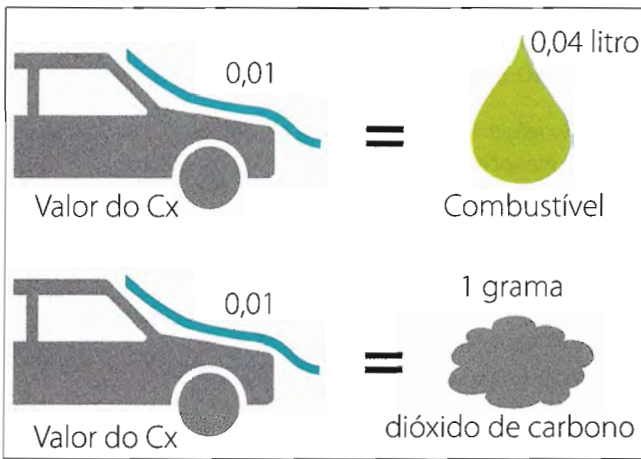
Ela é determinada pela medição da sombra de um carro projetada sobre uma tela atrás do carro a partir da iluminação da sua parte frontal.





**A relação entre valor de Cx e consumo**

Se o valor do Cx é diminuído de 0,01, o consumo de combustível é reduzido em 0,04 litro por 100 quilômetros e, conseqüentemente, as de emissões de dióxido de carbono são próximas de um grama por quilômetro. Os valores referem-se ao consumo como determinado



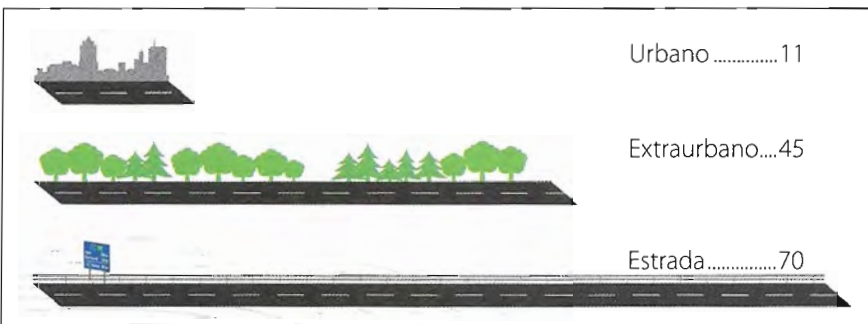
pelo Novo Ciclo Europeu de Condução (NEDC \*). Na realidade, o consumo pode ser reduzido em um décimo de litro e, até mesmo, em meio litro por 100 km durante altas velocidades nas estradas.

\* NEDC é um ciclo de condução uniformizada com velocidade e distância predefinidas, bem como temperatura exterior e muitos outros parâmetros

**O arrasto do ar sobre a resistência total (em %)**

Quanto menor a velocidade média, menor a resistência do ar. Mais ar tem de ser deslocado nas altas velocidades.

Fonte: RWTH Aachen, Institut für Kraftfahrzeuge ( 2009)



**CONSTRUÇÃO**

**Baixa resistência**

**Os componentes aerodinâmicos**

Existem várias formas de reduzir o arrasto aerodinâmico de um carro. Na maior parte das vezes isso é uma questão de forma: a concepção da carroceria certamente pode tornar um veículo mais eficiente aerodinamicamente. Mas isso também significa melhorar componentes individuais que causam redemoinhos ou arrasto



aerodinâmico como o compartimento do motor, o assoalho da carroceria e as caixas de rodas, por exemplo. Os estilistas de veículos sempre tentam harmonizar a aerodinâmica com o conforto e olham com muito cuidado esses itens.

**Para-brisa e coluna A**

5% menos arrasto pode ser conseguido usando para-brisa que tenha formato aerodinâmico

Um para-brisa com uma superfície convexa é mais aerodinâmico do que um com superfície plana. Mas um vidro frontal demasiadamente arqueado, porém, compromete a visão do condutor. As colunas dianteiras ao lado para-brisa devem ser idealmente tornadas mais chatas. Isso garantirá que uma menor área da dianteira seja exposta ao vento – o espaço no interior do carro, no entanto, não deve ser muito limitado na busca de menor área frontal.

**Traseira**

5% a 15% do arrasto do ar pode ser reduzido pelo desenho da parte final da traseira

A extremidade traseira ideal é, tanto quanto possível, afilada, ou então uma que termina abruptamente. Em ambos os casos, o fluxo de ar é capaz de fluir horizontalmente. No caso de uma parte traseira mais arqueada, esse efeito pode ser conseguido por meio de um pequeno defletor ou mesmo um maior. Formas que são ruins aerodinamicamente criam redemoinhos atrás do carro, o que causa um efeito de sucção e aumenta o arrasto.

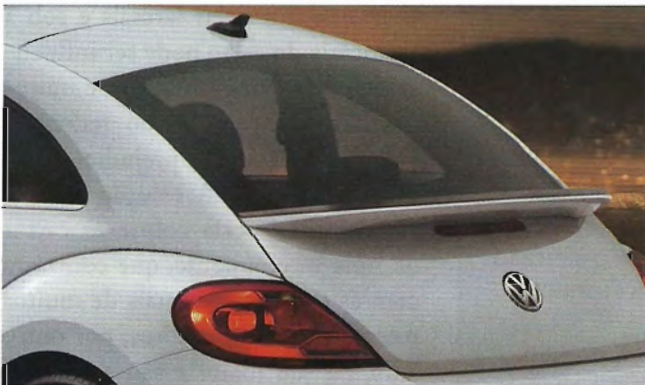
**Ventilação**

5% a 10% do arrasto pode ser diminuído no radiador  
O ar flui através de entradas na dianteira de maneira a arrefecer o motor.





Para-brisa ligeiramente arqueado e colunas A chatas garantem o compromisso entre a aerodinâmica do veículo e seu conforto



Se a extremidade traseira de um carro tem formas arredondadas, como é o caso do Volkswagen Beetle, sua aerodinâmica pode ser significativamente melhorada com a presença de um defletor: o fluxo de ar é direcionado para longe e não forma redemoinhos



As entradas de ar são elementos vitais no desenho da dianteira dos automóveis. Se elas puderem ser fechadas, o carro será mais aerodinâmico

### Carros e seus valores de Cx

A silhueta de um carro não dá qualquer indicação quanto ao valor do seu Cx. E carros de Fórmula 1 não são concebidos para serem aerodinâmicos. No entanto, o XL1, carro de um litro da Volkswagen, e o veículo de pesquisa da Universidade Técnica de Zurique, o PAC-Car II, são especialmente aerodinâmicos.

Carro de Fórmula 1  
Valor do Cx: 1,2



Land Rover Discovery  
Valor do Cx: 0,4



Volkswagen Touareg  
valor do Cx: 0,35



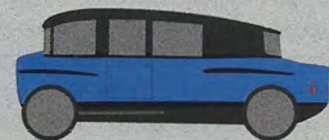
Mercedes-Benz SLK  
valor do Cx: 0,3



Volkswagen Golf  
valor do Cx: 0,3



Rumpler-Tropfenwagen  
valor do Cx: 0,28



Volkswagen XL1  
valor do Cx: 0,186



PAC-Car II  
valor do Cx: 0,09





## Levando em conta a aerodinâmica no Projeto de Veículos Comerciais

Nas operações de veículos comerciais, o arrasto aerodinâmico responde por aproximadamente 50% das perdas por resistência ao rolamento em velocidades rodoviárias, as quais representam uma relação aproximada de 2:1 em consumo de combustível. Ou seja, uma melhora de 2% no arrasto aerodinâmico significa uma redução de consumo de 1%.

Sabendo que nossos clientes operam vários veículos e estes chegam a rodar 300.000 km por ano, mesmo uma pequena melhora representará uma redução significativa dos seus custos operacionais.

Nossos engenheiros estudam constantemente o papel de vários componentes na aerodinâmica. Nos Estados Unidos, a popularidade de veículos com capô nas últimas décadas deve-se, em parte, à inerente vantagem desses veículos em termos de aerodinâmica.

Em países onde a legislação limita o comprimento da combinação trator/reboque, e caminhões de cabine avançada predominam, como no Brasil, ganhos aerodinâmicos ainda são possíveis. Além de pequenos ajustes no estilo, continuamos a desenvolver o desenho de para-choques, grades, espelhos e vários outros componentes.

Contudo, o trabalho não deve acabar no desenho do trator. Caminhões trabalham com implementos e estes contribuem de maneira significativa para o arrasto aerodinâmico. Desenvolver a solução mais eficiente para o mercado requer que nossos engenheiros levem em conta a aerodinâmica do trator e do reboque combinados.

Há várias áreas que focamos ao procurar maneiras de minimizar o arrasto aerodinâmico total. Primeiro, procuramos maneiras de melhorar o fluxo de ar sobre o trator e o reboque. Carenagens com desenho apropriado, montadas sobre a cabine, são críticas na obtenção de menor arrasto aerodinâmico. Segundo, buscamos maneiras de minimizar a distância entre a cabine e o reboque para otimizar o fluxo de ar. Em uma aplicação rodoviária com alta velocidade de cruzeiro, uma diminuição dessa distância em 250 mm pode reduzir o consumo de combustível em até 2,2%.

Hoje, a maioria dos nossos veículos inclui extensões aerodinâmicas na parte de trás da cabine do trator, o que também faz diminuir o consumo. Estamos explorando novas ideias para ajudar a minimizar esta distância como, por exemplo, uma quinta roda deslizante que a diminui quando o caminhão está em velocidades de cruzeiro rodoviárias.

Terceiro, levamos em consideração os efeitos que o reboque como um todo tem sobre a aerodinâmica. Testes em túnel de vento com esteira rolante de modelos em escala reduzida e em tamanho real, testes em estrada, testes de desaceleração livre (coast-down) e análise computacional da dinâmica dos fluidos são usados em todos os nossos tratores completos com reboques, o que nos ajuda a encontrar o melhor desempenho aerodinâmico global.

Hoje, a Navistar está trabalhando em colaboração com fabricantes de reboques nos Estados Unidos para ajudar a validar itens como saias de chassi integrais e extensores aerodinâmicos para os reboques.

Nem todos esses avanços já chegaram às frotas dos clientes. Todavia, os crescentes aumentos do preço do diesel irão algum dia justificar a adoção destas tecnologias nas frotas de veículos comerciais pesados.

*Kevin Golsch, engenheiro-chefe de Aerodinâmica, Navistar, Inc.*

O arrasto que é causado pelo radiador pode ser diminuído reduzindo a área da entrada. Outro método é ainda mais eficaz: aletas ajustáveis colocadas na frente do radiador para suprir as necessidades de arrefecimento sob demanda. Os carros têm propriedades mais aerodinâmicas quando as aletas estão fechadas.

### Rodas e assoalho

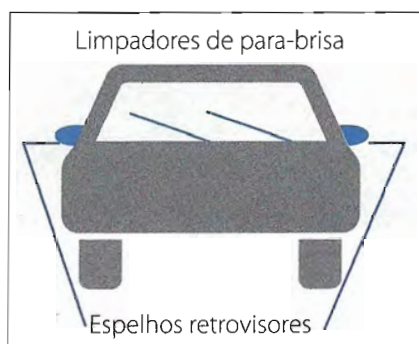
5% do arrasto aerodinâmico pode ser reduzido em função do formato das caixas de rodas

O ar que flui pelas laterais e sob a carroceria do carro pode ser influenciado pelas caixas de rodas e outras áreas irregulares criando redemoinhos nesses locais e prejudicando o avanço do carro. A solução aerodinâmica ideal seria cobrir as caixas de roda inteiramente, que contrasta com as exigências visuais de muitos motoristas. Os assoalhos, por outro lado, na sua maioria são agora cobertos ou planos.

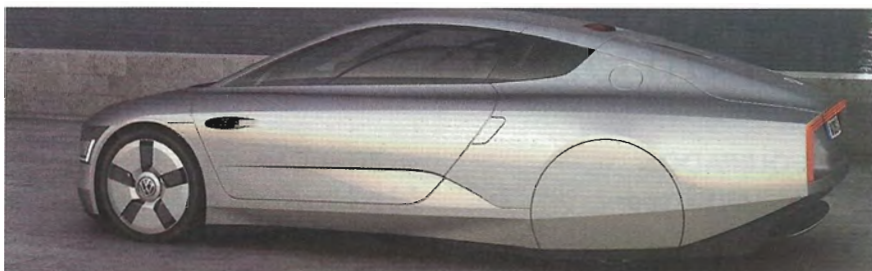
## Ajuste fino

### A aerodinâmica em detalhes

A forma da carroceria tem grande efeito sobre a aerodinâmica de um carro. Muitos detalhes, porém, podem ser concebidos de tal forma a fornecer, tanto quanto possível, o menor contato de áreas irregulares com o vento, como espelhos laterais e limpadores de para-brisa.







As propriedades aerodinâmicas são ideais quando as caixas de roda são totalmente cobertas. No momento, esta concepção só é encontrada em veículos de estudos como o XL1, o carro de 1 litro da Volkswagen



Os limpadores de para-brisas aerodinamicamente melhorados direcionam o fluxo do ar mais facilmente devido aos defletores



As câmeras poderão substituir os espelhos laterais, como nos mostra o XL1: poderão ser vistas mais frequentemente em um futuro próximo

### Limpadores com defletores

Limpadores interrompem a superfície lisa do para-brisa e aumentam o arrasto do ar. No momento, existem limpadores de para-brisa aerodinamicamente eficientes, com alguma coisa parecida com um minideflator que direciona o fluxo de ar quando eles estão em uso. Dependendo do carro, os limpadores ficam próximos às colunas A, junto ao para-brisa, quando estacionados – reduzem a turbulência em torno da área frontal.

Fontes: Bosch; Seat (2012)

### Câmeras em vez de espelhos

Os espelhos retrovisores laterais, em particular, interrompem as linhas laterais de um veículo e oferecem área de contato com o vento. Se forem substituídos por câmeras, esta exposição será significativamente reduzida. A imagem gerada é exibida em telas à esquerda e à direita do volante. Mas, na Europa, essas câmeras só estarão legalizadas em quatro anos.

Fontes: Auto Motor und Sport (a partir de 2011); Automobiltechnische Zeitschrift für (2012)

O Futuro pede Daltrix®



Ainda não sabemos como será o carro do futuro,

mas a tecnologia dos produtos oferecidos pela Daltrix estará presente nele.

Em seu próximo projeto automotivo, conte com a tecnologia da linha Daltrix® em soluções para adesão, proteção, lubrificação e limpeza de precisão para:

- ✓ Carroceria e faróis
- ✓ Chassis e freios
- ✓ Interior e NVH
- ✓ Powertrain
- ✓ Elétrica
- ✓ Eletrônica



A Daltrix® é uma divisão da D'Altomare Química especializada em produtos e suporte técnico em aplicações para os segmentos: transportes, eletrônica, energia e equipamentos.

Oferece a mais recente tecnologia através de itens desenvolvidos por companhias multinacionais e utilizados em países do mundo todo. Com mais de 40 anos de experiência, certificações Prodir e ISO 9001, oferece atendimento com padrões internacionais de qualidade.

VISITE-NOS NO

Congresso SAE BRASIL 2012

02 A 04 DE OUTUBRO - EXPO CENTER NORTE - SP



D'Altomare química

Entre em contato com a Daltrix®  
www.daltrix.com.br - (11) 3523-8606