



## ***Impacto de superfícies macro ou micro modificada na perda de carga em escoamento interno de fluidos compressíveis. Pedro Henrique de Paula Souza Luz, Dr. Rogério Gonçalves Santos***

### **• Resumo**

Perante as novas exigências de legislações e mercado, a busca por maior eficiência energética dentro da indústria automotiva vem sendo intensificada. Diante destes desafios, a exigência de projeto de sistemas ou componentes mais eficientes torna-se necessário. Muitos sistemas ou componentes utilizados possuem a função de transporte de fluidos em dutos, assim a busca de maior eficiência energética nestes defronta-se com novas tecnologias capazes de reduzir a perda de carga em escoamento interno de fluidos. Neste contexto a aplicação de *dimples* (sucos com formatos ondulados) para promover o atraso do descolamento da camada limite vem sendo estudada para a redução do arrasto aerodinâmico e perda de carga.

O trabalho realizado visou estudar, através de simulações numéricas, o impacto no escoamento da aplicação de *dimples* em regiões definidas de um coletor de admissão idealizado. Avaliou-se os diversos parâmetros dos *dimples* (diâmetro, forma, distância entre *dimples* e profundidade) na perda de carga do escoamento interno do mesmo.

### **1- Introdução**

A busca por eficiência energética é uma das principais características dos projetos da indústria automotiva. Muitos sistemas (ou mesmo componentes) presentes em um veículo possuem como principal fenômeno o escoamento interno de fluidos. A perda de carga deste escoamento está relacionada diretamente com a influência causada pela parede do duto, que reduz a velocidade das partículas em sua proximidade, inferindo numa redução de pressão total do sistema. Desta forma, projetos de engenharia que conseguem otimizar esta característica relativa ao escoamento do fluido trazem um incremento na eficiência do sistema ou do componente.

Por meio do estudo de descolamento da camada limite em um escoamento interno de um coletor de admissão de um Fórmula SAE (2014), é comprovado e demonstrando a importância do tema para o desempenho de motores a combustão, uma dentre as diversas aplicações deste tipo de problemas de escoamento interno dentro da indústria automotiva.

Outros exemplos, ligados ao meio automotivo, que podem ser facilmente citados como casos onde o aprimoramento dos dutos pode ser benéfico são: os condutores de ar de climatização da cabine do veículo, coletores dos gases de escapamento e circuitos de refrigeração de bateria de veículos elétricos e híbridos.

Na literatura existem diversos trabalhos que estudam a aplicação de *dimples* para a redução do arrasto aerodinâmico tanto em escoamento externo quanto interno (Bogdanovic- Jovanovic *et al*, 2012; Chien *et al*, 2017; Lienhart *et al*, 2010; Naruo *et al*, 2014; Rouser, 2002). Destes citados apenas o trabalho de Rouser, 2002 é relacionados a escoamento interno.

Perante esse cenário estudos , como o presente, de tecnologias capazes de reduzir a perda de carga em escoamento interno podem trazer significativos benefícios para o projeto de sistema ou componentes automotivos eficientes.

## 2- Objetivo

O principal objetivo do presente trabalho consiste em estudar, através de simulação numérica, o impacto da aplicação de *dimples* em regiões específicas de um coletor de admissão idealizado. Pesquisar se a superfície modificada promove atraso do descolamento da camada limite, o que reduz a influência da parede no escoamento e, conseqüentemente, a redução da perda de carga total do escoamento.

O trabalho, foi desenvolvido em conjunto com à engenharia da empresa Magneti Marelli Powertrain de Hortolândia, iniciou por uma extensa revisão bibliográfica sobre escoamento interno quando na presença de macro ou micro cavidades nas superfícies de contato com o fluido.

Posteriormente, baseado nas características fluidodinâmicas de um coletor de admissão, foi proposto uma geometria idealizada deste componente de forma a simplificar a mesma para a execução da simulação.

Com base neste modelo geométrico idealizado, buscou-se compreender o impacto das variáveis (malha, modelo de turbulência, etc.) na representação dos fenômenos físicos de mecânica dos fluidos presente no problema.

E após esses passos, foi realizado simulações CFD a fim de avaliar o impacto da forma e dimensões dos *dimples* no escoamento interno e seus respectivos parâmetros de saída, com perda de carga, velocidade do escoamento linhas de corrente.

## 3 - Metodologia numérica

O estudo foi realizado por meio de simulações computacionais, utilizando os softwares Fluent e Star CCM+. Estes programas conseguem de forma analítica resolver a equação de Navier-Stokes (Anderson, 2001), mostradas abaixo, que estabelece a conservação da quantidade de movimento do sistema.

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \mathbf{U} \cdot \nabla(\mathbf{U}) = \rho \mathbf{g} - \nabla(p) + \mu \nabla^2 (\mathbf{U})$$

*Equação 1: Navier-Stokes*

Existem três tipos de simulação CFD que são mais utilizados, o DNS (Direct Numeric Solution), o modelo LES (Large eddy Simulation), e o modelo RANS (Reynold-Averaged Navier Stokes).

O método aplicado foi o RANS, pois ele atinge resultados úteis em termos de engenharia com muito menos recursos computacionais do que os métodos LES e DNS. Este método consiste em usar a média temporal das equações de Navier-Stokes e modelar as flutuações de turbulência. Ele é focado em obter-se o escoamento médio e os efeitos da turbulência nas propriedades médias do escoamento.

Para as simulações foi definido a utilização do modelo de turbulência SST k-omega por ser um modelo representa bem o comportamento do fluido próximo às paredes. O k-omega é uma representação que adota como componente de dissipação de energia cinética turbulenta em uma taxa que se baseia no volume e no tempo, porém tem dificuldades para simular escoamentos livres. Já o SST é um complemento, pois faz uma junção das características presentes no k-epsilon (escoamento livre) e no k-omega (para regiões próximas à parede).

No pós processamento da simulação, o comportamento do fluido foi analisado de forma gráfica e pelos valores resultantes das funções 2 e 3. O coeficiente de arrasto (CD) é o coeficiente da força resultante da interação do fluido em deslocamento com a parede da secção. Já a perda de carga refere-se a redução de energia sofrida pelo fluido no decorrer do escoamento.

$$CD = \frac{Fd}{A * 0.5 * \rho * V^2}$$

*Equação 2: Coeficiente de arrasto*

$$h = \int \frac{(V_o^2 - V_f^2)}{2g} \partial A + \int \left( \frac{P_o - P_f}{\rho g} \right) \partial A + (z_o - z_f)$$

*Equação 3: Perda de carga*

## 4 - Simulação 2D

Para realização das simulações CFD foi utilizado a Fluent 19,2 da Ansys, por ser um software que a Unicamp possui licenças. O programa foi utilizado para a realização das simulações 2D da secção do duto reto e da secção do cotovelo.

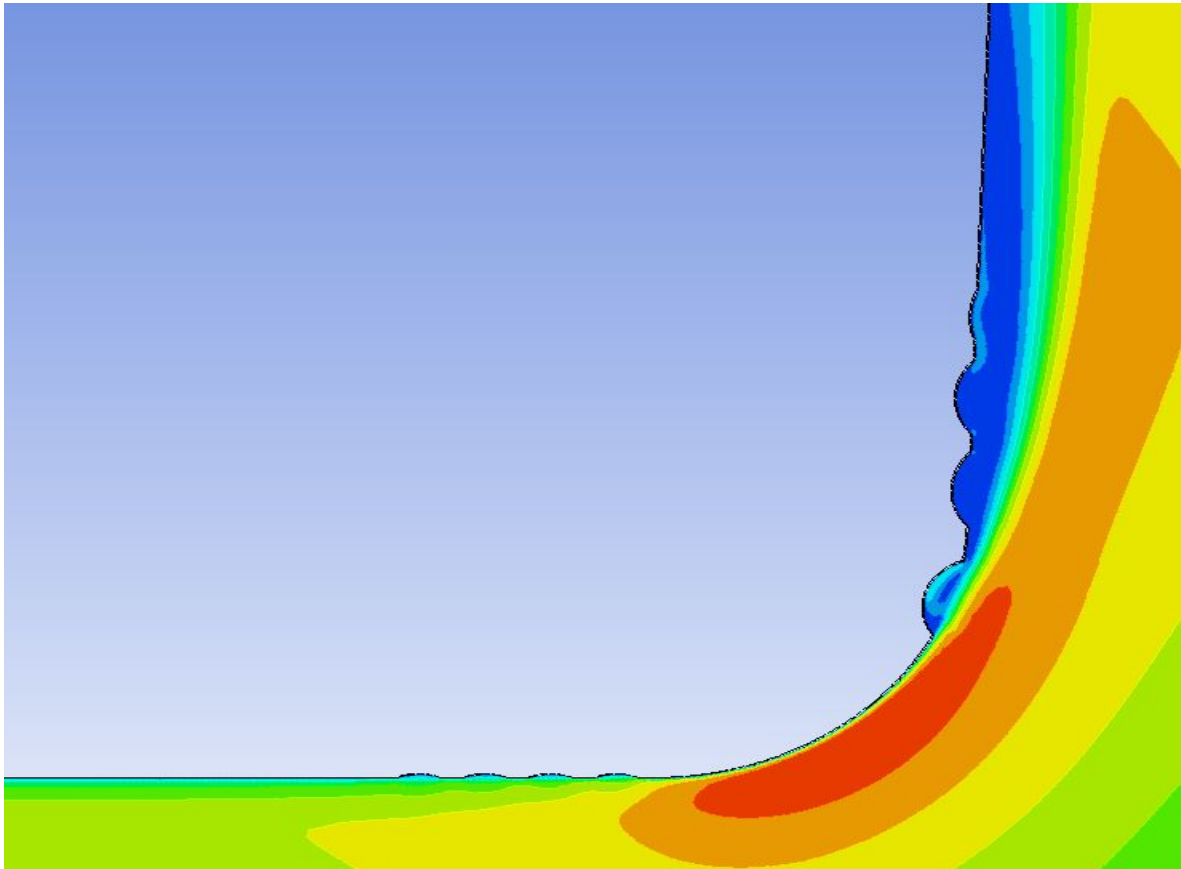
Como condição de contorno da simulação, se utilizou 200km/h (55,56m/s) como a velocidade de entrada do fluido. Com o intuito de simular um coletor de um motor 1.4 com 4 cilindros. Com esta velocidade o fluido atinge um valor superior a 0,3 Mach (relação entre a velocidade estudada com a velocidade do som), o que caracteriza uma compressão no fluido.

Entretanto, no decorrer da pesquisa foi decidido a redução da velocidade para 30 m/s para simplificar a simulação e reduzir os problemas de convergência encontrados, deixando-a como uma simulação de fluido incompressível. Com isso a simulação 2D com o duto reto foi a única parte do estudo onde se utilizou 55,56 m/s como velocidade de entrada.

Conforme indicado pela Ansys, para que a fosse possível realizar uma simulação do comportamento compressivo do gás era necessário a ativação do modelo de energia e utilizar um gás com real. O modelo de energia incorpora o acoplamento entre a velocidade do fluxo e a temperatura estática. Já o gás real é utilizado pois tem as propriedades e comportamento semelhantes ao ar atmosférico, modelado

como Air : real\_gas\_soave\_redlich\_kwong. Porém, para as simulações de fluido incompressível, foi utilizado um fluido de densidade constante.

Para os parâmetros de malha, foi realizado um pequeno estudo de sensibilidade, onde o tamanho de elemento de malha foi variado de 2 mm à 0,1 mm, assim foi constatado que a partir de 1,1mm não ocorrem grandes variações no valor do drag, caso simulado em questão foi de uma secção retangular lisa de 50 por 100mm.



*Figura 1: Resultado da simulação 2D da parede superior do cotovelo*

## **5 - Simulação 3D**

As simulações CFDs realizadas em geometrias 3D, foram executadas no software Star CCM+ 13.11. Esta mudança ocorreu pois se encontrou dificuldade para rodar uma simulação em 3D e também por haver um problema com a licença do Ansys. Mantendo as mesmas condições de contorno, velocidade de entrada 30m/s e gás ideal, foi realizado um estudo de malha de forma mais criteriosa.

Utilizando uma geometria base(r10\_5) para a secção lisa, foi realizado o estudo em duas etapas: modificação de parâmetros (element size , number of prism layer e refinamento de malha). Para otimizar estudo, foi criado um script de simulação base e um programa em python para alterar os parâmetros de malha do script , assim otimizar o setup da simulação.

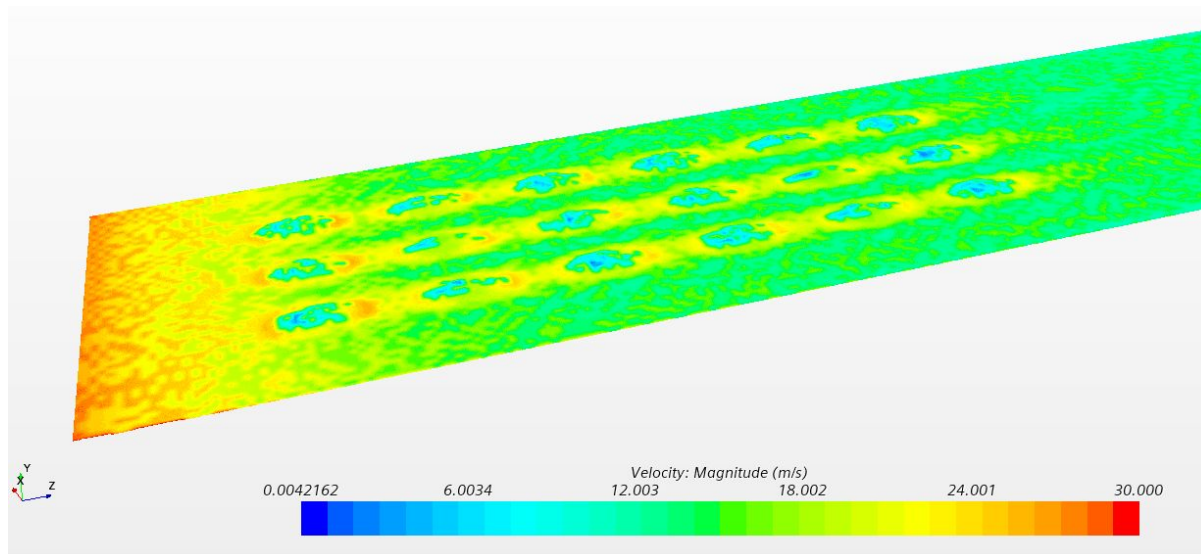


Figura 2: Resultado da simulação 3D de 18 Dimple

## 6 - Conclusão

Com base em todo desenvolvimento da pesquisa, foi possível observar a influência que o *dimple* tem em um escoamento interno. De forma analítica o estudo verificou os melhores valores dos parâmetros geométricos do *dimple*.

Inicialmente o estudo da secção reta foi realizado por simulações 2D. Com isso foi definido, na análise de 1 *dimple*, o diâmetro de 10mm com a profundidade de 0,5mm ou 0,25mm. Isto pelo fato de serem as geometrias que possuem um menor valor de coeficiente de arrasto. Já nas simulações com 3 dimples foi estabelecido que a distância entre os elementos seria de 5mm ou 10mm.

Após a definição desses parâmetros, foi analisado nas simulações 3D a dimensão lateral do *dimple*, a distância lateral entre os elemento e a verificação se as linhas têm um melhor desempenho alinhadas ou intercaladas. Com isso foi verificado que o melhor desempenho ocorreu com um quando o *dimple* tem 5mm de dimensão lateral e 6mm distância lateral, com as linhas de dimples alinhadas.

Entretanto, o estudo realizado com a geometria 3D, apesar das diversas geometrias de dimples estudadas e das geometrias extras propostas, não foi obtido nenhum resultados positivos. No melhor caso pesquisado o CD teve um aumento de 6,79% ea perda de carga teve um pequeno acréscimo de 0,14%. Este desfecho apenas confirmou o que foi encontrado na grande maioria das literaturas estudadas na revisão bibliográfica.

O estudo da secção 2D do cotovelo, foi realizado de forma mais arbitrária. Com ele foi possível observar uma redução de 17,8% do CD e uma redução de 4,6% da diferença de total pressure, quando analisado a parede superior do duto. Porém, para parede superior os resultados foram negativos. Houve um pequeno aumento de 0,43% do CD e um aumento de 1,78% da diferença de total pressure.