



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA**  
**CAMPUS DE JOINVILLE**  
**CENTRO DAS ENGENHARIAS DA MOBILIDADE**

**CURSO DE EXTENSÃO EM DFTCC**  
**SISTEMA DE ARREFECIMENTO DE MOTOR Á DIESEL – BRANCO BD 5.0**  
**G2**

Alunos:

Amauri da Silva Junior

Gustavo Marchiori

Joinville

2014.2

## **Introdução**

Os motores de combustão interna, seja ciclo Otto ou Diesel, necessitam de um sistema de arrefecimento para manter a temperatura ideal de funcionamento, visando obter maior economia de combustível consequentemente diminuir ao máximo as emissões de poluentes na atmosfera aproveitando da melhor forma possível a energia gerada.

Um motor desenvolve internamente temperaturas na casa dos 2500 ° C, o que sem um sistema de arrefecimento adequado, causaria em pouco tempo danos irreparáveis a toda sua estrutura. Aproximadamente 35% da energia oriunda da queima de combustível são convertidos em potência útil, os 65% restantes são liberados para o meio ambiente por meio de gases, perdas por atrito, radiação direta e pelo sistema de arrefecimento.

Devido aos fatores citados acima é de suma importância estudar e dimensionar um sistema de arrefecimento que seja capaz de manter o motor em uma temperatura que não prejudique os seus componentes e que proporcione a melhor condição de operação do mesmo.

## **Objetivo:**

Simulação do sistema de arrefecimento de motor ciclo Diesel, utilizando dinâmica de fluido computacional (CFD).

## **Descrição global do problema:**

Este projeto estuda o comportamento de motor Diesel quanto à perda de calor para o meio externo. Motor utilizado: Branco. BD 5.0 G2, especificações:

- Tipo de combustível: Diesel;
- Sistema de refrigeração: Ar;
- Diâmetro x curso: 70 mm x 50 mm;
- Motor monocilindro;
- Potência máxima: 4,2 c.v. a 3600 RPM;
- Torque máximo: 1,25 kgfm á 2500 RPM;
- Taxa de compressão: 20:1.

Neste tipo de motor, onde não há sistema de arrefecimento á água ou á óleo, todo o sistema de arrefecimento é realizado pela troca de calor entre motor e ar ambiente. Este sistema de refrigeração se justifica devido às dimensões do motor, bem como da potência produzida pelo mesmo, haja vista que a perda de calor entre motor – ar ambiente é suficiente para a manutenção deste motor.

Para a simulação utiliza-se a dinâmica de fluido computacional, através do software Ansys Fluent 15.0

## **Análise Fenomenológica:**

Neste estudo de caso, estuda-se o sistema de arrefecimento do motor, que ocorre por troca de calor entre a carcaça do mesmo e o meio externo, no caso, ar a temperatura em condições normais de temperatura e pressão. A troca de calor entre motor e ar ambiente pode ocorrer pelos processos de convecção natural, convecção forçada e radiação, utiliza-se neste artigo o número de Grashof para analisar qual dos processos de convecção é dominante nesta

situação. O fluxo de calor entre a parede interna da câmara de combustão e parede externa do motor se dá através do processo de condução.

O número de Grashof é adimensional, definido como:

$$Gr = \frac{g\beta(T_s - T_\infty)x^3}{\nu^2} = 9,81 * \left(\frac{1}{298,15}\right) * \frac{(368,15 - 298,15) * 0,29564^3}{1,86E - 5^2} = 1,72E8$$

Onde  $g \left[\frac{m}{s^2}\right]$  é a aceleração da gravidade,  $\beta$  é o coeficiente térmico de expansão do fluido,  $T_s [K]$  é a temperatura superficial do motor,  $T_\infty [K]$  é a temperatura do ar,  $\nu \left[\frac{m^2}{s}\right]$  é a viscosidade cinemática do fluido e  $x [m]$  é o comprimento característico do motor, a transição para (IVERSON, 2013).

O número de Reynolds é definido como:

$$Re = \frac{ux}{\nu} = \frac{7 * 0,29564}{1,86E - 5} = 1,11E5$$

Onde  $u \left[\frac{m}{s}\right]$  é a velocidade do fluido. (IVERSON, 2013). O número de Reynolds ficou na ordem de grandeza de  $10^5$ , o que caracteriza um escoamento em transição para turbulento (INCROPERA, 1992).

A razão do número de Grashof pelo número de Reynolds (ao quadrado) informa qual das formas de convecção é predominante, caso esta razão seja superior a unidade, a convecção forçada pode ser desprezada, caso inferior a unidade, a convecção natural pode ser desprezada (INCROPERA, 1992). Realizando os cálculos para este motor, a razão possui valor igual à: 0,014.

A convecção natural é o processo onde o movimento do fluido ocorre devido às forças de empuxo (INCROPERA, 1992). O movimento do fluido não é gerado por qualquer fonte externa, mas somente por diferença de densidade do fluido, ocorrido devido a gradientes de temperatura. Como a razão entre número de Grashof e número de Reynolds elevado ao quadrado é menor que a unidade, este tipo de convecção pode ser desprezado, havendo somente convecção forçada e radiação como formas de troca de calor.

A convecção forçada é responsável por quase que a totalidade da troca de calor entre motor e ar ambiente. É o processo no qual o movimento do fluido é gerado de maneira externa, no caso irá existir uma velocidade relativa entre motor e ar ambiente, uma vez que se supõe este motor operando em um veículo. O motor possui superfícies estendidas, as aletas, que são utilizados para aumentar a troca de calor na fronteira do sólido.

Todas as formas de matéria emitem radiação (INCROPERA, 1992). Consideramos a radiação neste artigo devido a alta temperatura, em relação ao ar ambiente, do corpo estudado.

### **Abordagem em CFD**

Os modelos de turbulência mais indicados para o nosso problema são o Spalart-Allmaras, k- $\epsilon$  e k- $\omega$ , cada um deles possuem suas particularidades e o seu uso depende dos parâmetros por nós adotados.

Sparlat-Allmaras: Adiciona apenas uma variável de viscosidade e não utiliza qualquer função de parede. Esse modelo utiliza menos memória do sistema do que outros modelos, entretanto geralmente não apresenta boa precisão nos resultados.

k-ε: Esse modelo resolve para duas variáveis, uma para a energia cinética turbulenta e outra para a taxa de dissipação de energia cinética. É amplamente usado na indústria, fornece boa taxa de convergência e utiliza relativamente pouca memória do sistema. Propicia bons resultados em escoamentos externos de geometrias complexas e é recomendado para problemas de transferência de calor e massa em alto Reynolds.

k – ω: É similar ao k-ε mas a segunda variável resolve para uma taxa específica de dissipação de energia cinética. Necessita de mais memória do sistema do que os outros modelos e possui maior dificuldade de convergência e é um tanto quanto sensível aos valores iniciais da solução. É recomendado para situações de baixo Reynolds e onde o modelo k-ε não é preciso como em escoamentos internos e sobre superfícies que possuem forte curvatura, separação de escoamento e jatos.

Analisando as características de cada um desses modelos optou-se pela utilização do modelo k-ε, haja vista a melhor qualidade de resposta deste em comparação ao primeiro modelo citado neste documento, bem como a alta taxa de convergência deste modelo. O último modelo é mais complexo de ser resolvido, além do que é adequado para baixos valores de Reynolds e também escoamento interno, neste artigo trabalha-se com escoamento externo e valor de Reynolds elevado.

## **Conclusão**

Através do estudo realizado, pode-se aplicar conhecimentos relativos ao processo de transferência de calor entre um pequeno motor à Diesel e o meio externo, provendo, através de simulação em software, a análise de como ocorre o processo de perda de energia pelo motor, bem como do fluxo de ar nas paredes externas do mesmo, propiciando quantitativamente determinar parâmetros inerentes de projeto.

## **Referências**

INCROPERA, Frank P.; WITT, David P. **Fundamentos de Transferência de Calor e Massa**, LTC, Rio de Janeiro, 1992.

IVERSON, Jared M.. **Computational Fluid Dynamics Validation Of Buoyant Turbulent Flow Heat Transfer**. 2013. 172 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Mechanical Engineering, Utah State University, Logan, 2013.

VARELLA, Carlos Alberto Alves. **Sistemas Auxiliares Dos Motores De Combustão Interna**. Rio de Janeiro: 2012.

<http://www.comsol.com/blogs/which-turbulence-model-should-choose-cfd-application/>  
Acessado em: 08.11.2014

[http://people.nas.nasa.gov/~pulliam/Turbulence/Turbulence\\_Guide\\_v4.01.pdf](http://people.nas.nasa.gov/~pulliam/Turbulence/Turbulence_Guide_v4.01.pdf) Acessado em: 08.11.2014

<http://docs.lib.purdue.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=3061&context=icec>. Acessado em: 08.11.2014