

# Appling polymeric material in engine cooling system

**João Paulo Sparvoli Cardoso da Silva**

Mahle Behr Gerenciamento Térmico do Brasil

**Diego Pivatto Erberelli**

**Edison Tsutomu Miyauchi**

**Evaldo Hatimine**

Mahle Behr Gerenciamento Térmico do Brasil

## ABSTRACT

The automotive industry has invested in material development with the objective in components mass reduction, keeping or improving the durability, allowing more energy efficiency and less greenhouse gas emissions.

The polymers presented a great alternative and a main substitute of metallic parts. To the engine cooling thermal managements components, the challenge to change the metallic parts is the high performance requirements of polymeric material, due to the requirements of high pressures and temperatures, resistance to cooling fluids and external oil residue, in addition to the complexity of the design.

This study aims to make a comparative analysis of weight reduction and productive complexity for a cooling system using plastic materials to replace metal components, resulting in a simpler, lighter and cheaper manufacturing process meeting the required performance requirements. Numerical simulation techniques of CFD and FEA and validation tests of components and system in bench and vehicles will be used.

## RESUMO

A indústria automobilística tem investido no desenvolvimento de materiais com o objetivo de redução de massa nos componentes, mantendo e melhorando a durabilidade, permitindo maior eficiência energética e menor emissão de gases de efeito estufa.

Os polímeros se apresentam como uma ótima alternativa e principal substituto de peças metálicas. Para os componentes voltados ao gerenciamento térmico de motores, o desafio da substituição de peças metálicas está na necessidade de alta performance dos materiais poliméricos, devido aos requisitos de altas pressões e temperaturas, resistência aos fluidos de arrefecimento e resíduo externos de óleo, além da complexidade do design.

Esse estudo tem como finalidade fazer uma análise comparativa de redução de peso e complexidade produtiva para um sistema de arrefecimento utilizando materiais plásticos para substituir componentes metálicos, resultando em um processo de fabricação mais simples, mais leve e de menor custo com atendimento aos requisitos de performance exigidos. Serão utilizadas técnicas de simulação numéricas de CFD e FEA e testes de validação dos componentes e do sistema em bancada e veículos.

## INTRODUÇÃO

A indústria automobilística sempre procura novas tecnologias para a melhor eficiência energética nos seus veículos. Uma tecnologia bastante aceita é a utilização de turbo compressores que aproveitam a energia que seria eliminada nos gases de escape. Com isso é necessário a utilização de intercoolers (Figura 1).

Outra estratégia para a redução das emissões e a redução de massa. Estudos de diversas marcas mostram que a redução de 1kg no peso do veículo de passeio corresponde uma redução de 0,00006 kg de CO<sub>2</sub>/km e para veículos comerciais a redução é de 0,00072 kg de CO<sub>2</sub>/km.

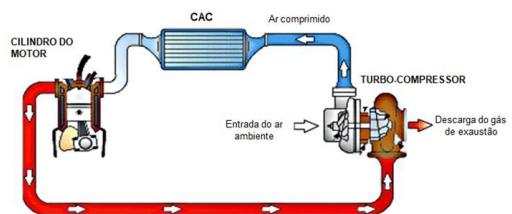


Figura 1 – Circuito de aproveitamento dos gases de escape [Mahle].

## INTERCOOLER:

Um intercooler (Figura 2) é um trocador de calor (Ar-Ar) que proporciona melhor performance do motor e reduz o consumo de combustível. A sua função é baixar a temperatura do ar após a compressão pelo turbo-

compressor. A diminuição da temperatura do ar antes da admissão do motor garante que se tenha mais massa de ar (oxigênio) na mistura ar/combustível, isso melhora a eficiência energética da queima [1, 2, 4].



Figura 2 – intercooler [Mahle].

Porém os intercoolers tem que ter uma boa performance na troca de calor sem que tenham uma restrição interna grande para que a vazão de ar adicional vinda do turbo compressor não seja reduzida pela restrição do intercooler.

Existem vários parâmetros que podemos modificar no sistema de construção do intercooler que impacta a performance do componente, alguns desses parâmetros são:

- Quantidade de tubos;
- Design da aleta externa (Figura 3);
- Design da aleta interna (Figura 4);
- Largura do tubo;
- Espessura da parede do tubo.



Figura 3 – Detalhe da aleta externa do intercooler [Mahle].



Figura 4 – Detalhe da aleta interna do intercooler [Mahle]

Um desafio que temos na utilização de materiais plásticos nas caixas do intercooler são as condições de aplicação deles. As peças são aplicadas em condições de

temperatura até 220°C, pressão até 4,0 bar, resistência química [3, 4].

## MATÉRIAS PRIMAS

Os plásticos oferecem várias vantagens em relação à redução de peso e devido ao processo de manufatura mais simples.

Os plásticos podem ser divididos em 2 categorias, termoplásticos e termofixos. Devido as características da aplicação os termoplásticos são amplamente usados para essas peças [3].

## METODOLOGIA

Iremos usar um estudo de caso o qual substituiremos um intercooler que temos a utilização de material metálico em ambas as caixas para material plástico. Atualmente esse intercooler é utilizado para a aplicação de um caminhão médio aplicação diesel com capacidade de carga de até 23 toneladas.

Esse estudo será dividido em 6 partes, definição do trocador, pré-projeto, simulação estrutural, simulação da perda de carga, teste de performance em bancada e teste estrutural em bancada.

## DEFINIÇÃO do TROCADOR

Com base nos parâmetros da aplicação com a temperatura de entrada, vazão interna e externa, troca térmica necessária e layout do veículo definimos qual é a melhor configuração do módulo de arrefecimento para a aplicação alterando os parâmetros mencionados anteriormente.

Os parâmetros que usamos nesse estudo para a definição são:

Temperatura de entrada: 215°C

Pressão de entrada (abs): 3,0 bar

Fluxo de ar interno: 600-1300 kg/h

Fluxo de ar externo: 1,77-4,0 kg/s

Rejeição térmica do trocador: 30 – 59 kW

Máxima perda de carga do bloco: 25 mbar

A Mahle desenvolveu seu software (BISS v8.16.2) o qual é utilizado para as simulações de performance dos trocadores de calor desenvolvidos pela empresa.

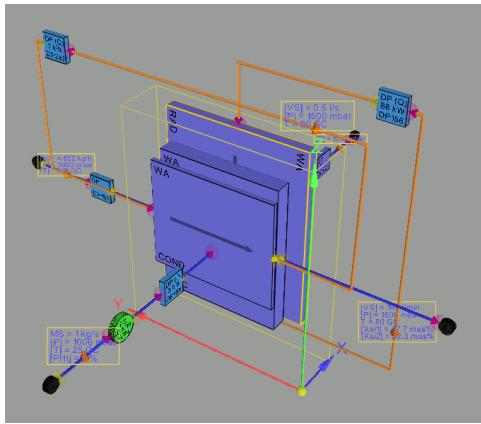


Figura 5 – Diagrama de blocos representando o módulo [Mahle].

Os valores encontrados estão na tabela abaixo:

| Vin<br>[kg/h] | Pin<br>[bar] | Tin<br>[°C] | Vex<br>[kg/s] | Tex<br>[°C] | Q<br>[kW] |
|---------------|--------------|-------------|---------------|-------------|-----------|
| A             | 3,0          | 210         | 1,77          | 25          | 30,2      |
| B             | 3,0          | 210         | 3,20          | 25          | 52,7      |
| C             | 3,0          | 215         | 4,00          | 25          | 59,3      |

Tabela 1 – Resultados da simulação 1D.

Onde Vin é a vazão dos gases que passam por dentro do intercooler, Te é a temperatura dos gases na entrada interna do intercooler, Pe é a pressão dos gases no bocal de entrada do intercooler, Vex é a vazão do ar externo, Tex é a temperatura do ar na região frontal do intercooler e Q é a rejeição térmica resultante do trocador.

#### PRÉ-PROJETO

Com base nas informações de layout do veículo, requisitos do cliente e resultados da simulação de performance, foi concebido um módulo de arrefecimento composto por um radiador de água, um intercooler e um defletor.

Utilizando o software de CAD CATIA-V5/R28 foi definido o pré-projeto do módulo de arrefecimento onde temos um intercooler que é composto por um bloco (principal elemento trocador de calor, em alumínio), guarnição (elemento vedante, em composto de silicone) e as caixas plásticas (PA 66-GF50 lado entrada e PA66 GF-30 lado saída) as quais recebem a ancoragem do módulo, a montagem de um radiador e de um condensador. O radiador também é composto por um bloco, guarnição (EPDM) e caixas plásticas (PA 66 GF-30 para ambas) e defletor em plástico (PP T40).

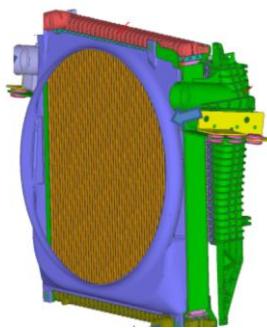


Figura 6 – Representação 3D do módulo de arrefecimento [Mahle].

#### SIMULAÇÃO ESTRUTURAL

Os modelos foram elaborados através do software de modelagem ANSA & META Versão 21.1.1 utilizando uma combinação de elementos sólidos TETRA10, HEXA8, QUAD4. As fixações dos modelos realizados de acordo com guideline Mahle. O cálculo foi realizado com software PERMAS versão 18.00.346.

Condições de contorno conforme fixações em veículo incluindo coxins, suportes fornecidos na definição do pré-projeto.

Foi feita simulações onde foi definida as frequências naturais, análise estática com carregamento de aceleração nos eixos X, Y e Z e pressão interna nos componentes além de simulações específicas de acordo com o perfil de aplicação que foram medidos na peça de alumínio atual.

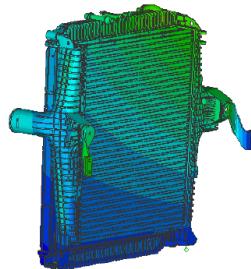


Figura 7 – Simulação estrutural [Mahle].

#### Resultado das Simulações:

Frequência natural abaixo de 25hz e as tensões encontradas nos componentes estão abaixo das tensões admissíveis dos critérios de avaliação do grupo Mahle Behr.

#### SIMULAÇÃO DE PERDA DE CARGA

A Mahle desenvolveu seu software (MEHR SPEED – Mahle Behr Simulation of Pressure Loss & Enthalpy in Early phases of Development) que fornece de maneira rápida, aproximações de perda de carga e transferência de

calor nas fases iniciais do desenvolvimento dos projetos. Com a intenção de orientar de forma comparativa o melhor design de caixas para a aplicação.

Esse software considera malhas e geometrias mais simplificadas com menor acuracidade ( $\pm 10\%$ ) em relação às análises CFD convencionais completas.

O modelo utilizado foi o mesmo gerado no CAD.

Foi feita a simulação com um design de caixa plástica com condição de contorno conforme informado abaixo:

- Temperatura de entrada: 220°C
- Pressão de entrada: 3,0 bar
- Vazão de ar interna: C kg/h

Resultado da Simulação:

|                  | Perda de carga | Contribuição para a perda de carga |
|------------------|----------------|------------------------------------|
| Caixa de entrada | 45,94 mbar     | 50,3%                              |
| Bloco            | 29,46 mbar     | 32,2%                              |
| Caixa de saída.  | 16,0 mbar      | 17,5%                              |
| Total            | 91,4 mbar      |                                    |

Tabela 2. – Resultado da simulação da perda de carga.

#### TESTE DE PERFORMANCE EM BANCADA

Os testes em bancada foram realizados isotermicamente com temperatura de entrada do ar de 27°C e pressão de entrada no intercooler 3,0 bar.

| Vazão de ar | Perda de carga total | Perda de carga do bloco |       |
|-------------|----------------------|-------------------------|-------|
| A kg/h      | 21,2 mbar            | 7,40 mbar               | 34,9% |
| B kg/h      | 56,7 mbar            | 18,0 mbar               | 31,7% |
| C kg/h      | 80,2 mbar            | 24,60 mbar              | 30,7% |

Tabela 3. – Resultado do teste em bancada

Colocando as peças na mesma condição de teste da simulação temos o seguinte resultado comparando com os valores simulados:

|                      | Simulado  | Medido    | Desvio |
|----------------------|-----------|-----------|--------|
| Perda de carga total | 91,4 mbar | 99,3 mbar | 8,7%   |

Tabela 4. – Comparativo do resultado em bancada e simulado

#### TESTE ESTRUTURAL EM BANCADA

O teste é realizado com as acelerações medidas em veículo e trocadores de calor pressurizado.

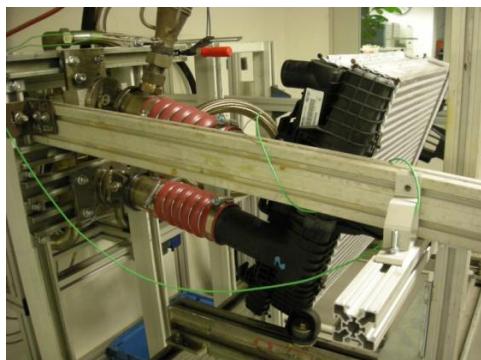


Figura 8 – Teste de durabilidade em bancada [Mahle].

#### CONCLUSÃO

Com esse projeto conseguimos uma redução de 3,7 kg ~ 25% de redução no peso da peça, o que corresponde uma redução nas emissões de aproximadamente 0,0026 kg de CO2/km.

Como em média cada veículo comercial anda em média de 120.000 km por ano então temos uma redução de aproximadamente 320kg de CO2 para cada veículo por ano.

#### REFERÊNCIA

[1] ATSUMI, Masakazu; URUSHIHARA, Masaru, “Development of intercooler plastic tank material instead of Aluminium die-cast,” SAE Tech. Pap., 2013.

[2] C. Cuevas, D. Makaire, and P. Ngendakumana, “Thermo-hydraulic characterization of an automotive intercooler for a low pressure EGR application,” Appl. Therm. Eng., vol. 31, no. 14–15, pp. 2474–2484, 2011.

[3] SCHUTT, Bruno Eduardo Pereira “Novas aplicações de peças plásticas em substituição às peças metálicas na indústria automotiva,” [monografia] Centro Universitário do Instituto Mauá de Tecnologia, 2014

[4] FERREIRA, Rodrigo Ortins “Optimização de peças de plástico obtidas por injecção,” [dissertação] Universidade Técnica de Lisboa, 2016.

