

**CENTRO PAULA SOUZA
FATEC SANTO ANDRÉ
TECNOLOGIA EM ELETRÔNICA AUTOMOTIVA**

GUILHERME MEISE

**ESTUDO DA VIABILIDADE DE UM SISTEMA DE GERENCIAMENTO
ELETRÔNICO NO SISTEMA DE ARREFECIMENTO DOS MOTORES DE
COMBUSTÃO INTERNA**

Trabalho de conclusão de curso entregue à
Fatec Santo André como requisito parcial
para obtenção do título de tecnólogo em
Eletrônica Automotiva.

Orientador: Prof. Marco Aurélio Fróes

**SANTO ANDRÉ
2021**

FICHA CATALOGRÁFICA

M515e

Meise, Guilherme

Estudo da viabilidade de um sistema de gerenciamento eletrônico no sistema de arrefecimento dos motores de combustão interna / Guilherme Meise. - Santo André, 2021. – 44f: il.

Trabalho de Conclusão de Curso – FATEC Santo André.
Curso de Tecnologia em Eletrônica Automotiva, 2021.

Orientador: Prof. Marco Aurélio Fróes

1. Eletrônica. 2. Sensor de temperatura. 3. Desenvolvimento. 4. Sistema de arrefecimento. 5. Gerenciamento eletrônico. 6. Tecnologia. 7. Veículos. 8. Motor de combustão interna. 9. I. Estudo da viabilidade de um sistema de gerenciamento eletrônico no sistema de arrefecimento dos motores de combustão interna.

629.2

GUILHERME MEISE

**ESTUDO DA VIABILIDADE DE UM SISTEMA DE GERENCIAMENTO
ELETRÔNICO NO SISTEMA DE ARREFECIMENTO DOS MOTORES DE
COMBUSTÃO INTERNA**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado a FATEC SANTO ANDRÉ
como requisito parcial à obtenção de título
de Tecnólogo em Eletrônica Automotiva.

BANCA EXAMINADORA

Local: Fatec Santo André

Horário: 20:00h

Data: 20/12/2021

Prof. Marco Aurélio Fróes

Presidente da Banca

Fatec Santo André

Prof. Msc. Cleber Willian Gomes

Primeiro membro da Banca

Fatec Santo André

Prof. Msc. Suely Midori Aoki

Segundo Membro da Banca

Fatec Santo André

SANTO ANDRÉ

2021

“Se você quer ser bem-sucedido, precisa ter dedicação total, buscar seu último limite e dar o melhor de si.”

Ayrton Senna

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer primeiramente a minha família, que me apoiou e me incentivou no dia a dia, em especial aos meus pais que me ensinaram que sem esforço não existe vitória, agradeço ao Professor Marco Aurélio Fróes e ao Professor Fernando Garup Dalbo pelo grande apoio a mim concedido, não esquecendo de todo corpo docente, e todos os funcionários da Fatec Santo André, que me ajudou diretamente a ter uma ótima instituição de ensino, com respeito e ética.

RESUMO

Este trabalho visa realizar um estudo sobre o sistema de arrefecimento veicular, convencionalmente de acionamento mecânico, visando propor as bases para o desenvolvimento de um sistema de arrefecimento com gerenciamento eletrônico. Com os controles eletrônicos da válvula termostática, bomba d'água, eletro-ventilador e do sensor de temperatura, possibilitando novos métodos de estratégias para o sistema de arrefecimento do veículo, tendo como objetivo a diminuição da perda de energia mecânica do motor, melhorando o desempenho do automóvel. Essa nova tecnologia pode proporcionar melhorias na troca térmica que ocorre no sistema de arrefecimento, gerando um desgaste menor do motor do veículo, principalmente dos veículos que enfrentam longos congestionamentos, assim tendo um trabalho de temperatura ideal no motor do veículo. Com esse novo sistema de arrefecimento eletrônico, é possível baixar perdas e desgastes do motor, melhorando o desempenho do automóvel, o que torna o carro mais econômico, diminuindo assim os níveis de emissões de gases do veículo.

Palavras-chave: Arrefecimento. Gerenciamento Eletrônico. Temperatura.

ABSTRACT

This work aims to carry out a study on the vehicle cooling system, conventionally of mechanical drive, qualified to propose as bases for the development of a cooling system with electronic management. With electronic controls of the thermostatic valve, water pump, electro-fan and temperature sensor, enabling new methods of approach for the vehicle's cooling system, aiming to reduce the loss of mechanical energy of the engine, improving the car performance. This new technology can provide improvements in the thermal exchange that occurs in the cooling system, generating less wear on the vehicle engine, especially on vehicles that face long congestion, thus having an ideal temperature work on the vehicle engine. With this new electronic cooling system, it is possible to reduce engine losses and wear, improve the car's performance, which makes the car more economical, thus lowering the vehicle's gas levels.

Keywords: Cooling. Electronic Management. Temperature.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 01 – Sistema de Arrefecimento.....	11
Figura 02 – Ciclo de trabalho do motor Ciclo Otto.....	14
Figura 03 – ECU Automotiva.....	16
Figura 04 – Sistema convencional de arrefecimento.....	17
Figura 05 – Radiador.....	18
Figura 06 – Ventilador Elétrico.....	19
Figura 07 – Válvula Termostática Fechada x Aberta.....	20
Figura 08 – Sensor de Temperatura da água do motor.....	21
Figura 09 – Interruptor Térmico.....	22
Figura 10 – Mangueiras do sistema de arrefecimento.....	23
Figura 11 – Bomba d'água.....	24
Figura 12 – Reservatório de expansão.....	25
Figura 13 – Comportamento da válvula termostática.....	29
Figura 14 – Exemplo de estratégia de funcionamento.....	30
Figura 15 – Exemplo de mapa de operação pré-definido.....	31
Figura 16 – Comparativo entre os níveis de emissões de Nox e MP.....	34
Figura 17 – Diagrama de blocos do sistema de controle proposto.....	37
Figura 18 – Bomba d'água elétrica linha BMW.....	38
Figura 19 – Válvula termostática eletrônica com válvula solenoide.....	39

LISTA DE ABREVIATURAS

MCI	Motores a combustão interna
PMI	Ponto morto inferior
PMS	Ponto morto superior
CV	Cavalo vapor
RPM	Rotação por minuto
Kgf.m	Kilo grama força metro
HC	Hidrocarbonetos
CO	Monóxido de carbono
CO ₂	Dióxido de carbono
O ₂	Oxigênio
NO _x	Óxidos de nitrogênio
MP	Material particulado
°C	Graus celsius
PWM	Modulação por largura de pulso

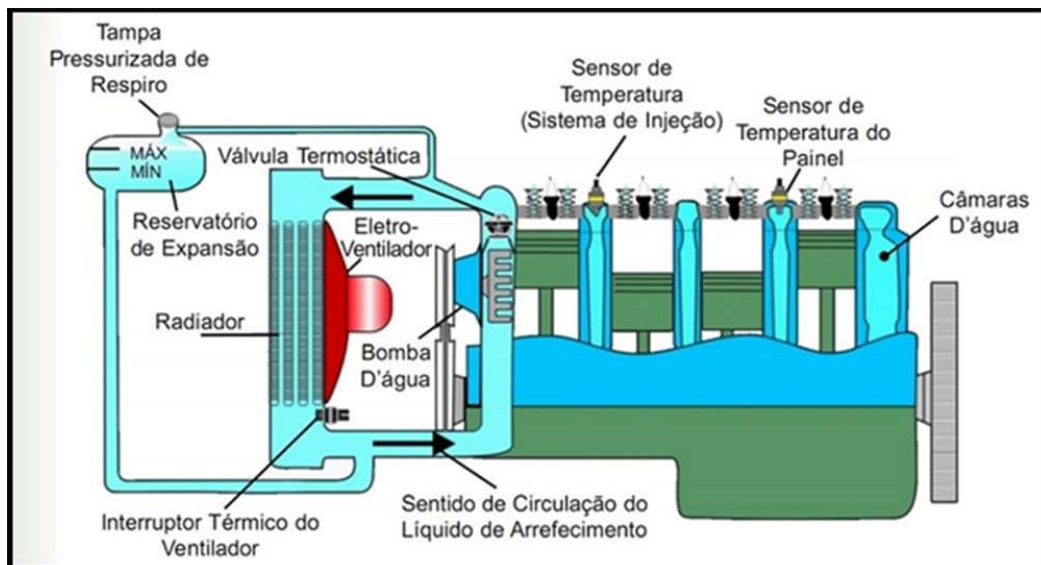
SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	11
1.1	OBJETIVOS	12
1.2	MOTIVAÇÃO	12
1.3	JUSTIFICATIVA.....	12
2.	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	13
2.1	MOTORES DE COMBUSTÃO INTERNA	13
2.1.1	MOTORES DE CICLO OTTO	13
2.1.2	MOTORES ASPIRADOS	15
2.1.3	MOTORES TURBOS	15
2.2	MOTORES DE CICLO DIESEL	15
2.3	SISTEMAS DE INJEÇÃO DE COMBUSTIVEL.....	16
2.4	SISTEMA DE ARREFECIMENTO	17
2.4.1	SISTEMA DE ARREFECIMENTO MECÂNICO	17
2.4.1.1	RADIADOR.....	18
2.4.1.2	VENTILADOR ELÉTRICO	19
2.4.1.3	VÁLVULA TERMOSTÁTICA.....	20
2.4.1.4	SENSOR DE TEMPERATURA DA ÁGUA DO MOTOR	21
2.4.1.5	INTERRUPTOR TÉRMICO	22
2.4.1.6	MANGUEIRAS	23
2.4.1.7	BOMBA D'ÁGUA	24
2.4.1.8	RESERVATÓRIO DE EXPANSÃO	25
2.5	TEMPERATURA DE TRABALHO DO MOTOR.....	26
2.6	TEMPERATURA DA CÂMARA DE COMBUSTÃO	26
2.7	PERÍODO DE AQUECIMENTO DO MOTOR “WARM-UP”	27
2.8	LÍQUIDO DE ARREFECIMENTO	27
2.9	HISTERESE.....	29
2.10	ESTRATÉGIA DE FUNCIONAMENTO	30
2.11	EFEITO DO AQUECIMENTO DO MOTOR NAS EMISSÕES VEICULARES.....	32
2.11.1	EFEITO NOS MOTORES CICLO OTTO	32
2.11.2	EFEITO NOS MOTORES CICLO DIESEL	33
3.	MATERIAIS E MÉTODOS	35
4.	RESULTADOS	36
5.	CONCLUSÃO.....	40
5.1	PROPOSTAS FUTURAS	41
	REFERÊNCIAS.....	42

1. INTRODUÇÃO

O sistema de arrefecimento é fundamental nos motores automotivos, vê-se conforme Figura 01, ele tem a função de realizar a troca térmica com o motor, mantendo o motor do veículo em temperatura ideal de trabalho, fazendo com que os componentes do motor não superaqueçam e cause danos ao veículo. A cada geração de novos veículos o sistema de arrefecimento recebe alterações, melhorias, implementação de novas tecnologias afins de obter um veículo que tenha potência, autonomia, conforto e desempenho, bem como atender as exigências ambientais, como baixar emissões de poluentes.

Figura 01 - Sistema de Arrefecimento



Fonte: MTE Thomson (2014)

1.1 OBJETIVOS

O objetivo desse trabalho é desenvolver um estudo da viabilidade de um controle eletrônico do sistema de arrefecimento veicular, com a finalidade de reduzir as perdas de rendimento mecânico do motor, reduzindo assim, o consumo de combustível e, por consequência reduzir as emissões.

O estudo tem como princípio desenvolver os seguintes passos:

- Conceituar sobre os princípios básico da combustão interna;
- Conceituar sobre o funcionamento do sistema de arrefecimento;
- Conceituar a aplicação do sistema de arrefecimento eletrônico.

1.2 MOTIVAÇÃO

A motivação que inspirou este trabalho veio da sala de aula, a fim de obter um controle eletrônico sobre o sistema de arrefecimento, reduzindo a perda mecânica do veículo, a perda de energia, buscando assim um melhor rendimento térmico, redução de emissões e redução de consumo de combustível na frota automotiva. Tendo em vista que a cada ano que passa as leis ambientais vão ficando cada vez mais rígidas.

1.3 JUSTIFICATIVA

Apesar da grande evolução tecnológica aplicada nos veículos atuais, ainda quase toda frota brasileira é formada por veículos de combustão interna, que utilizam o sistema de arrefecimento mecânico convencional, dependente somente da temperatura da água, não obtendo, assim, uma condição ideal de trabalho. Com um controle eletrônico total do sistema de arrefecimento pode-se aumentar a quantidade de parâmetros de controle para se obter uma temperatura de trabalho ideal, diminuindo o desgaste do motor.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Este capítulo apresentará os principais conceitos dos motores MCI e do sistema de arrefecimento, bem como seus componentes e características técnicas.

2.1 MOTORES DE COMBUSTÃO INTERNA

Os motores a combustão interna são um conjunto de peças fixas e móveis que transformam energia química do combustível em energia mecânica (LIMA, 2017).

2.1.1 MOTORES DE CICLO OTTO

O ciclo otto, como é chamado o motor a combustão interna de quatro tempos, tem como princípio de funcionamento realizar quatro operações em sequência, sendo elas: admissão, compressão, combustão e escape. Cada etapa desse princípio equivale a meia volta no virabrequim, onde um ciclo completo equivale a setecentos e vinte graus (720°). Para cada etapa, 180° de giro da árvore de manivelas. O movimento do pistão (êmbolo) é transformado em movimento rotacional da árvore de manivelas que por sua vez transfere a força gerada no motor as rodas do automóvel permitindo a movimentação do veículo e a sua condução para determinado destino (MILHOR, 2002).

Os seus quatros tempos funcionais são constituídos por:

1º Tempo: Admissão, à medida que o pistão se move do PMS (ponto morto superior) para o PMI (ponto morto inferior), a válvula de admissão se abre e a mistura de ar e combustível vaporizada é aspirada para dentro do cilindro. O virabrequim efetua meia volta (180°).

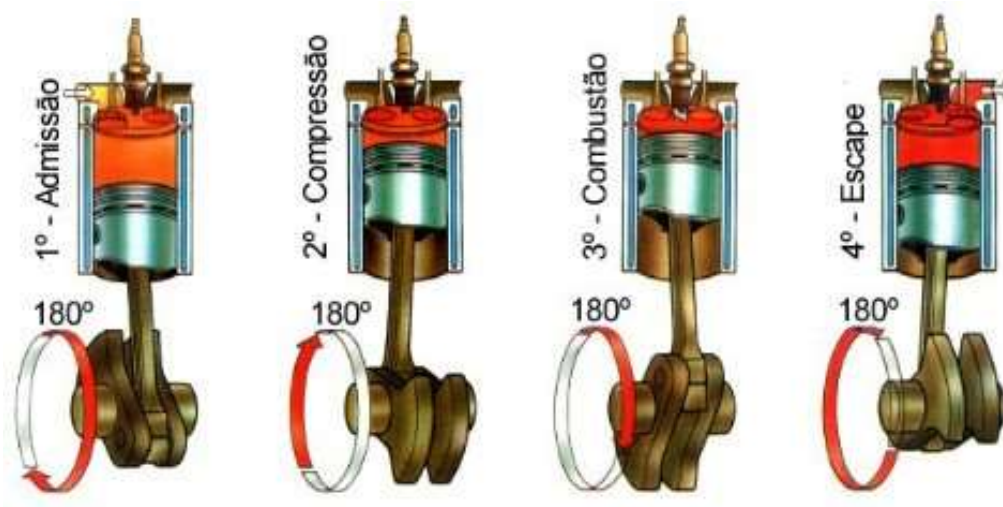
2º Tempo: Compressão, a seguir a válvula de admissão se fecha. À medida que o pistão se desloca para o PMS comprime a mistura de ar e combustível. O virabrequim executa outra meia volta, completando a primeira volta (360°).

3ºTempo: Combustão, pouco antes do pistão atingir o PMS, outra vez, o sistema de ignição transfere energia elétrica à vela de ignição, fazendo saltar uma centelha entre os eletrodos da 46 vela de ignição, inflamando a mistura gasosa. A expansão dos gases gerada pela queima força o pistão do PMS para o PMI. O virabrequim efetua outra meia volta (540º).

4º Tempo: Escape, uma vez que, a mistura gasosa foi queimada é mais do que natural que os gases resultantes da queima sejam expulsos e, isso é feito através da abertura da válvula de escape, nesse período o pistão se movimenta do PMI para o PMS, completando os quatro ciclos (720º).

Conforme na Figura 02, pode-se visualizar os 4 tempos do ciclo otto.

Figura 02 - Ciclo de trabalho do motor Ciclo Otto.



Fonte: Mahle (2016)

2.1.2 MOTORES ASPIRADOS

Os motores aspirados, ele “aspira” o ar apenas pelo movimento do pistão que gera um vácuo, pressão menor comparada à atmosfera (depressão), nele não possui nenhuma sobre alimentação, como no turbo ou compressor (PINHEIRO, 2014).

2.1.3 MOTORES TURBOS

O turbocompressor, também conhecido como turbo ou turbocharger, é um equipamento adicionado aos motores de combustão interna que aproveita os gases de escape para injetar ar no interior dos cilindros . Um turbocompressor inclui um par de rotores radiais, ligados num só eixo, que giram de um lado como turbina e do outro como compressor (LAINO, 2014).

2.2 MOTORES DE CICLO DIESEL

O motor Diesel é uma máquina que transforma energia térmica em mecânica. Essa energia é obtida a partir da combustão do combustível diesel no interior do cilindro do motor que, por sua vez é similar ao ciclo Otto, tendo o mesmo princípio de admissão, compressão, combustão e descarga. Contudo, o motor de ciclo Diesel, utiliza uma compressão mais elevada, inflamando o combustível em vez de usar a vela de ignição. Seu funcionamento começa com a ignição do motor. Devido à compressão do ar, a temperatura na câmara se eleva, ocorrendo a combustão de tal modo que atinja o ponto de auto inflamação do combustível. O diesel quando introduzido na câmara por meio de um injetor, entra em contato com o ar aquecido sofrendo a combustão. Por fim, o acelerador regulará a quantidade de combustível fornecida pela bomba e, conseqüentemente, a potência que o motor irá gerar (PEREIRA, 2017).

2.3 SISTEMAS DE INJEÇÃO DE COMBUSTIVEL

No início dos motores ciclo otto, foi desenvolvido o carburador para efetuar o controle de dosagem de combustível no motor, baseado na sucção de combustível, com o passar dos anos, o setor automobilístico visando economia de combustível e melhora no desempenho do veículo, desenvolveu a injeção eletrônica que é responsável pelo funcionamento do motor através da unidade de controle eletrônico (ECU). Ela controla todas as funções como a pressão do ar, combustível, marcha lenta, tempo de ignição e válvulas. Tudo isso é realizado por um circuito integrado eletrônico que verifica se o motor está funcionando e ajustando tudo para chegar ao melhor desempenho do veículo. Diferente do carburador, para controlar tudo isso a injeção eletrônica não faz isso de forma mecânica, ela tem sensores e atuadores.

A injeção eletrônica substituiu o sistema carburado, onde se tornou uma condição obrigatória para os autos fabricados no Brasil, devido os controles de poluentes veiculares. Este tipo de sistema tem por função enviar o combustível ao motor do veículo de forma controlada, onde esse equilíbrio é garantido por mapas que avaliam a condição do motor, ajustando a alimentação para possuir eficiência e desempenho esperado. Contudo, esse sistema eletrônico também tem por objetivo reduzir a quantidade de emissões poluentes, através do domínio de entrada de comburente e de ar no motor, deixando o automóvel com uma melhor eficiência energética. O sistema de injeção eletrônica e controlados pela ECU do veículo, que através de mapas de calibração faz a injeção de combustível. Conforme Figura 03 vê-se uma ECU automotiva (DIAS, 2015).

Figura 03, ECU Automotiva



Fonte: Bosch (2002)

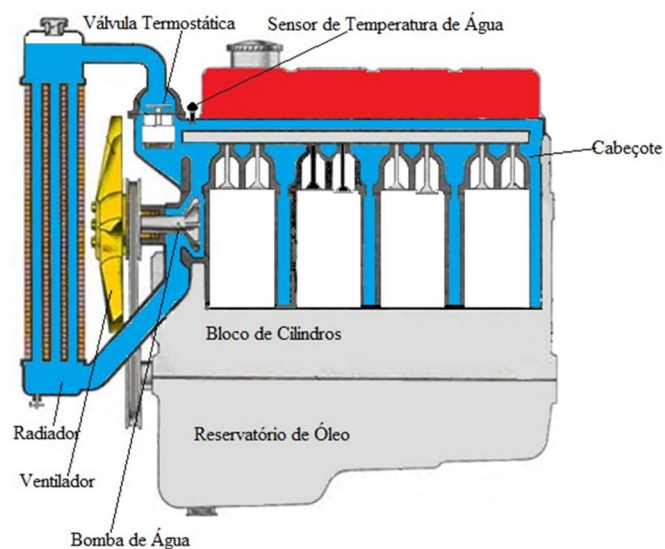
2.4 SISTEMA DE ARREFECIMENTO

Este tópico tem como objetivo apresentar alguns conceitos sobre o sistema de arrefecimento, e seus componentes.

2.4.1 SISTEMA DE ARREFECIMENTO MECÂNICO

O sistema de arrefecimento mecânico funciona, conforme Figura 04, com a bomba d'água executando a circulação do líquido de arrefecimento pelo sistema de arrefecimento do veículo. Enquanto o líquido de arrefecimento não atinge a temperatura ideal de funcionamento. A válvula termostática bloqueia o fluxo para o radiador, quando a temperatura do líquido de arrefecimento atinge a faixa ideal de trabalho, parte do fluxo será direcionado pela válvula termostática para o radiador. Quando a temperatura se aproxima no limite máximo, todo o fluxo do líquido de arrefecimento será direcionado pela válvula termostática, para o radiador. Quando a temperatura do líquido de arrefecimento aumenta, o seu volume e pressão também aumentam. As válvulas localizadas na tampa do reservatório de expansão são responsáveis pelo controle da pressão interna do sistema. O objetivo do sistema é operar sob pressão para aumentar o ponto de ebulição evitando danos ao motor (BOSCH, 2002).

Figura 04 - Sistema convencional de arrefecimento



Fonte: Bosch (2002)

2.4.1.1 RADIADOR

O radiador tem como sua principal função realizar a troca de calor do líquido de arrefecimento. O radiador é uma das peças mais fundamentais do sistema de arrefecimento, ele é constituído por colmeias, que estão postas de forma oposta o fluxo de ar. O líquido de arrefecimento é forçado a atravessar pelas colmeias e assim força a troca de calor com o ar. Pode-se notar um exemplo de radiador conforme Figura 05 (LUIZ, 2014).

Figura 05 - Radiador



Fonte: Valeo (2020)

2.4.1.2 VENTILADOR ELÉTRICO

O ventilador elétrico proporciona um fluxo de ar eficiente e otimiza a troca térmica no radiador. Ele tem a ajuda de um sensor térmico, no qual tem papel no sistema de enviar a ECU um sinal com dados de temperatura do motor, se a temperatura foi atingida após a leitura dos dados e necessário realizar a refrigeração do sistema, e assim o acionamento do ventilador é realizado por uma embreagem elétrica que está acoplada no motor da ventoinha e passa girar solidária ao motor. Pode notar na Figura 06 um exemplo de ventilador elétrico (LUIZ, 2014).

Figura 06 – Ventilador Elétrico

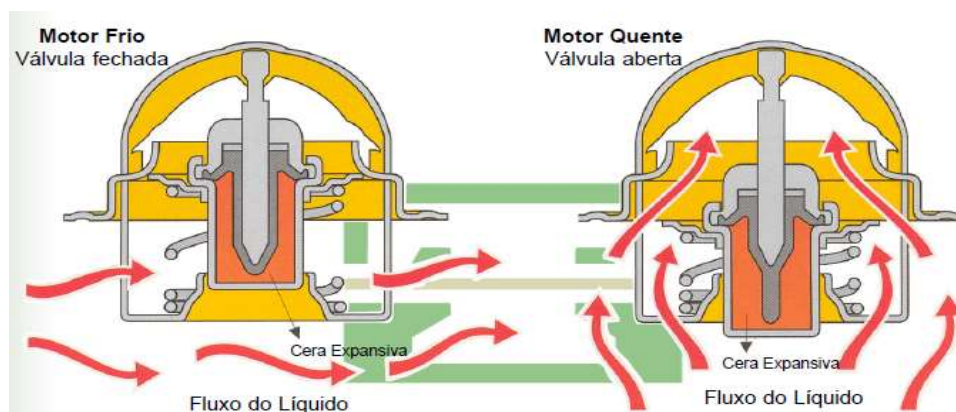


Fonte: Valeo (2020)

2.4.1.3 VÁLVULA TERMOSTÁTICA

A válvula termostática cumpre a importante função de reduzir o tempo de aquecimento do motor e evitar o sub resfriamento, em regiões de baixa temperatura. O princípio de funcionamento do sistema, equipado com a válvula termostática, é simples. Se o fluido de arrefecimento estiver abaixo da temperatura de abertura da válvula, ela permanece fechada e o fluido circula dentro do próprio motor. Se a temperatura de abertura for atingida, o fluido passa a circular em circuito aberto: entre o motor e o radiador. Nesse caso ele é arrefecido por rejeição de calor para o ar atmosférico no radiador, retornando ao motor em menor temperatura. A porcentagem de abertura da válvula depende das condições do líquido de arrefecimento. No sistema mecânico de arrefecimento o fluido de arrefecimento permanece no interior do bloco e do cabeçote durante o período de aquecimento, bloqueado pela válvula termostática. Quando a temperatura de abertura da válvula termostática é alcançada, ela se abre automaticamente, e o fluido de arrefecimento passa a circular entre o motor e o radiador. Nesse sistema os cilindros e o cabeçote permanecem em temperaturas semelhantes. O funcionamento da válvula termostática depende de um pequeno cilindro localizado em seu interior. A Figura 07 assim o ilustra. O cilindro é preenchido com uma cera que expande com o aumento da temperatura. A cera pressiona uma haste conectada à válvula. Quando a cera muda de fase, de sólido para líquido, se expande empurrando a haste para fora do cilindro e abrindo a válvula. (MTE THOMSON, 2014).

Figura 07 - Válvula Termostática Fechada x Aberta



Fonte: MTE Thomson (2014)

2.4.1.4 SENSOR DE TEMPERATURA DA ÁGUA DO MOTOR

Esse sensor tem como tarefa informar a ECU do veículo a temperatura do líquido de arrefecimento. Os dados da temperatura do motor irão suceder na quantidade de combustível injetado no interior dos cilindros. Os valores atingidos, no sentido do atendimento da taxa de estequiometria, resultam com que fatores que influenciam na eficiência energética, emissões de gases poluentes, até mesmo os que afetam a camada de ozônio que são padronizadas, ou seja, têm limites, venham a se reduzir de forma considerável. Pode-se verificar um exemplo de sensor de temperatura conforme Figura 08 (LOPES, 2019).

Figura 08 - Sensor de Temperatura da água do motor



Fonte: MTE Thomson (2014)

2.4.1.5 INTERRUPTOR TÉRMICO

O interruptor térmico é um componente utilizado para ligar e desligar um circuito em função da temperatura. No automóvel, é muito aplicado para o acionamento do eletro ventilador do sistema de arrefecimento. O interruptor térmico está instalado no radiador ou no motor e fica em contato com a parte mais aquecida do sistema de arrefecimento. Pode-se analisar conforme Figura 09 (LOPES, 2019).

Figura 09 - Interruptor Térmico



Fonte: Valeo (2020)

2.4.1.6 MANGUEIRAS

Faz o importante papel no sistema de arrefecimento de conduzir todo o líquido de arrefecimento do radiador para o motor, com a ajuda de uma bomba d'água. Nota-se a seguir exemplos de mangueiras do sistema de arrefecimento na Figura 10 (LOPES, 2019).

Figura 10 - Mangueiras do sistema de arrefecimento



Fonte: Valeo (2020)

2.4.1.7 BOMBA D'ÁGUA

A bomba d'água é um componente mecânico acionado pelo motor do veículo é dotado de pás responsáveis pelo bombeamento da água entre o motor e radiador. A pressão de vazão desse item não deve ser negligenciada, pois a eficácia do sistema será comprometida em função da menor ou maior velocidade da troca de calor. Pode-se verificar na Figura 11 um exemplo de bomba d'água (LUIZ, 2014).

Figura 11 - Bomba d'água

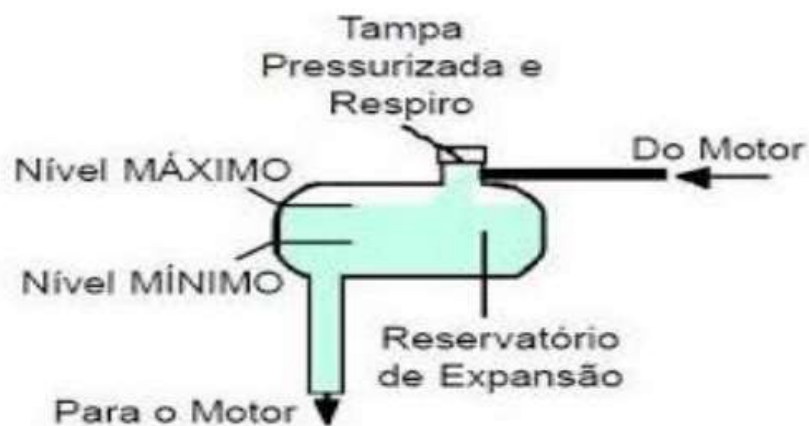


Fonte: Valeo (2020)

2.4.1.8 RESERVATÓRIO DE EXPANSÃO

É o reservatório designado ao armazenamento do líquido de arrefecimento do motor, quando atinge a uma temperatura determinada, ou seja, quando ocorre a expansão do líquido de arrefecimento. Quando acontece o resfriamento do motor, surge um vácuo no radiador, realizando com que o líquido arrefecedor no reservatório de expansão volte ao radiador, e assim, indicando o real nível do líquido de arrefecimento no motor. Nota-se um exemplo do reservatório conforme Figura 12 (LUIZ, 2014).

Figura 12 - Reservatório de expansão



Fonte: MTE Thomson (2018)

2.5 TEMPERATURA DE TRABALHO DO MOTOR

O controle exato da temperatura de trabalho do motor é necessário para obter a maior eficiência do processo de queima do combustível e ao mesmo tempo aumentar a vida útil do motor. O aumento na temperatura de trabalho possibilita redução no consumo específico do motor, mas aumenta a probabilidade de ocorrer detonação do combustível, ocasionando perda de eficiência e diminuição da vida útil do motor. Porém uma calibração mais precisa no ponto de ignição, ou em motores que usam Etanol como combustível, possibilita o aumento na temperatura de trabalho sem riscos de detonação. Em temperaturas de trabalho acima de 100 ° C há redução significativa do consumo específico do motor (CORRADINI, 2006).

2.6 TEMPERATURA DA CÂMARA DE COMBUSTÃO

As consecutivas combustões do motor levam o mesmo a atingir temperaturas extremas dentro da câmara de combustão. Fato este que levaria a destruição total do motor caso não houvesse um sistema de arrefecimento que retirasse o calor das paredes da câmara de combustão. Os diversos componentes do motor trabalham a diferentes gradientes térmicos, sendo que as paredes do cilindro não podem ultrapassar a temperatura limite do óleo lubrificante (150°C). Diretamente em contato com a combustão, os pistões trabalham a temperatura de 320°C, o limite do seu material de liga de alumínio. A câmara de combustão atinge em torno 200°C, sendo que outros componentes também ligados a combustão trabalham a temperaturas maiores. As válvulas de admissão (120°C) por sua vez tem o fluxo de ar/combustível que retira calor das mesmas no momento de sua admissão, mas as válvulas de escape (750°C) trabalham sob constante estresse térmico, pois os gases da combustão são retirados da câmara de combustão através dela, assim como a vela (500-600°C) que efetua a combustão (LUIZ, 2014).

As válvulas conseguem trocar de calor com suas sedes e guias, e as velas escoam sua temperatura para o cabeçote, e finalmente o fluido de arrefecimento troca de calor com estes. A importância do sistema de arrefecimento está no fato de que a temperatura interna do motor deve ser tal que, o óleo consiga trabalhar com boa viscosidade, que as folgas internas sejam preenchidas, que a expansão da

frente de chama não atinja as paredes da câmara e principalmente, que as temperaturas elevadas da câmara de combustão sejam evitadas devido, ao efeito nocivo da detonação. Com isso o sistema de arrefecimento trabalha para manter o motor em sua temperatura ideal, sendo esta cerca de 90-100°C (BOSCH, 2002)

2.7 PERÍODO DE AQUECIMENTO DO MOTOR “WARM-UP”

O período de aquecimento do motor, ou warm-up, é o intervalo de tempo no qual o motor de combustão interna está aquecendo, antes de atingir a temperatura ideal de trabalho. Após um longo período parado, todos os componentes do motor, o líquido de arrefecimento e o óleo lubrificante estão à temperatura ambiente. A partir do momento em que o motor é ligado, o calor começa a ser transferido dos produtos da combustão para todas as peças e fluidos que entram em contato com os gases, como as paredes da câmara de combustão, cabeçote do motor, dutos do coletor de escape e o óleo lubrificante. Após um intervalo de tempo que pode variar bastante, dependendo das características do motor e condições ambiente, todos os componentes do motor estarão com as suas respectivas temperaturas de regime de trabalho. Existem efeitos benéficos no aquecimento do motor em períodos mais curtos, citando a vantagem de aquecer mais rapidamente o óleo do motor para diminuir o atrito interno. Quanto menor for o tempo que os componentes atingirem a temperatura ideal de trabalho, mais rápido o motor irá atingir sua maior eficiência, contribuindo para redução de consumo de combustível e emissões de poluentes (PULKRABEK, 2004).

2.8 LÍQUIDO DE ARREFECIMENTO

O sistema de arrefecimento é um componente fundamental para o funcionamento eficiente do motor. Normalmente, é fabricado em alumínio, por ser um material leve, barato e possuir uma boa condutividade térmica. Porém, quando não alimentado com o aditivo correto e água desmineralizada, tem-se problemas em todo o sistema, desde a bomba d'água até o bloco do motor. Água pura possui um ponto de ebulição de 100 °C, fazendo com que boa parte dessa água saia pela válvula da tampa do reservatório. Além de diminuir o nível da água, podendo ocorrer

a cavitação, a formação de bolhas de vapor, danifica a bomba d'água. Observe-se também que a água pura, contendo sais minerais e cloro é altamente corrosiva, causando danos no radiador e no próprio bloco do motor, onde passam as galerias de resfriamento. Em casos mais críticos causa danos irreparáveis nos blocos (FREITAS, 2019).

Ainda segundo Freitas (2019) atualmente, a constante preocupação das empresas em proporcionar aos seus consumidores produtos com alta qualidade levou as mesmas a adotarem medidas que permitissem a redução da oxidação durante o processamento e armazenagem dos produtos. A maioria dos motores de combustão interna possuem radiadores, tendo como função principal o arrefecimento. Estes motores são compostos por diversos canais estreitos com formato de tubos ou colmeias, onde o fluido percorre e troca calor com o ambiente. O sistema de arrefecimento é responsável por manter o motor do carro a uma temperatura próxima a 90 ° C, que é ideal para o seu funcionamento, melhorando assim sua eficiência e evitando superaquecimento das peças internas.

O processo de arrefecimento utiliza um fluido para controlar a temperatura ideal de trabalho do motor. Esta opção a ser utilizada seria um aditivo composto por:

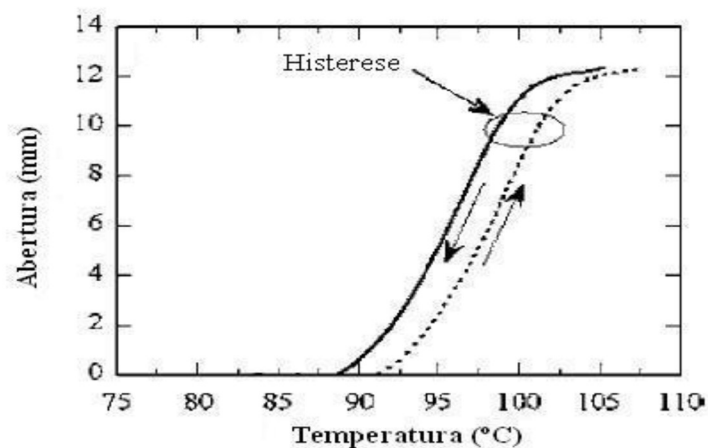
- Água desmineralizada, livre de sais minerais e cloro, que não corroem as partes metálicas do motor;
- Etilenoglicol que aumenta a temperatura de ebulição da água, evitando a vaporização da mistura e evita o congelamento em regiões mais frias;
- Nanofluidos, partículas de escala nanométricas, que aumentam a condutividade térmica e viscosidade;
- Anticorrosivos que reforçam a proteção das partes metálicas.
- A utilização de um aditivo é fundamental para uma preservação e eficiência do sistema de arrefecimento.
- O ideal é que um aditivo para radiadores possua em sua formulação:
 - Anticorrosivos, para evitar que ocorra corrosão;
 - Tensoativos, também conhecidos como antiespumantes, para evitar a formação de depósitos e espumas;
 - Corantes, para pigmentar a mistura.

Uma opção utilizada é um aditivo pronto para uso a base de etilenoglicol, a fim de elevar o ponto de ebulição, evitar problemas com corrosão e intensificando a troca térmica, melhorando a eficiência do sistema. É um produto mais caro que o utilizado atualmente, tornando a avaliação periódica indispensável. (FREITAS, 2019).

2.9 HISTERESE

Segundo Pulkrabek (2004) o funcionamento da válvula termostática depende de um pequeno cilindro localizado na parte da peça voltada para o motor. O cilindro é preenchido com uma cera que muda de fase com o aumento da temperatura. Uma haste conectada à válvula pressiona a cera. Quando a cera muda de fase, de sólido para líquido, se expande significativamente, empurrando a haste para fora do cilindro e abrindo a válvula. Devido à velocidade de mudança de fase da cera, há um fenômeno conhecido como histerese resultando numa temperatura de fechamento diferente da temperatura de abertura. A Figura 13 mostra as curvas de abertura e fechamento da válvula termostática em relação à temperatura, e possível notar o atraso efetuado pela histerese, que ajuda a evitar o desgaste excessivo da peça.

Figura 13 – Comportamento da válvula termostática



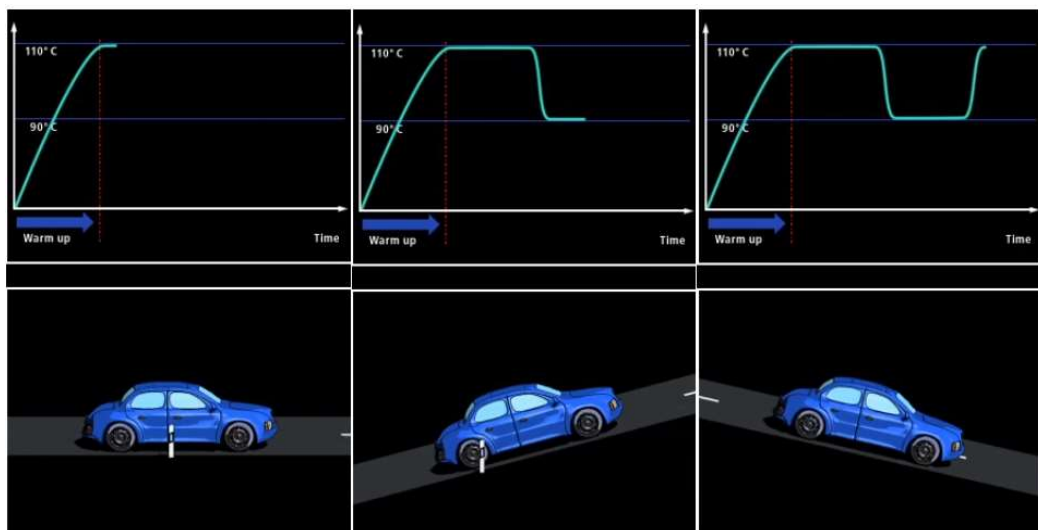
Fonte: Cho et al (2007)

2.10 ESTRATÉGIA DE FUNCIONAMENTO

Os motores com válvulas termostáticas convencionais trabalham com uma margem de segurança sobre a faixa de temperatura do líquido de arrefecimento para que o motor não superaqueça. Porém com essa medida de segurança o motor é operado constantemente a uma temperatura abaixo da ideal. No decorrer dos anos foi notada uma limitação da funcionalidade da válvula termostática convencional e o avanço tecnológico proporcionou que o controle de mais variáveis fosse possível a partir da implementação de atuadores e com mapas preestabelecidos a ECU possa gerar sinais de tensão, permitindo que o mecanismo opere em várias condições de carga do motor e dentro da faixa ideal da temperatura, visando melhor eficiência para o motor e até mesmo lhe oferecendo maior vida útil (MAHLE, 2014).

Tem-se como demonstração a Figura 14 que ilustra uma estratégia baseada na carga exigida do motor, em um primeiro momento tem-se a fase de warm up. Logo em seguida, já com o motor devidamente aquecido, passa-se a exigir desempenho do motor tendo como consequência a elevação de temperatura, tendo ciência disso a estratégia faz com que o pulso elétrico acione o atuador antes mesmo do ponto de abertura convencional da válvula, adiantando o momento da abertura e mantendo a temperatura o mais próximo do ideal. Já no final passa por um instante onde não há exigência de desempenho do motor e necessita que mantenha a temperatura para que ela não caia subitamente.

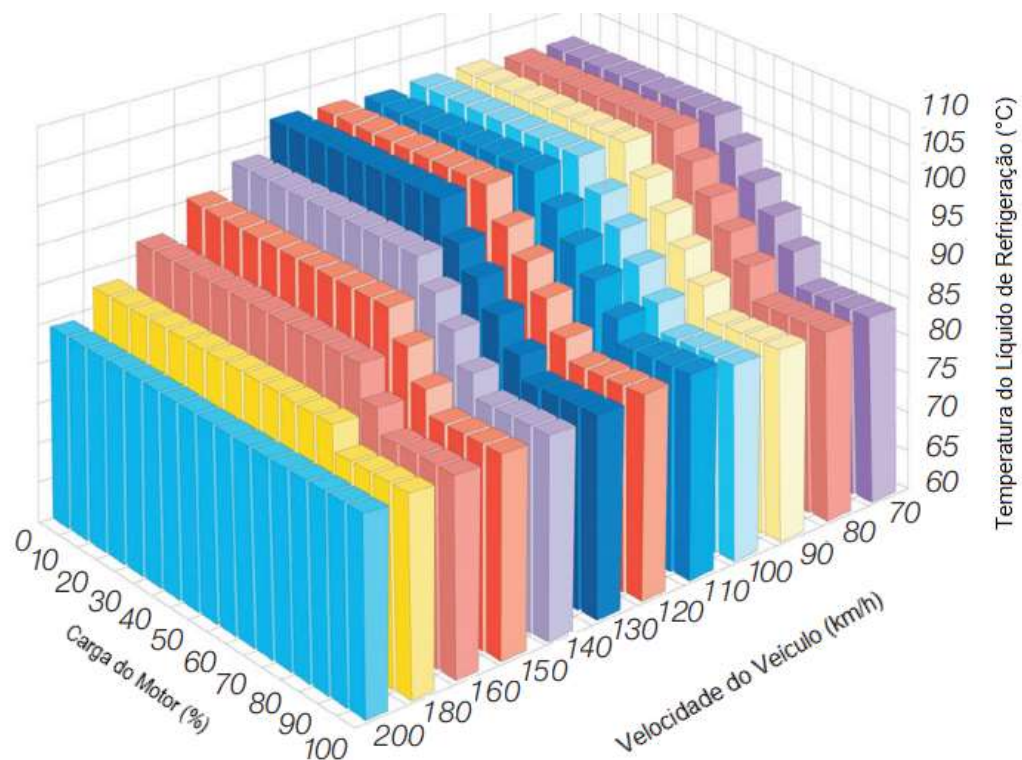
Figura 14 - Exemplo de estratégia de funcionamento.



Fonte: Mahle (2018)

Conforme a Figura 15 é possível verificar o mapa de operação de uma válvula termostática com controle eletrônico da Mahle, nesse mapa é possível observar três variáveis: carga do motor, velocidade do veículo e temperatura do líquido de arrefecimento, conforme a carga do motor diminui a temperatura do líquido de arrefecimento aumenta pois essa estratégia mantém a válvula fechada para conservar o calor e manter temperatura ideal no motor, e utilizando maior carga do motor o sistema trabalha numa temperatura menor pois a válvula se mantém aberta para ter maior fluxo do líquido de arrefecimento, fazendo com que a temperatura fique na faixa ideal de trabalho.

Figura 15 - Exemplo de mapa de operação pré-definido



Fonte: Mahle (2016)

2.11 EFEITO DO AQUECIMENTO DO MOTOR NAS EMISSÕES VEICULARES

Este tópico irá apresentar correlação entre emissões veiculares e a temperatura do motor.

2.11.1 EFEITO NOS MOTORES CICLO OTTO

O motor trabalhando com uma constante ar-combustível relativa, devido à atuação do sensor lambda, e analisando os gases de escape desde o momento em que o motor é ligado em diante, verifica-se que a quantidade de gases poluentes emitidos varia com o tempo, em função do aquecimento gradual do motor até atingir sua temperatura ideal de funcionamento (CORRADINI, 2006).

Ainda segundo Corradini (2006), deve-se estar observando que em um motor de ignição por faísca movido a gasolina, suas emissões de gases poluentes, independentemente de sofrer aplicação de carga ou não, mostrarão que há uma tendência determinada de variação de cada gás emitido em função do tempo de funcionamento do motor, até que este atinja sua temperatura de funcionamento ideal bem como ao variarmos esta temperatura da seguinte forma:

- Quantidade de NO_x tende a aumentar com o aumento da temperatura;
- Quantidade de HC não queimados tende a diminuir com o aumento da temperatura;
- Quantidade de CO tende a diminuir com o aumento da temperatura;
- Quantidade de CO₂ produzido tende a aumentar com o aumento da temperatura;

A explicação para estas observações é que, conforme o motor atinge seu ponto de operação ideal, a reação de combustão ocorre em temperatura próxima da ideal, e então os níveis de CO e HC como produtos de uma combustão ineficiente diminuem.

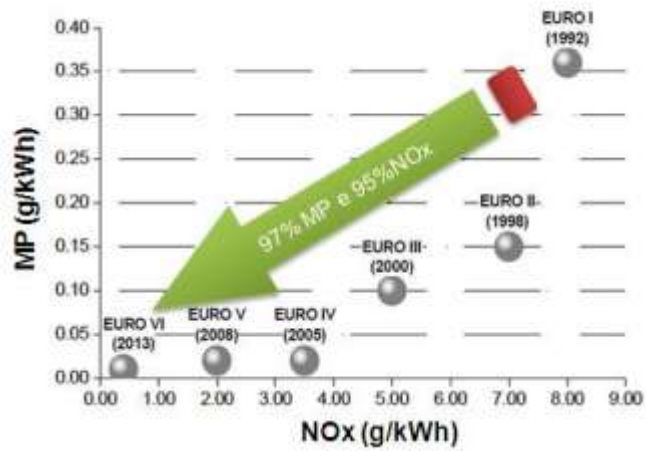
2.11.2 EFEITO NOS MOTORES CICLO DIESEL

Nos motores que utilizam o Diesel como combustível, e realizado a injeção do combustível no cilindro preenchido com ar comprimido e alta temperatura, as emissões são formadas a partir da combustão da mistura, não dependendo somente das condições durante a combustão, e dependendo do ciclo de expansão, principalmente próximo à abertura da válvula de escape. A preparação da mistura durante o período que antecede a combustão, a qualidade da queima, a duração do período de expansão e as características de projeto do motor, têm um papel importantíssimo na formação das emissões. Principalmente, a concentração de diferentes tipos de emissões nos gases de escape é resultado da formação e das reações químicas nesse sistema (ANTONIO, 2011).

Os gases resultantes de combustão incompleta, formados durante períodos iniciais do mecanismo relativo à combustão, são oxidados durante o ciclo de expansão. A mistura de hidrocarbonetos não queimados com gases oxidantes, alta temperatura na câmara de combustão e um tempo adequado para o processo de oxidação possibilita uma combustão mais efetiva. HC, CO, NO_x e PM são os produtos mais importantes da combustão do ponto de vista de controle das emissões de impacto local. Quanto maior a quantidade de combustível queimado, mais calor é gerado e pode-se observar um aumento significativo de temperatura no cilindro. Maiores temperaturas produzem energia suficiente para que ocorram os mecanismos de reações químicas, causando assim maiores formações de NO_x. A formação do óxido nítrico (NO), se dá ao longo da faixa de alta-temperatura de gases queimados atrás da chama, através de reações químicas que envolvem nitrogênio, átomos de oxigênio e moléculas que não atingiram equilíbrio químico. (ANTONIO, 2011).

Para atender as novas legislações de emissões de poluentes impostas pelo padrão europeu de emissões “EURO”, as fabricantes dos motores a diesel ficam atender para se enquadrarem nas novas normas. Na Figura 16 pode-se verificar os níveis de emissões do padrão da EURO 6.

Figura 16 - Comparativo entre os níveis de emissões de NOx e MP da Norma Europeia (EURO)



Fonte: MWM (2014)

3. MATERIAIS E MÉTODOS

O trabalho foi realizado com base em pesquisas sobre os conceitos fundamentais relacionados ao arrefecimento de motores de combustão interna e que o sistema eletrônico proposto na dissertação do Antônio da Unicamp serviu como base para a compreensão de como controlar eletronicamente o arrefecimento.

O sistema de arrefecimento eletrônico analisado, pode ser aplicado em novos projetos de sistemas de arrefecimento a fim de buscar o melhor rendimento térmico e eficiência do motor. Independente do sistema analisado ser um modelo diferente dentre as aplicações, pode-se aplicar tanto em veículos leves como em pesados, pois seu uso só depende da criação de uma estratégia de acordo com o tipo de uso do motor e respectivamente sua temperatura ideal de funcionamento.

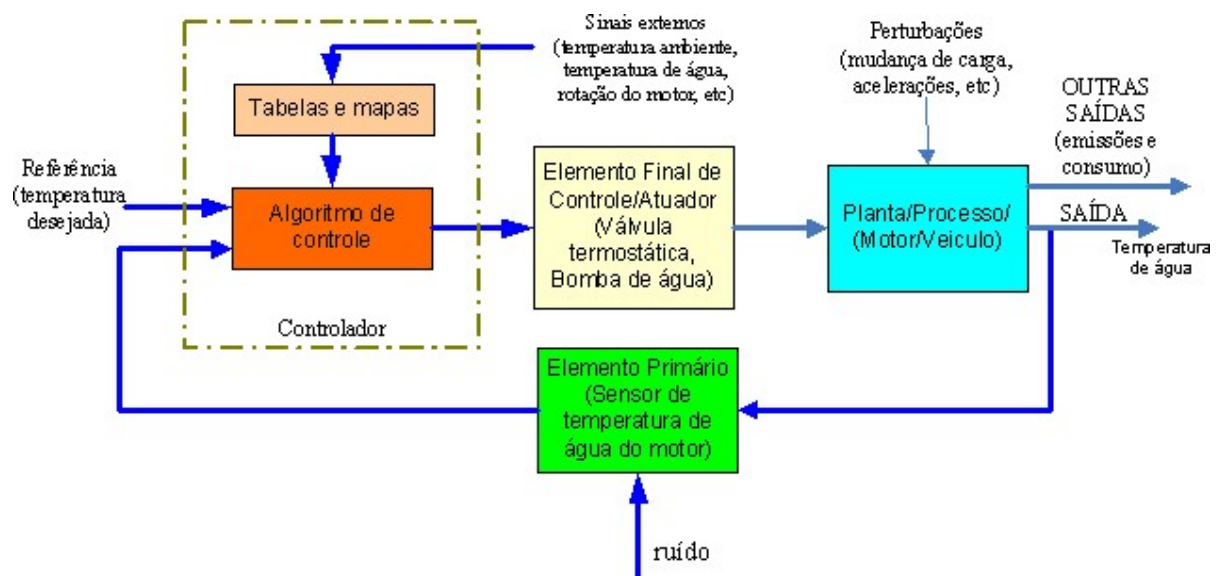
4. RESULTADOS

Com a possibilidade dessa nova tecnologia, e a fim de otimizar ainda mais o funcionamento dos veículos, alguns testes realizados por outras pesquisas, já apresentam resultados positivos, que permitem ainda mais o aprofundamento da busca do conhecimento nessa área de sistema de arrefecimento com controle eletrônico.

Um desses estudos analisados foi desenvolvido pelo Marcos Antonio Iskandar (UNICAMP, 2011), que realizou testes com o motor Diesel MaxxForce Euro V, utilizando um sistema de arrefecimento convencional mecânico, que com esses dados obtidos, já prevê que a aplicação de um sistema de arrefecimento com controle eletrônico trará benefícios ao veículo. Aplicou diferentes condições de uso do motor, em vários níveis de temperatura, observando alguns dados como: temperatura do motor, temperatura do fluido de arrefecimento, temperatura da camisa do cilindro, consumo específico, emissões de HC, CO, NOx, CO₂. Realizando incrementos na temperatura do ensaio em 10°C, que começou com 50°C, e finalizou em 100°C. A pesquisa permite prever que a utilização de um sistema de arrefecimento do motor controlado eletronicamente, tende a reduzir, simultaneamente, o consumo de energia, a temperatura da parede do cilindro e as flutuações da temperatura, a fim de reduzir o consumo de combustível e redução nas emissões. A melhoria na economia de combustível vem também na redução da alimentação dos acessórios pelo motor. Além disso, resultados experimentais encontrados na literatura e constatados em ensaios reais já efetuados, mostram que o NOx foi reduzido significativamente, controlando-se a temperatura de água do motor; também o consumo de combustível mostrou um comportamento favorável a redução com o controle da temperatura da água. Houve também a redução dos gases.

No sistema de arrefecimento convencional, o controle da temperatura do líquido de arrefecimento do motor deve ser regulado para que permaneça dentro de uma faixa estreita de trabalho. Uma maneira eficiente para compensar as diferentes condições de trabalho é de se realizar a instalação de um sistema de arrefecimento totalmente eletrônico, que é controlado pela ECU do veículo, não dependendo de nenhuma peça mecânica, mas de dados obtidos por sensores do motor, que tem mapas pré-definidos já na ECU, que aplica de maneira mais inteligente o controle da temperatura do sistema de arrefecimento do veículo. A Figura 17 ilustra o diagrama do sistema de arrefecimento totalmente eletrônico (ANTONIO, 2011).

Figura 17 - Diagrama de blocos do sistema de controle proposto



Fonte: Antonio (2011)

Com a aplicação de um sistema de arrefecimento eletrônico, temos grandes mudanças no sistema de arrefecimento, uma delas é a implementação de uma bomba d'água elétrica no sistema, conforme pode-se analisar na Figura 18, tem-se um exemplo de bomba d'água elétrica da linha BMW, com sua aplicação o motor deixa de ter uma perda mecânica por conta da bomba d'água convencional (ANTONIO, 2011).

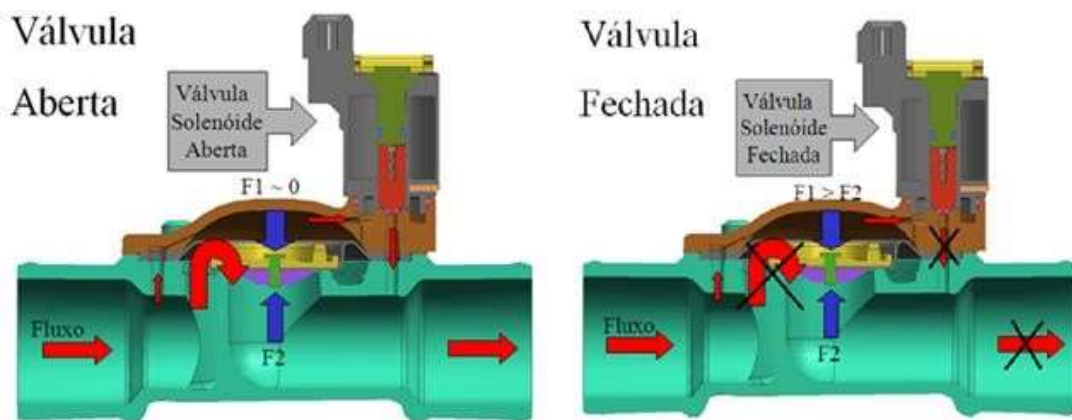
Figura 18 – Bomba d'água elétrica linha BMW



Fonte: Bestjoyi (2016)

A instalação de uma válvula termostática com controle eletrônico, faz com que a ECU tenha o controle total sob ela, assim tendo um trabalho mais eficiente dentro de uma faixa de temperatura mais específica, com a incorporação de um elemento de controle que irá regular a temperatura independente das variações de pressão no sistema de arrefecimento. O seu funcionamento se dá por um controlador que envia um sinal elétrico do tipo PWM para uma válvula solenoide. A Figura 19 ilustra o funcionamento da válvula solenoide, que faz abrir e fechar o mecanismo interno que controla a membrana ou diafragma da válvula termostática e assim controlando a vazão do líquido de arrefecimento que passa pelo radiador. Este método proporciona ao motor uma ampla gama de trabalho para as diferentes condições climáticas e com grandes flutuações nos fatores de carga do motor e ajuda a reduzir as emissões ao mesmo tempo reduzindo o desgaste do motor (ANTONIO, 2011).

Figura 19 – Válvula termostática eletrônica com válvula solenoide



Fonte: Antonio (2011)

5. CONCLUSÃO

Com base nos estudos realizados por Antonio (2011), com o uso desse sistema de arrefecimento totalmente eletrônico, válvula termostática, eletro-ventilador, bomba d'água e sensor de temperatura, todos controlados pela ECU, são viavelmente interessantes, com a sua aplicação num sistema de arrefecimento, a fim de obter melhoras no conjunto como um todo, com sua aplicação terá uma redução de perda mecânica ocasionadas pelas correias e polias, variando para cada modelo de veículo.

Contudo, posso dizer que a finalidade desse estudo foi alcançada trazendo mais conhecimentos para nós e para o público que possui sede de conhecimentos. Desta forma, estes conceitos estudados e a possibilidade de aplicação de novas tecnologias, podem auxiliar futuramente como base para novos projetos sobre o sistema de arrefecimento, pois sua aplicação não fica restrita somente a motores de veículos leves, podendo abranger um leque grande de possibilidades de mercado.

5.1 PROPOSTAS FUTURAS

Os resultados desta pesquisa e estudo, sinalizam positivamente a viabilidade do desenvolvimento de um sistema de arrefecimento para motores a combustão interna equipado com gerenciamento eletrônico, visando reduzir as perdas térmicas, mecânicas e ganhos na redução de consumo de combustível. Para complementar esta análise de viabilidade e, considerando num breve futuro as melhores condições para os trabalhos presenciais nos laboratórios, ensaiar a potência e torque de um veículo regular de série, conforme a associação brasileira de normas técnicas relacionadas a ensaios de motores (ABNT 1585), com todos os componentes auxiliares operacionais para, na sequência, usando os mesmos referenciais e condicionamentos, medir os valores de potência e torque usando um sistema de arrefecimento mockup funcional paralelo e independente do acionamento mecânico que garanta os mesmos valores de temperatura de trabalho dos motores a combustão interna nas condições normais. Com estes dados, realizar as comparações de potência e torque visando estimar os ganhos de rendimento. O mesmo se aplica a medição de consumo. Realizar as medições de consumo conforme a norma brasileira (NBR) 7024 nas mesmas condições das medições de torque e potência. Com isso estabelecer parâmetros comparativos de consumo específico nas duas condições. Estes resultados e análises estabelecerão balizas para mensurar a redução de dióxido de carbono (CO_2), e valores da relação de ar lambda para melhor mensurar a redução de emissões. Outra proposta futura de potencial é, a partir dos resultados experimentais dos dois ensaios comparativos, desenvolver e implementar uma prototipagem de sistema de gerenciamento eletrônico passível de teste e ensaios para mensurar as trocas térmicas, o controle e manutenção de temperatura mesmo em regimes severos.

REFERÊNCIAS

ANTONIO, Marco Iskandar. **Análise e projeto de um sistema de controle de arrefecimento de um motor Diesel, visando à redução das emissões e consumo de combustível.** Dissertação (Mestre em Engenharia Automobilística) – Universidade Estadual de Campinas., Campinas, 2011.

BOSCH, Robert. **Manual de tecnologia automotiva**, 25 ed. Editora Edgard Blücher, 2002.

BRUNETTI, F. **Motores de combustão interna. V. 2**, Ed. Blucher. São Paulo, 2012.

CANAL DA PEÇA, **Como funciona a válvula termostática eletrônica**, Disponível em: < <https://www.canaldapeca.com.br/blog/como-funciona-a-valvula-termostatica-eletronica>> (último acesso em 07 de julho de 2020).

CHO, H. et al. **Application of controllable electric coolant pump for fuel economy and cooling performance improvement**, Journal of engineering for gas turbines and power, Vol.129, p. 239-244, janeiro, 2007.

CORRADINI, F. **Efeito da temperatura do líquido de arrefecimento na produção de emissões poluentes de motor de ignição por faísca**, Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica). São Paulo: Boletim técnico da escola Politécnica da USP BT/PME/0614, 2006

CONTINENTAL AG. Disponível em: <<http://www.continental-automotive.com/>>. Acesso em: 02 maio 2021.

DIAS, B. M. A. **Unidade microcontroladora para gerenciamento eletrônico de um motor de combustão interna ciclo Otto**, (Mestrado) Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2015.

FAGGI, Rodrigo. **Formação de mistura Ar combustível em motores de ignição por faísca a quatro tempos.** Monografia (Pós-Graduação em engenharia Automotiva) – Escola de engenharia Mauá, universidade do Instituto Mauá de tecnologia, São Caetano do Sul, 2012.

Ferreira M. **Sistema de Arrefecimento**, Disponível em: <<http://revistaautoesporte.globo.com/Servico/autoajuda/noticia/2015/05/autoajuda-sistema-de-arrefecimento.html>> (último acesso em 25 de junho de 2020).

FILHO, Marcos Rogerio Ambrosius; FERREIRA, Rafael Dias de Moraes. **Influência dos escapamentos esportivos no desempenho dos veículos.** Monografia de graduação da Faculdade de Tecnologia de Santo André; Santo André; São Paulo, 2018.

FREITAS, E. **Análise do aditivo etilenoglicol em fluido de arrefecimento de radiadores automotivos**, Artigo Científico (Mestranda em Engenharia Química pela Universidade Estadual de Maringá). Maringá, Paraná, 2019

JUNIOR, Elton Inacio Alves; JATO, Filipe; HIROKI, Gustavo Bezerra. **Desenvolvimento de uma unidade de gerenciamento eletrônico para motor volkswagen 1.6l**. Monografia da graduação da Faculdade de Tecnologia de Santo André; Santo André, SP, 2016.

LAINO, Rodrigo Vieira. **Estudo de como a sobre alimentação aumenta a eficiência energética nos motores bicombustíveis**, Monografia (Pós-graduação em Engenharia Automotiva) – Escola de Engenharia Mauá, São Caetano do Sul, São Paulo, 2014.

LIMA, R. G. **Evolução dos motores a combustão interna ciclo Otto no Brasil**, Monografia da graduação da Faculdade de Tecnologia de Santo André; Santo André; SP, 2017.

LOPES, ADEJILSON. **A IMPORTÂNCIA DO USO DE FORMA CORRETA DO LÍQUIDO DE ARREFECIMENTO DO MOTOR**. 2019. Graduação (Tecnólogo em Mecânica Automotiva) - FATEC SANTO ANDRÉ, Santo André, 2019.

LUIZ, Anderson Dias, **Sistema de Arrefecimento dos Motores de Combustão Interna**, Disponível em: < <https://carrosinfoco.com.br/2014/07/sistema-de-arrefecimento-dos-motores-de-combustao-interna-2/>> (último acesso em 18 de maio de 2021).

MAHLE, **Map-Controlled Thermostats**, Disponível em: <<https://www.mahle-aftermarket.com/media/local-media-north-america/pdfs-&-thumbnails/catalogs-and-literature/thermostats/mo-2-1013.pdf>> (último acesso em 08 de julho de 2020).

MAHLE METAL LEVE AFTERMARKET. **Manuais técnicos**. Mahle Aftermarket, 2016. Disponível em: . Acesso em: 05 outubro. 2021.

MILHOR, Carlos Eduardo. **Sistema de desenvolvimento para controle eletrônico dos motores de combustão interna ciclo Otto**. 2002. 89p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Escola de engenharia de São Carlos, universidade de São Paulo, São Carlos, 2002.

MTE THOMSON, **Dupla Válvula Termostática! Novidade do UPI**, 14 mar. 2018. Disponível em: <https://blog.mecanica2000.com.br/dupla-valvula-termostatica-novidade-do-up/>. (último acesso em 28 de junho de 2020).

MTE THOMSON, **Válvula Termostática Volkswagen UPI**, 14 mar. 2015. Disponível em: < <https://cate.mte-thomson.com.br/produto/detalhes/vt47680/valvula-termostatica-serie-ouro/59/>> (último acesso em 20 de junho de 2020).

MTE THOMSON, **Manual de arrefecimento TEM Thomson**, 2014, Disponível em: <<https://www.mte-thomson.com.br/>> (último acesso em 24 de junho de 2020).

NGKNTK. Disponível em: <<http://www.ngkntk.com.br/>>. Acesso em: 23 junho 2020.

PINHEIRO, F. R; LEME, F. M. **Eficiência de motores sobrealimentados (turbo)**, Monografia da Graduação da Faculdade de Tecnologia de Santo André; Santo André; São Paulo, 2014.

PULKRABEK, Willard W. **Engineering Fundamentals of the internal combustion engine**, New Jersey: Prentice Hall, 2004.

VALEO, **Linha de Arrefecimento do motor**, Disponível em: <<https://www.valeoservice.com.br/pt-br/veiculos-de-passeio/arrefecimento-do-motor>> (último acesso em 17 de novembro de 2020).

VOLKSWAGEM AG, 01/2018, **The 1.5-l 96/110-kW TSI EA211 EVO engines**, Wolfsburg, 2018.