

**FACULDADE DE TECNOLOGIA
FATEC SANTO ANDRÉ**

Tecnologia em Mecânica Automotiva

**A IMPORTÂNCIA DO USO DE FORMA CORRETA DO LÍQUIDO DE
ARREFECIMENTO DO MOTOR**

ADEJILSON RIBEIRO LOPES

São Paulo
2019

**CENTRO PAULA SOUZA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
FATEC SANTO ANDRÉ**

Tecnologia em Mecânica Automotiva

ADEJILSON RIBEIRO LOPES

**A IMPORTÂNCIA DO USO DE FORMA CORRETA DO LÍQUIDO DE
ARREFECIMENTO DO MOTOR**

Trabalho de Conclusão de Curso entregue à Fatec Santo André como requisito parcial para obtenção do título de Tecnólogo em Mecânica Automotiva.

Orientador: Prof. Msc. Cleber Willian Gomes

Santo André
2019

FICHA CATALOGRÁFICA

L864i

Lopes, Adejilson Ribeiro

A importância do uso de forma correta do líquido de arrefecimento do motor / Adejilson Ribeiro Lopes. - Santo André, 2019. – 146f: il.

Trabalho de Conclusão de Curso – FATEC Santo André.
Curso de Tecnologia em Mecânica Automobilística, 2019.

Orientador: Prof. Cleber Willian Gomes

1. Mecânica. 2. Veículos. 3. Motor. 4. Arrefecimento. 5. Líquido. 6. Manutenção. 7. Motor de combustão interna. I. A importância do uso de forma correta do líquido de arrefecimento do motor.

629.2



Faculdade de Tecnologia de Santo André

CENTRO PAULA SOUZA

GOVERNO DO ESTADO
DE SÃO PAULO

LISTA DE PRESENÇA

SANTO ANDRÉ, 25 DE JUNHO DE 2019.

LISTA DE PRESENÇA REFERENTE À APRESENTAÇÃO DO
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO COM O TEMA "A
IMPORTÂNCIA DO USO DE FORMA CORRETA DO LÍQUIDO DE
ARREFECIMENTO DO MOTOR" DOS ALUNOS DO 6º SEMESTRE
DESTA U.E.

BANCA

PRESIDENTE:

PROF. CLEBER WILLIAN GOMES

MEMBROS:

PROFª CARLA KORPS MAUERBERG GERULAITIS

SR. EVANDRO HENRIQUE

ALUNOS:

ADEJILSON RIBEIRO LOPES

Dedico este trabalho a minha família, em primeiro lugar, e aos meus professores e colegas que sempre estiveram próximos durante etapa importante em minha vida.

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer a todos aqueles que de forma direta ou indiretamente contribuíram para a conclusão desta etapa importante em minha formação e principalmente aos gestores da Fatec Santo André que sempre se preocuparam em manter o alto grau de qualidade do ensino, fazendo com que minha formação seja ainda mais valorizada. Com destaque especial aos professores e colaboradores da Fatec Santo André que sempre estiveram prontos a nos ajudar.

*“uma condição de excelência que implica
em ótima qualidade distinta de má
qualidade...Qualidade é atingir ou buscar o
padrão mais alto em vez de se contentar com
o mal feito ou fraudulento”.*

TUCHMAN,1980:38

RESUMO

O Brasileiro tem como um dos seus principais objetivos, como realização pessoal, a aquisição de um automóvel. Quem nunca, quando adquiriu seu primeiro emprego colocou como meta a compra de um carro e ficou fazendo contas e planejamento de quando esse sonho de infância iria se tornar realidade.

Pois bem, o sonho se tornou realidade e então você se depara com uma série de deveres e obrigações e muitas vezes você se pergunta se valeu a pena ter se privado daquele momento de lazer com os amigos para que sua conta bancária tivesse aquele pequeno aumento, porém o colocasse cada vez mais perto da sua tão esperada meta.

São muitos os cuidados que um veículo automotor demanda de seu dono, tais como: trocas de filtros de forma periódicas, revisão do sistema de freios, sistema de amortecimento, etc. Porém um dos sistemas mais importantes, e tratado com pouca importância, é o sistema de arrefecimento do motor, esse que muitos só lembra quando chega aquele feriado prolongado tão esperado para reunir a família e viajar, aliviar o estresse cotidiano e então se depara com o carro paralisado em um acostamento na estrada e parece que você voltou no tempo e está de frente há um motor a vapor devido a quantidade de água evaporando e nada pode ser feito a não ser esperar um guincho, e se a sorte estiver ao seu lado, ir caminhando até o mecânico mais próximo e comprar aquele concentrado de arrefecimento, que a marca parece que foi tirada de um filme de terror.

Inspirado na minha experiência de mais de três anos trabalhando em um centro técnico de garantias de uma montadora multinacional e as várias falhas e danos discutidos em decorrência da não utilização, ou utilização de forma errada, da concentração do líquido de arrefecimento que veio a motivação para o desenvolvimento de um trabalho que visa destacar a importância desse item para o funcionamento eficiente do motor a combustão interna.

Palavras chave: veículo automotor, revisões automotivas periódicas, líquido de arrefecimento do motor, quebras inesperadas.

ABSTRACT

One of the main Brazilian's target, as a personal achievement, is to get a car. Who ever never, as get their first job had as a major desire to buy a car and so every money saved was faded to reach on that to make their child dream come true, as fast as possible.

So, that dream is on the road and then you are supposed to a plenty of rules and obligations and sometimes you ask for yourself if that was worth enough avoiding gone out with friend to make your count amount get a little higher, and so lead you closer your target.

An automobile requires a lot of owner's care as: periodic filters changing, break system revision, spring system, etc. Nonetheless, one of the most important system that is always put aside is the cooling system, that is noticed when you want to travel with family on a holiday to relax and then you get your car broken down on a speedway and see yourself in front a vapor machine as back then and you can do nothing unless to wait for help or walk to the next car service you saw bordering to the road and say prayer to find a coolant to buy and its name looks like came from a horror history.

Inspired on mine own experience working in a worldwide manufacturer technician warranty center facing currently failure and damages discussions on using the coolant in a wrong way that came the idea to create a scholastic job intended to infantize to correct use of this important item to motor health.

Key words: automobile, periodic car revisions, coolant, unsuspected car broken down.

SUMÁRIO

LISTA FIGURAS.....	15
LISTA DE TABELAS.....	18
LISTA DE EQUAÇÕES	20
LISTA DE ABREVIATURAS.....	21
1 INTRODUÇÃO	23
1.1. Motivação	23
1.2. Objetivo	23
1.3. Organização do trabalho	24
2 TERMODINÂMICA.....	25
2.1. Ciclos de Carnot.....	26
3 MÁQUINAS TÉRMICAS.....	28
3.1. Fluxo de calor no sistema de arrefecimento automotivo	29
3.2. Balanço energético	30
3.3. A importância da transferência de calor em um motor de combustão interna	31
4 MOTOR DE COMBUSTÃO INTERNA	33
4.1. Estacionários	34
4.2. Bloco	35
4.3. Cabeçote motor.....	36
4.4. Cárter	36
4.5. Coletor de escape	36
4.6. Coletor de admissão	36
4.7. Partes móveis	37

4.8.	Biela	37
4.9.	Pistão	38
4.10.	Anéis	38
4.11.	Virabrequim ou eixo de manivelas ou árvore de manivelas.....	38
4.12.	Eixo de comando de válvulas.....	39
4.13.	Válvulas de admissão e escape	40
4.14.	Conjunto de acionamento das válvulas	40
4.15.	Polia e anti-vibrador ou compensador harmônico	41
4.16.	Bomba de óleo	41
4.17.	Bomba d'água	42
4.18.	MCI a gasolina	44
4.19.	MCI a álcool.....	44
4.20.	MCI a diesel.....	44
4.21.	Funcionamento de motores quatro tempos	44
5 PRINCIPAIS COMPONENTES DO SISTEMA DE ARREFECIMENTO DO MOTOR.....		46
5.1.	Radiador.....	47
5.2.	Ventilador	48
5.3.	Ventilador mecânico	48
5.4.	Ventilador elétrico.....	49
5.5.	Tanque de expansão.....	50
5.6.	Válvula termostática	50
5.7.	Tampa do radiador e reservatório de expansão	51
5.8.	Sensor de temperatura.....	52
5.9.	Mangueiras	53
5.10.	Bomba d'água	54

5.11.	Fluxo da água no sistema de arrefecimento do motor	54
6	EVOLUÇÃO DO SISTEMA DE ARREFECIMENTO	55
6.1.	Sistemas de arrefecimento a ar	57
6.1.1.	Vantagens do uso de sistemas de arrefecimento a ar	57
6.1.2.	Desvantagens do uso de sistemas de arrefecimento a ar	58
6.2.	Sistema de arrefecimento à água	58
6.2.1.	Sistema de arrefecimento à água por termossifão	58
6.2.2.	Sistema de arrefecimento à água forçado.....	59
6.2.3.	Vantagens do sistema arrefecido à água	60
6.2.4.	Desvantagens do sistema arrefecido à água	60
6.3.	Controle da temperatura do motor	61
6.3.1.	Válvula termostática (Cebolão)	61
6.3.2.	Sensor de temperatura elétrico (ECT).....	61
6.4.	Sistema de duplo circuito	62
6.5.	Bomba d'água elétrica.....	63
6.6.	Sistemas modernos de arrefecimento e redução de poluentes	63
6.6.1.	Sistema EGR e emissões de poluentes.....	64
7	SISTEMA DE REFRIGERAÇÃO EM VEÍCULOS HÍBRIDOS.....	65
7.1.	Arrefecimento da bateria, motor a combustão e motor elétrico	65
7.2.	Sistema de monitoramento térmico da bateria	66
7.2.1.	Sistema de arrefecimento a ar	66
7.2.2.	Sistema de arrefecimento a líquido	67
7.2.3.	Sistema direto de arrefecimento e aquecimento por refrigerante	70
7.2.4.	PCM.....	70
7.2.5.	Modulo termoelétrico	71
7.2.6.	Tube de aquecimento	72
7.2.7.	Aquecedor PTC.....	73
8	ÁGUA E ADITIVOS DE ARREFECIMENTO	74
8.1.	Processos de desmineralização da água	75
8.1.1.	O processo de desmineralização da água irá conferir ao sistema.....	75
8.1.2.	Desmineralização por permuta iônica.....	77
8.1.3.	Desmineralização com resina catiônica	77
8.1.4.	Desmineralização com resina aniônica	78
8.1.5.	Processo de desmineralização por destilação.....	78
9	TIPOS DE ADITIVOS PARA O SISTEMA DE ARREFECIMENTO CONCENTRADO POR GLICOL BASE	79
9.1.	Aditivo de arrefecimento.....	79

9.2.	Aditivo concentrado tipo "A"	85
9.3.	Aditivo concentrado tipo "B"	86
9.4.	Aditivo concentrado tipo "C"	86
10	CORES DO ADITIVO E CONCENTRADOS PARA O SISTEMA DE ARREFECIMENTO	87
10.1.	Anticorrosivos	88
10.1.1.	IATs; Inorganic additive technology	88
10.1.2.	OAT: Organic acid technology	89
10.1.3.	HOAT: Hybrid organic acid technology	89
10.2.	Liquido de arrefecimento	91
10.3.	Normatização e qualificação dos aditivos de arrefecimento no mercado brasileiro	91
10.4.	Determinação da quantidade de anticongelante baseado em quarts	91
11	TESTE DO LIQUIDO DE ARREFECIMENTO E RESULTADOS.....	94
11.1.	Normas e documentos de referência	94
11.2.	Laboratório responsável pelos ensaios	94
11.3.	Amostras selecionadas para análise	94
11.4.	Ensaio realizado	97
11.5.	Determinação do pH.....	98
11.6.	Determinação dos pontos de congelamento e ebulição	99
11.7.	Ensaio de corrosão	100
11.8.	Resultado original.....	101
11.9.	Informações gerais do produto.....	103
12	ANÁLISE DE MODOS DE FALHAS	104
12.1.	Motor combustão interna	104
12.2.	Turbo compressor	105
12.3.	Compressor de ar dos sistemas pneumáticos	109
12.4.	Bomba d'água	111

12.5.	Caixa de cambio	112
12.6.	Sistema de climatização e arrefecimento do motor	113
12.7.	Demais componentes arrefecidos	114
13	MODOS DE FALHAS OBSERVADOS EM CAMPO	114
13.1.	Cavitação.....	114
13.2.	Corrosão.....	115
13.3.	Superaquecimento dos metais	116
13.4.	Contaminação do reservatório de expansão por resíduos metálicos	116
13.5.	Bomba d'água	118
13.6.	Cavitação no bloco do motor e carcaça da bomba d'água	120
13.7.	Compressor de ar dos sistemas de acionamento pneumático	121
13.8.	Compressor de ar do sistema pneumático com anel de vedação danificado (caso 2)	122
13.9.	Oxidação dos dutos de arrefecimento do motor	125
13.10.	Superaquecimento das camisa dos pistões de compressão	126
14	PARTE PRÁTICA.....	128
14.1.	Material utilizado	129
14.2.	Processo evolutivo da experiência.....	133
14.3.	Medições.....	138
15	CONCLUSÃO	140
16	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICA.....	141
	APÊNDICE	143

Lista figuras

Figura 1: Diagrama do ciclo de Carnot- Pressão e volume	27
Figura 2: Desenho esquemático de uma máquina térmica	29
Figura 3: Diagrama de fluxo de energia para um motor de combustão interna.....	30
Figura 4: Motor de combustão interna.....	33
Figura 5: Visão das partes estacionária de um motor de combustão interna.....	35
Figura 6: Partes móveis de um motor de combustão interna	37
Figura 7: Partes móveis de um motor de combustão interna	39
Figura 8: Eixo de comando de válvulas de um motor automotivo	39
Figura 9: Conjunto de abertura e fechamento das válvulas de admissão e escape..	40
Figura 10: Bomba de óleo lubrificante.....	41
Figura 11: Bomba de água do sistema de arrefecimento de um MCI	42
Figura 12: Motor de combustão interna em corte.....	43
Figura 13: Ciclos de um motor 4 tempos.....	45
Figura 14 : Radiador de um motor veicular	47
Figura 15: Tipos de tubo e colmeia do radiador automotivo.....	48
Figura 16: Ventilador mecânico automotivo	49
Figura 17: Ventoinha eletromagnética.....	49
Figura 18: Tanque expansão.....	50
Figura 19: Válvula termostática	51
Figura 20:Tampa do radiador e reservatório de expansão.....	52
Figura 21: Sensor de temperatura.....	53
Figura 22: Mangueiras do sistema de refrigeração do motor	53

Figura 23: Bomba d'água	54
Figura 24: Fluxo do líquido arrefecedor no motor.....	55
Figura 25: Distribuição da temperatura interna de um MCI.....	56
Figura 26: Motor arrefecido a ar	57
Figura 27: Sistema termossifão de arrefecimento	59
Figura 28: MCI arrefecido à água.....	60
Figura 29: Controle elétrico do sistema de arrefecimento	62
Figura 30: Bomba d'água elétrica.....	63
Figura 31: Sistemas de ar forçado e passivo	67
Figura 32: Sistema passivo de arrefecimento	68
Figura 33: Sistema ativo de arrefecimento por líquido	69
Figura 34: Sistema de arrefecimento por refrigerante direto	70
Figura 35: Sistema termoelétrico de aquecimento\resfriamento	71
Figura 36: Estrutura de um tubo de aquecimento	72
Figura 37: Sistema de refrigeração com tubo de aquecimento	73
Figura 38: Resistência vs temperatura de um aquecedor PTC	74
Figura 39: Desmineralização da água por destilação.....	78
Figura 40: Líquido para arrefecimento e evolução técnica das montadoras	87
Figura 41: Estrutura química de ácidos orgânicos	89
Figura 42: Triazóis.....	90
Figura 43: Ácidos orgânicos	90
Figura 44: Turbo compressor arrefecido à água	105
Figura 45: Visão em corte do turbo compressor.....	106
Figura 46: Mancal de escora e deslizamento.....	107
Figura 47: Mancal de rolamento.....	107
Figura 48: Processo de carbonização dos componentes do turbo compressor	108

Figura 49: Dutos de óleo e água do turbo e gráfico de limites de temperatura e tempo para a formação do efeito coque.....	109
Figura 50: Compressor de ar para sistema Pneumáticos Knorr Bremse	110
Figura 51: Diagrama de funcionamento da bomba d'água.....	111
Figura 52: Demonstração dos componentes de uma bomba d'água	112
Figura 53: Escala do pH.....	116
Figura 54: Reservatório de expansão com resíduos metálicos.....	117
Figura 55: Reservatório de expansão com resíduos metálicos	117
Figura 56: Bomba d'água com pás polimérica quebrada	118
Figura 57: Bomba d'água impregnada com material metálico	119
Figura 58: Válvula alívio da bomba d'água obstruída.....	119
Figura 59: Cavitação na carcaça da bomba d'água	120
Figura 60: Cavitação bloco do motor e camisas do pistão	120
Figura 61: Cilindro compressão de ar dos sistemas auxiliares.....	121
Figura 65: Anel vedação do compressor de ar danificado	124
Figura 66: Compressor de ar bi-cilíndrico	124
Figura 67: Oxidação dos dutos de arrefecimento do motor.....	126
Figura 70: Camisa cilindro do motor.....	128
Figura 72: Aditivo para radiadores	130
Figura 73: Álcool, silicone e seringa utilizados no experimento	131
Figura 74: Corpos de prova mergulhados em água e somente o aditivo	132
Figura 76: Estado dos corpos de prova após 30 dias	134
Figura 77: Estado dos corpos de prova passados 45 dias.....	135
Figura 78: Corpos de prova após 90 dias	136
Figura 79: Retirada dos corpos de prova dos recipientes	137

Lista de Tabelas

Tabela 1: Componentes de um motor de combustão interna.....	34
Tabela 2: Componentes de um MCI.....	43
Tabela 3: Nível de temperatura de funcionamento de alguns itens veicular	66
Tabela 4: Valores de calor específico de algumas substâncias	76
Tabela 5: Ponto de congelamento em função da porcentagem de etilenoglicol	80
Tabela 6: Ponto de ebulição em função da porcentagem do etilenoglicol.....	80
Tabela 7: – Viscosidade dinâmica do LDA.....	81
Tabela 8: Gravidade específica do LDA.....	82
Tabela 9: Densidade do LDA	83
Tabela 10: Calor específico do LDA.....	84
Tabela 11: Temperatura do LDA.....	85
Tabela 12: Temperatura do LDA.....	85
Tabela 13: Fórmula química de algumas substâncias	89
Tabela 14: Determinação de anticongelante em quarts em Fahrenheit.....	92
Tabela 15: Determinação de anticongelante em quarts em graus Celsius	93
Tabela 16: Diferença entre aditivo normalizado e não normalizado.....	95
Tabela 17: Marcas de aditivos para radiador compradas no mercado.....	95
Tabela 18: Resultado para teor de água	97
Tabela 19: Resultado do ensaio de verificação do teor de água para os aditivos não normalizados.....	98
Tabela 20: Resultado para determinação do pH.....	99
Tabela 21: Resultado para a determinação dos pontos de congelamento e ebulição	100
Tabela 22: Resultado para ensaio de corrosão.....	101

Tabela 23: Resultado geral da análise em aditivos para radiador.....	102
Tabela 24: Descrição da nota fiscal de compra.....	103
Tabela 25: Dados iniciais e finais do corpo de prova sem aditivo	138
Tabela 26: Dados iniciais e finais corpo de prova mergulhado no aditivo	139
Tabela 27: Dados iniciais e finais da amostra mergulhada na concentração de acordo com as especificações do fabricante.....	139
Tabela 28: Dados iniciais e finais da amostra mergulhada na concentração não recomendada pelo fabricante	139

APÊNDICE

Apêndice 1: FMEA do turbo compressor.....	143
Apêndice 2: FMEA bomba d'água.....	144
Apêndice 3: FMEA compressor de ar dos sistemas pneumáticos.....	145
Apêndice 4:FMEA líquido de arrefecimento do motor	146

Lista de Equações

Equação 1: Rendimento teórico de um ciclo de Carnot	27
Equação 2: Taxa de pressão isoentrópica	28
Equação 3:Taxa de compressão isoentrópica.....	28
Equação 4: Rendimento térmico	28

Lista de Abreviaturas

<i>ABNT</i>	<i>Associação Brasileira de Normas Técnicas</i>
<i>ECM</i>	<i>Engine Control Module</i>
<i>ECT</i>	<i>Engine Coolant Temperature</i>
<i>EGR</i>	<i>Exhaust Gas Recirculation</i>
<i>CO</i>	<i>Monóxido de Carbono</i>
<i>ECU</i>	<i>Eletronic Control Unit</i>
<i>FEMEA</i>	<i>Failure Mode and Effect Analyses</i>
<i>HC</i>	<i>Hidrocarboneto</i>
<i>HCL</i>	<i>Cloreto de Hidrogênio</i>
<i>HOAT</i>	<i>Hybrid organic Acid Technology</i>
<i>IAT</i>	<i>Inorganic Additive Technology</i>
<i>INMETRO</i>	<i>Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e qualidade industrial</i>
<i>IPEM</i>	<i>Instituto de Pesos e Medidas</i>
<i>IPT</i>	<i>Instituto de Pesquisas Tecnológica</i>
<i>IQA</i>	<i>Instituto de Qualidade Automotiva</i>
<i>LDA</i>	<i>Liquido de arrefecimento</i>
<i>MEG</i>	<i>Monoetilenoglicol</i>
<i>MCI</i>	<i>Motor de combustão interna</i>
<i>ml</i>	<i>Mililitros</i>
<i>NaOH</i>	<i>Hidróxido de sódio</i>
<i>NBR</i>	<i>Norma Técnica Brasileira</i>
<i>NTC</i>	<i>Negative Temperature Coefficient</i>
<i>OAT</i>	<i>Organic Acid Technologic</i>
<i>OH</i>	<i>Hidróxido de Oxigênio</i>
<i>PET</i>	<i>Poli Tereftato de Etila</i>
<i>PCM</i>	<i>Power-train Control Unit</i>
<i>PGI</i>	<i>Popilenoglicol</i>
<i>pH</i>	<i>potencial Hidrogênico</i>

<i>PMI</i>	<i>Ponto morto inferior</i>
<i>PMS</i>	<i>Ponto morto superior</i>
<i>PTC</i>	<i>Positive Temperature Coefficient</i>
<i>PWM</i>	<i>Power Width Module</i>
<i>RBMLQ</i>	<i>Rede Brasileira de Metrologia e Qualidade</i>
<i>SENAI</i>	<i>Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial</i>
<i>UFMG</i>	<i>Universidade Federal de Minas Gerais</i>

1 INTRODUÇÃO

A sociedade atual se tornou cada vez mais dependentes de inventos do passado e hoje modernizados em um precedente sem volta. É claro que o apelo para a adoção de hábitos nos quais o ser humano utilize o seu corpo de modo a torná-lo menos sedentário, e assim evitar os efeitos em sua saúde, também é uma vertente das ansiedades modernas. Nesse quadro um dos principais vilões apontados é o veículo automotor, pois além de induzir o proprietário a deixar de realizar atividades que no passado eram realizadas com frequência, tais como ir a locais próximos, também é apontado como um dos principais vilões no quesito emissão de poluentes do ar.

Porém, é sabido por todos que, muitas das vezes o portador de um veículo poderia minimizar o seu impacto no meio ambiente realizando as manutenções preventivas, estas indicadas em seu manual de proprietário. No entanto, a desinformação a respeito do bem adquirido e os altos custos desencorajam o cuidado correto. Pois bem, esse trabalho tem como principal argumento a conscientização na direção da prevenção e, em especial na conservação do estado do motor, com a utilização de forma correta do líquido de arrefecimento do motor.

1.1. Motivação

O impulso para a realização deste trabalho baseia-se na enorme quantidade de itens do motor e seus correlacionados que apresentam falha em campo em decorrência do uso incorreto da concentração do líquido de arrefecimento do motor com o agravante na forma inconsciente que o ato é realizado, o que seria, de certa forma, aceitável pelo usuário comum. Porém, em muitos casos, o envolvido é um profissional, a princípio, qualificado para tal ação.

1.2. Objetivo

O trabalho em questão tem como objetivo claro demonstrar a importância do líquido de arrefecimento, que muitas vezes não recebe a atenção que merece e, quais

são os enormes benefícios obtidos com a adoção de uma rotina tão simples que envolve custos relativamente baixos.

1.3. Organização do trabalho

O trabalho está dividido de forma que, o leitor possa acompanhar o desenvolvimento da proposta através dos capítulos, nos quais, os temas são expostos sempre visando a sua importância e sintonia com o sistema de arrefecimento do motor.

No capítulo 2 é mostrado os princípios da termodinâmica e sua aplicação no desenvolvimento dos motores destinados à veículos de automotores. Tais princípios são de suma importância, pois descrevem o comportamento das variáveis envolvidas e, principalmente, a distribuição do calor que envolve o sistema em estudo. O capítulo 3 demonstra a ação das formas de calor sobre uma máquina térmica e quais são os resultados obtidos dessa ação e o que deve ser aproveitado ou dispensado. Já no capítulo 4 é feita a apresentação de um motor de combustão interna de 4 tempos e as partes das quais ele é formado. Nesse capítulo é explicado o funcionamento em ciclos característico desse tipo de motor.

No capítulo 5 é apresentado as partes que compõem o sistema de arrefecimento de um veículo automotor. No capítulo é explicado, também, qual é a função de cada componente no sistema de arrefecimento e a forma de acionamento desses componentes. No capítulo 6 é encontrado um explicativo sobre a evolução do sistema de arrefecimento ao passar do tempo. Nele é possível notar as fases ao longo do tempo e como o sistema tem um modo de operação simples em comparação com a sua importância. No capítulo 7 é explicado o modo de arrefecimento dos motores elétrico e híbridos que são o assunto da vez, pois a projeção futura indica que esses carros passarão a ser cada vez mais comum de serem encontrados no dia a dia.

O capítulo 8 trata da composição do líquido de arrefecimento do motor, mostrando quais são as substâncias que o compõem e de como essas substâncias devem se comportar quando formado o sistema. O capítulo 9 é dedicado exclusivamente na explicação da principal substância que compõe o sistema de arrefecimento do motor que é o etilenoglicol, demonstrando sua ação no sistema de arrefecimento, uma vez que, suas propriedades não são obedecidas, ele passa a agir

como um agente agressor do sistema de arrefecimento. No capítulo 10 é descrito as variações de cores usadas para distinguir os tipos de aditivos usados no sistema de arrefecimento do motor. O capítulo também mostra as composições químicas utilizadas nas formulações dos aditivos de arrefecimento e as normas que designam o modo de como os aditivos devem ser oferecidos ao consumidor final.

O capítulo 11 mostra uma série de testes realizados por órgãos normativos e de defesa do consumidor que visavam identificar eventuais agressividades aos componentes do sistema de arrefecimento. Para o experimento foi selecionado uma certa quantidade de amostras e os testes foram expostos em forma de tabelas, nas quais é possível identificar a deterioração do sistema em função do uso incorreto da composição de líquido de arrefecimento do motor. No capítulo 12 é feita uma análise de falhas nos principais componentes do motor que são arrefecidos pelo líquido de arrefecimento. A análise é acompanhada por um FMEA, no qual, é possível notar a gravidade de uma paralisação total do componente em função de apenas um item do sistema que compõe o motor do veículo. No capítulo 13 é mostradas situações reais encontradas em campo, e assim sendo, ratificando a importância da utilização do líquido de arrefecimento do motor em proporções corretas para cada o tipo de motor.

No capítulo 14 é feito um teste prático utilizando um concentrado de arrefecimento e a sua ação em 4 corpos de prova metálicos. A experiência objetiva mostrar que, até em situações que não representam em sua totalidade um sistema de arrefecimento automotivo, a simples ação de obedecer a proporção estabelecida pelo fabricante será benéfica aos componentes do motor, evitando danos e reparos desnecessários.

2 TERMODINÂMICA

Uma das principais conquistas do homem foi a descoberta de como transformar calor em trabalho, ciência que se enquadra nos princípios da termodinâmica. A seguir, serão demonstradas algumas propriedades termodinâmicas e conseqüentemente entender como funciona parte de um motor de combustão interna, que nada mais é do que, uma máquina térmica trabalhando em ciclos de operação.

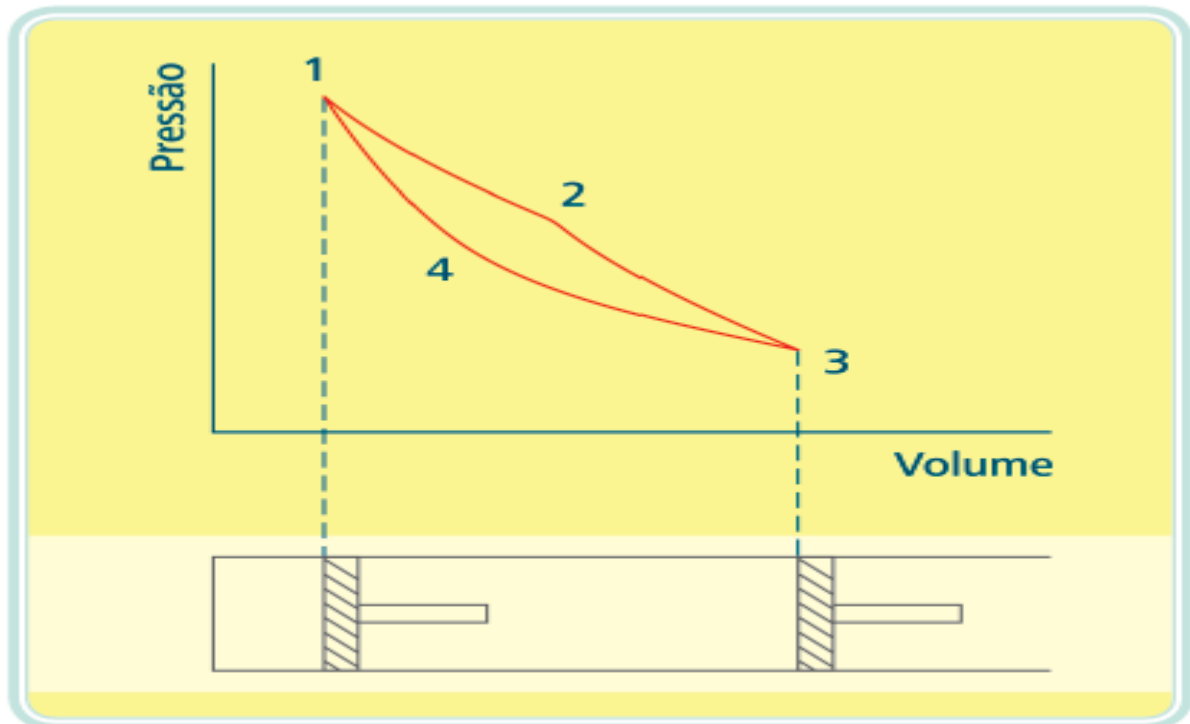
Para entender melhor o conceito de máquina térmica será introduzido o modelo, de forma simplificada, de uma máquina de ciclos térmicos desenvolvido pelo francês Nicholas Carnot-(1796-1832) físico e matemático- que enunciava que, um ciclo ideal baseado na obtenção de energia de gases perfeitos deveria ter um rendimento de aproximadamente 72% e que não foi observado por nenhuma máquina térmica real. (Alvarenga, B., Máximo, A.,1997)

2.1. Ciclos de Carnot

Segundo Tillmann (2013), os ciclos de Carnot são observados na figura 1 e descritos da seguinte forma:

- Expansão isotérmica 1 a 2.
 - Expansão adiabática 2 a 3.
 - Compressão isotérmica 3 a 4.
 - Compressão adiabática 4 a 1.
- ✓ Expansão isotérmica: durante esta fase o cilindro é resfriado. Este exige aquecimento, afim de manter a temperatura constante.
- ✓ Expansão adiabática: o aquecimento do cilindro é interrompido, evitando assim a troca de calor com o cilindro, a massa gasosa deve retomar a massa e pressão observadas na primeira fase.
- ✓ Compressão isotérmica: nessa fase a massa gasosa deve ser introduzida no cilindro e posteriormente comprimida pelo pistão- temperatura constante-. O cilindro é resfriado durante essa fase.
- ✓ Compressão adiabática: A compressão é continuada interrompendo o processo de resfriamento do cilindro, de modo que não haja troca de calor entre o gás e o cilindro.

Figura 1: Diagrama do ciclo de Carnot- Pressão e volume



Fonte: Adaptado de Van Wylen, 1994

Segundo Tillmann (2013), o rendimento teórico (n_t) de um ciclo de Carnot é função das temperaturas do calor fornecido ou rejeitado.

Equação 1: Rendimento teórico de um ciclo de Carnot

$$n_t = 1 - \frac{TL}{TH} = 1 - \frac{T_4}{T_1} = 1 - \frac{T_3}{T_2}$$

Onde: n_t = rendimento

TL=temperatura baixa

TH= temperatura alta

Segundo Tillmann (2013), o rendimento pode ser expresso de outras duas formas, através da relação de pressão (Rps) ou taxa de compressão (Rvs):

Taxa de pressão isoentrópica:

Equação 2: Taxa de pressão isoentrópica

$$R_{PS} = \frac{P_1}{P_4} = \frac{P_2}{P_3} = \left(\frac{T_3}{T_2}\right)^{\left(\frac{k}{1-k}\right)}$$

Onde: Rps= relação de pressão;

P_1, P_2, P_3 e P_4 = pressão

T_3 = temperatura baixa

T_2 = temperatura alta;

K= Constante

Taxa de compressão isentrópica:

Equação 3:Taxa de compressão isoentrópica

$$R_{vs} = \frac{v_4}{v_1} = \frac{v_3}{v_2} = \left(\frac{T_3}{T_2}\right)^{\left(\frac{k}{1-k}\right)}$$

Onde:Rvs= taxa de compressão

V_1, V_2, V_3 e V_4 = volume

K=constante

Portanto o rendimento (n_t)

Equação 4: Rendimento térmico

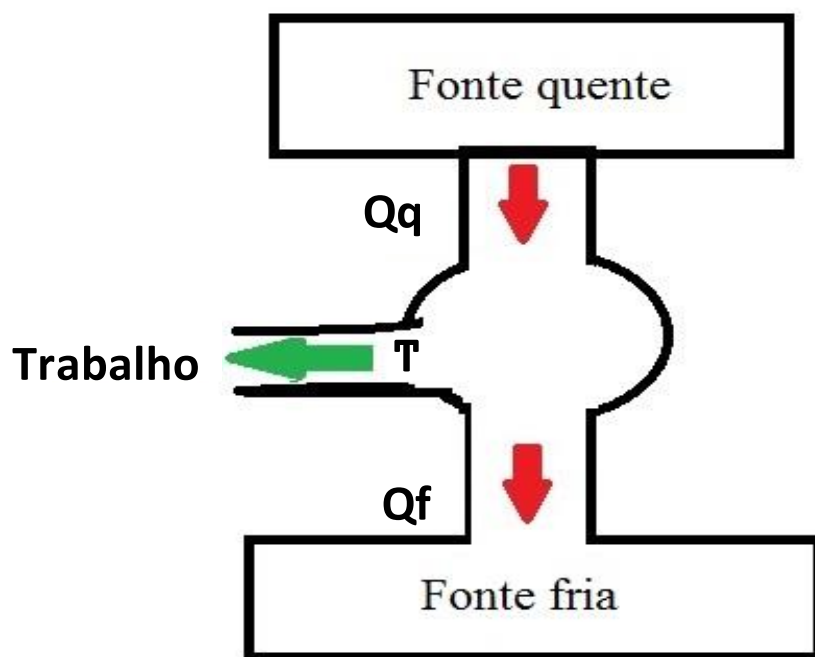
$$n_t = 1 - n_{ps}^{\left(\frac{1-k}{k}\right)} = 1 - r_{vs}^{1-k}$$

3 MÁQUINAS TÉRMICAS

Uma máquina térmica é um mecanismo que transforma um tipo de energia, química, térmica, gasosa, etc., em mecânica, elétrica, entre outras. Um bom exemplo é o motor de combustão interna que transforma a energia armazenada em uma massa gasosa, combustível e ar, em energia mecânica de rotação. Todo o processo é feito

em ciclos no qual a fonte de energia (Q_q) absorvida ou introduzida no sistema é transformada em altas temperaturas em trabalho (T), em seguida é devolvida ao sistema em forma de calor (Q_f) e em temperatura menor.

Figura 2: Desenho esquemático de uma máquina térmica



Fonte: Adaptado de Mundoeducação, 2018

3.1. Fluxo de calor no sistema de arrefecimento automotivo

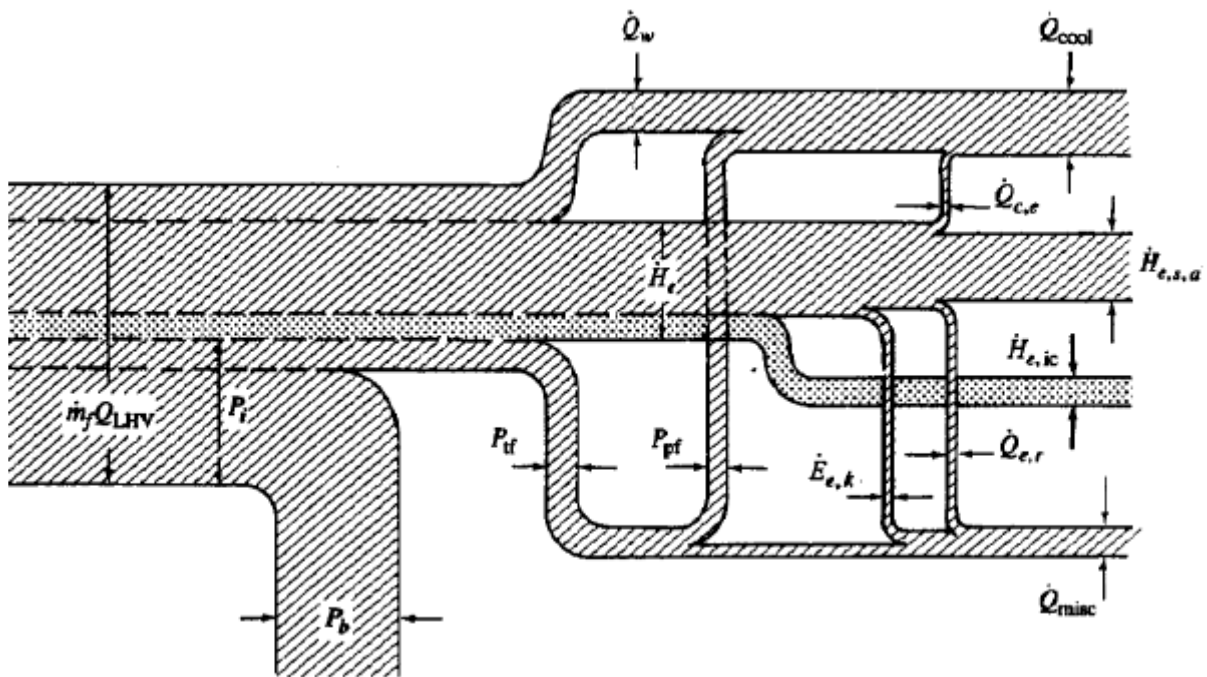
A transferência de calor no motor automotivo é feita de maneira não uniforme que dependerá do tipo de material da seção do motor. Essa distribuição, como não podia ser diferente, será feita através dos processos de convecção, radiação e condução.

Nota-se que apenas 25% da energia química é transformada em trabalho, sendo 75% dessa transformação energética desperdiçada em outras formas de energia (Bohacz,2007). A figura 3 apresenta essa distribuição energética.

3.2. Balanço energético

Num balanço energético geral, levando em consideração um volume de controle envolvendo a superfície do motor, a primeira lei da termodinâmica para regime permanente apresenta a seguinte forma (Heywood,1998).

Figura 3: Diagrama de fluxo de energia para um motor de combustão interna



Fonte: Heywood,1998

Na figura 3 o parâmetro $\dot{m}_f Q_{LHV}$ é o produto da vazão mássica de combustível pelo poder calorífico inferior, \dot{Q}_w é uma taxa de transferência de calor às paredes da câmara de combustão; \dot{H}_E é o fluxo de entalpia nos gases de exaustão; P_b é a potência de eixo; P_{tf} é a potência total de atrito no pistão; \dot{Q}_{cool} é a taxa de rejeição de calor ao fluido de arrefecimento; $\dot{Q}_{c,e}$ é a taxa de rejeição de calor do líquido de arrefecimento na passagem de exaustão; $\dot{H}_{e,s,a}$ é o fluxo da entalpia de calor sensível dos gases de exaustão jogados na atmosfera; $\dot{H}_{e,i,c}$ é o fluxo na entalpia química dos gases de exaustão de escape; $\dot{E}_{e,k}$ é a taxa de variação da energia cinética dos gases de escape e \dot{Q}_{misc} é a soma das taxas de transferência de calor remanescentes.

3.3. A importância da transferência de calor em um motor de combustão interna

Segundo (Heywood,1998) o pico máximo de temperatura da mistura gasosa durante a combustão pode chegar até, aproximadamente, 2300°C. Ou seja, a temperatura interna da câmara de combustão é em função do material metálico da qual é formada e, sendo assim, o arrefecimento na cabeça do embolo, cilindro e pistão deve ser o mais eficiente possível.

O fluxo de temperatura varia substancialmente de acordo com a sua localização no motor, mas geralmente, a região próxima a câmara de combustão experimenta o maior fluxo de energia. Situações análogas a esta nos leva a enfatizar que pressões térmicas devem ser mantidas abaixo de valores que possam levar o material metálico à trincas por fadiga. Portanto, as temperaturas devem ser mantidas abaixo de 400°C para o ferro fundido e 300°C para ligas de alumínio.

Outro fator importante que deve ser mencionado é a eficiência do filme de óleo lubrificante que para ocorrer a temperatura das paredes do cilindro deve ser mantida em torno de 180°C, evitando assim a deterioração do lubrificante.

A eficiência energética, emissões, performance do motor serão todas afetadas pela forma a qual a transferência de calor é realizada em um motor de combustão interna. Por exemplo: para uma determinada massa de combustível admitida na câmara de combustão do motor e quanto maior for a transferência de calor que envolve a câmara de combustão, menor será a propagação da frente de chama e pressão, diminuindo assim, o trabalho realizado naquele ciclo devido à queda na taxa de compressão. Isso nos diz que potência e eficiência são afetados pela magnitude na transferência de calor de um motor e esse fator é importante quando o foco é emissões, pois mudanças na temperatura influência diretamente na quantidade formada de HC e CO.

Sistema de sobre alimentação (turbo compressor), atrito em partes em movimento relativo, temperatura do óleo lubrificante e, portanto, sua viscosidade são todos afetados pela eficiência do motor em transferir calor e também contribui para a eficiência do líquido de arrefecimento.

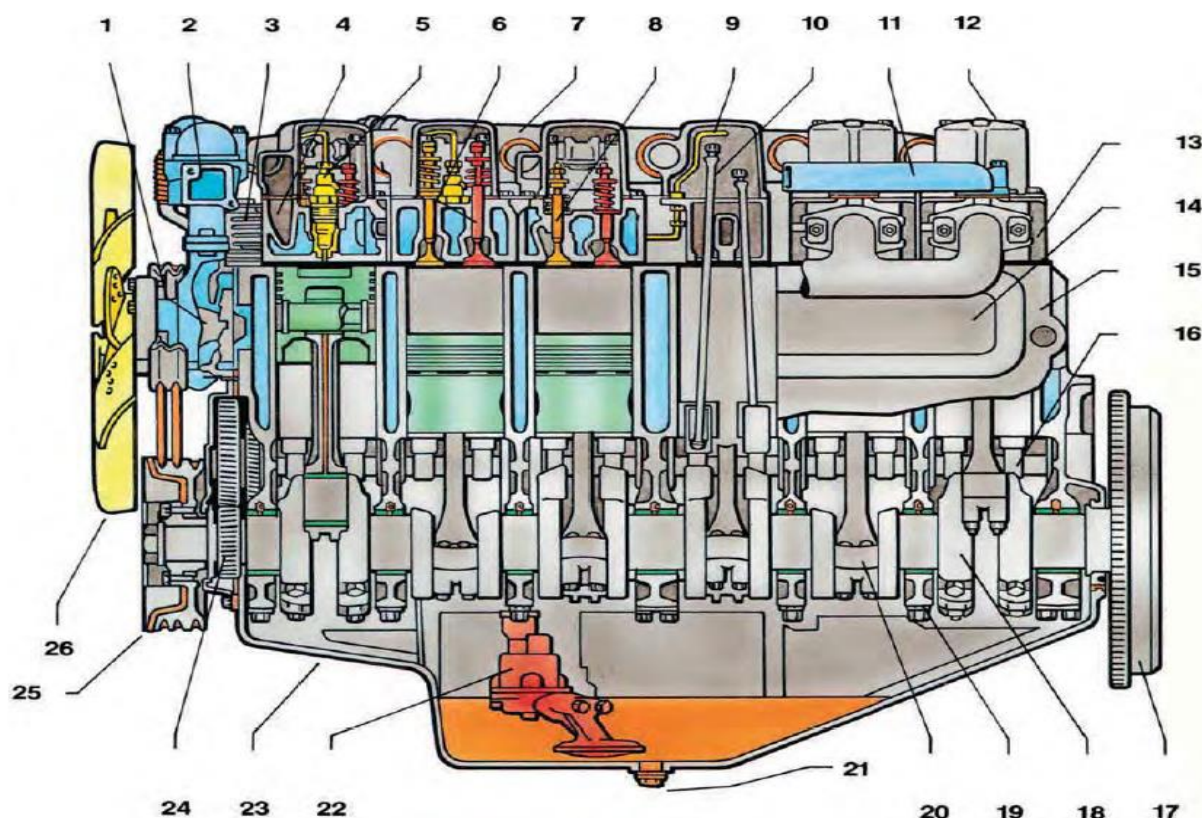
(Heywood,1998) para entender melhor a importância que envolve a transferência de calor seria importante dividir o motor em seus subsistemas. O Sistema de admissão formado pelo coletor de admissão e válvulas terá sua eficiência volumétrica seriamente reduzida pela transferência de calor para a massa de ar admitida. Portanto, em motores do ciclo Otto, a massa gasosa é aquecida para ajudar na vaporização do combustível. Internamente, no cilindro do motor, a temperatura de carga admitida relativa a temperatura das paredes do cilindro e o campo de fluxo varia enormemente durante o ciclo e todas irão influenciar enormemente na transferência de calor. Durante o processo de admissão, o fluxo de ar é geralmente mais frio do que as paredes do cilindro e as velocidades de admissão são maiores. Durante a compressão a temperatura sobe acima da temperatura das paredes e a velocidade diminui. A transferência de calor é agora dos gases para a câmara de combustão. Durante a combustão a temperatura do gás aumenta substancialmente e a expansão da massa gasosa, que ocorre no combustível, provoca um aumento na movimentação do gás. Este é o período que a taxa de transferência de calor atinge seu máximo. Também, a pressão no cilindro aumenta, uma pequena fração da massa no cilindro é forçada a regiões periféricas resultando em um aumento na transferência de calor. Durante a expansão, a temperatura do gás diminui e a taxa de transferência de calor sofre uma redução, quando a válvula de escape abre produz um processo de sucção que aumenta a velocidade de admissão para o cilindro. Boa parte da transferência de calor dos gases de escape para as válvulas de escape, coletor de escape ocorre durante a fase de exaustão. A taxa de transferência de calor foi estimada da pressão do cilindro, das temperaturas da queima total e parcial da massa admitida, temperatura da área da superfície da câmara de combustão e temperatura das paredes dos cilindros, assumindo as variações na velocidade de admissão em função da velocidade do cilindro.

A habilidade em prever a magnitude na taxa de transferência de calor entre o combustível utilizado, as características do sistema de admissão, câmara de combustão, sistema de escape e o sistema de arrefecimento do motor é de suma importância durante a execução do projeto de um determinado motor.

4 MOTOR DE COMBUSTÃO INTERNA

O motor de combustão interna, idealizada por James Watt – (1736-1819) Matemático e engenheiro Britânico- e sua máquina a vapor, e o mecanismo destinado a converter as diversas formas de energia em energia mecânica. No caso, a conversão é caracterizada pela transformação da energia térmica, proveniente da queima da mistura gasosa atomizada, em energia mecânica (Livro do automóvel,1976).

Figura 4: Motor de combustão interna



Fonte: Manual técnico do curso de motores Mahle, 2016

Tabela 1: Componentes de um motor de combustão interna

01- Bomba d'água	14- Tampa lateral do bloco
02- Termostato da água de refrigeração	15- Bloco do motor
03- Compressor de ar	16- Eixo comando de válvulas
04- Duto de admissão	17- Volante
05- Válvula injetora de combustível	18- Eixo virabrequim
06- Válvula de escape	19- Capa do mancal principal
07- Coletor de admissão	20- Biela
08- Válvula de admissão	21- Bujão de escoamento do óleo do cárter
09- Linha de injeção de combustível	22- Bomba de óleo
10- Vareta de válvula	23- Cárter
11- Duto de saída de refrigeração	24- Engrenagem do virabrequim
12- Tampa de válvula	25- Polia anti-vibração
13- Cabeçote	26- Hélice

Fonte: Adaptada do manual técnico do curso de motores Mahle, 2016

Para um entendimento melhor de como funciona um motor a combustão interna será apresentada uma descrição do funcionamento das principais partes, separados em grupos conforme a sua aplicação e eles são: estacionários e móveis.

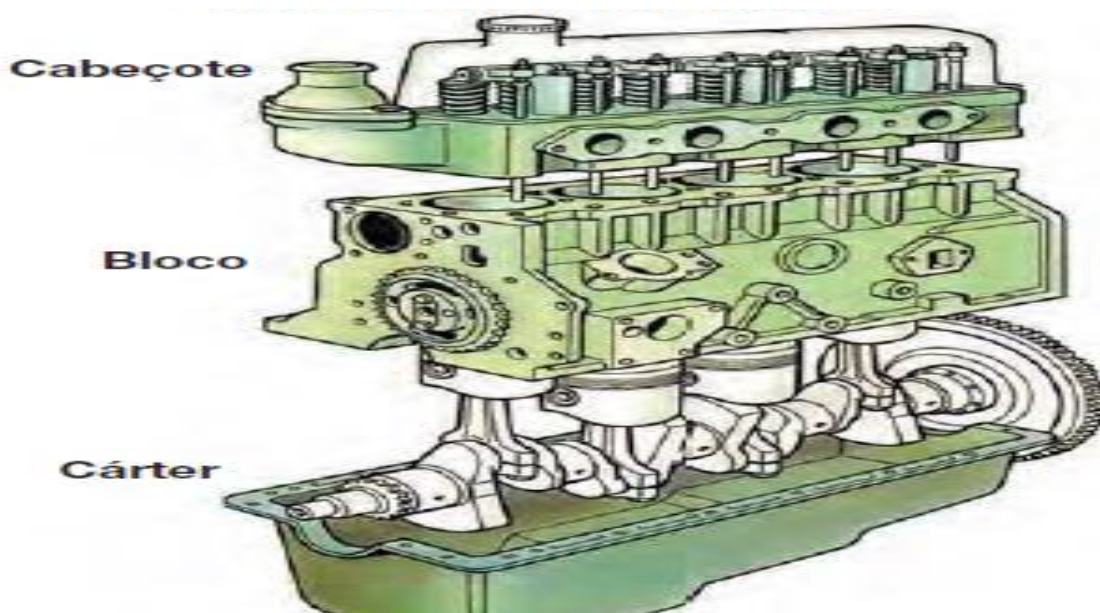
4.1. Estacionários

Esse grupo é formado pelos seguintes componentes:

- ✓ Bloco

- ✓ Cabeçote
- ✓ Cáster
- ✓ Coletor de admissão
- ✓ Coletor de escape

Figura 5: Visão das partes estacionária de um motor de combustão interna



Fonte: Manual técnico do curso de motores Mahle, 2016

4.2. Bloco

Forjado em ferro fundido ou alumínio é o item do motor no qual se encontra os cilindros ou furos para a colocação das camisas do pistão.

Nos motores arrefecidos a água dutos são construídos em seu interior a fim de permitir a circulação do líquido de arrefecimento. Também são encontrados dutos cuja função é permitir a passagem do óleo lubrificante. No entanto, esses dutos são separados entre si, pois tanto o arrefecimento quanto a lubrificação das partes estacionária e móveis do motor fazem parte de sistemas diferentes.

Além de suportar os cilindros, onde se movimentam os pistões, o bloco do motor serve de ponto de fixação para o cárter, virabrequim e cabeçote do motor.

4.3. Cabeçote motor

Feito do mesmo material do bloco do motor, ferro fundido ou ligas de alumínio para veículos de alto desempenho, o desenho do cabeçote pode mudar drasticamente as características de potência e torque do motor.

O cabeçote do motor é fixado na parte superior do bloco e serve de “tampa” para os cilindros do motor e, em muitos casos, é o local onde se encontra a câmara de combustão, conjunto de válvulas de admissão e escape, eixo do comando de válvulas, fixação da vela de ignição e dutos individuais para a passagem do líquido de arrefecimento e óleo lubrificante.

4.4. Cárter

Localizado na parte inferior do bloco o cárter tem como principal função a armazenagem do óleo lubrificante e proteção das partes inferiores do motor.

4.5. Coletor de escape

Fixado na parte lateral do bloco do motor é o responsável pela condução dos gases resultantes da queima do ar\combustível para a atmosfera com o auxílio do tubo de escape e silencioso.

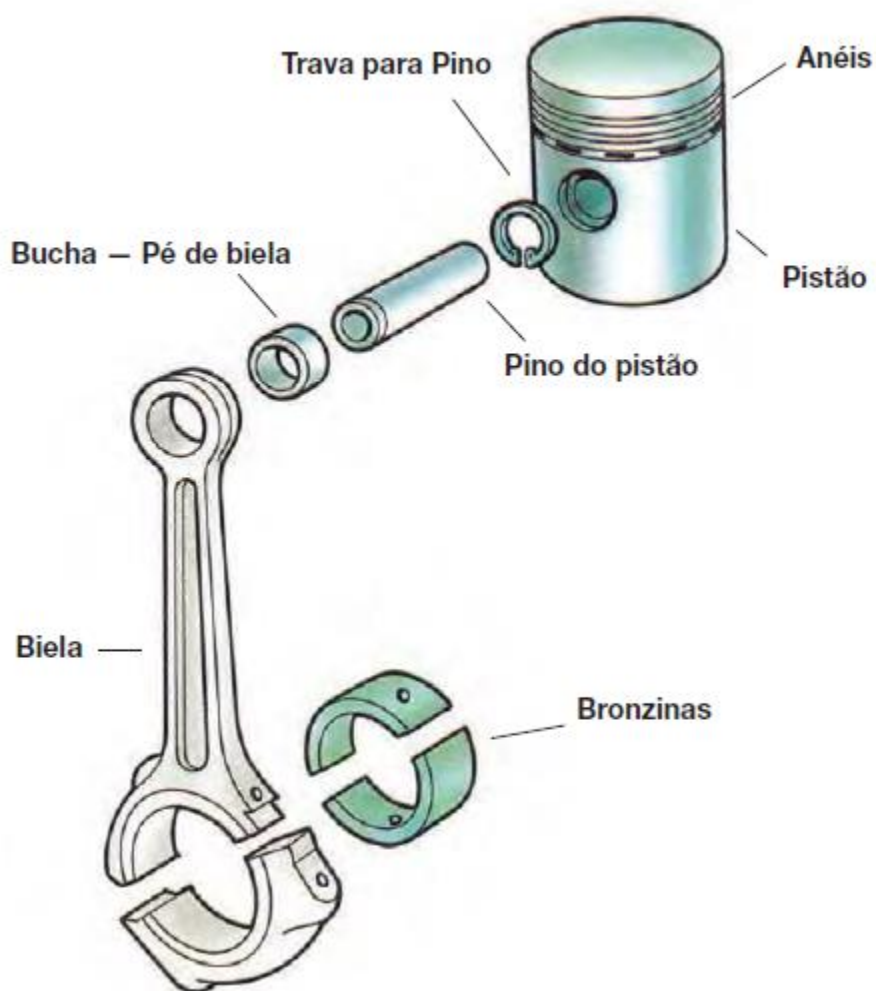
4.6. Coletor de admissão

Responsável pela condução da mistura ar\combustível, ciclo otto com carburador ou injeção eletrônica, mono ou multiponto, para a câmara de combustão. Quando se trata de veículos que trabalham no ciclo diesel ou injeção direta o coletor de admissão é o condutor apenas do ar até a câmara de combustão.

4.7. Partes móveis

As partes móveis, como é sugerido pelo nome, são os componentes do motor que estarão em movimento, rotatório ou alternado, em relação às partes estacionárias do motor.

Figura 6: Partes móveis de um motor de combustão interna



Fonte: Manual técnico do curso de motores Mahle, 2016

4.8. Biela

A biela é a responsável pela transformação do movimento retilíneo alternado do pistão em movimento rotativo do virabrequim. A parte superior, ou pé, é onde o

pistão se conecta a biela, com a auxílio de um pino e um anel trava, o que lhe confere a liberdade para o movimento lateral nas subidas e descidas no curso interno dos cilindros. Já a parte inferior, a saia, é fixada ao virabrequim.

4.9. Pistão

Fabricado em alumínio, na maior parte dos casos, sendo o componente que recebe a força de expansão dos gases e transfere para a biela. Ele se movimenta no interior dos cilindros e é fixado à biela por um pino e anel trava, além de possuir canais destinados aos anéis de segmento e, em algumas aplicações, é aonde se localiza a câmara de combustão.

4.10. Anéis

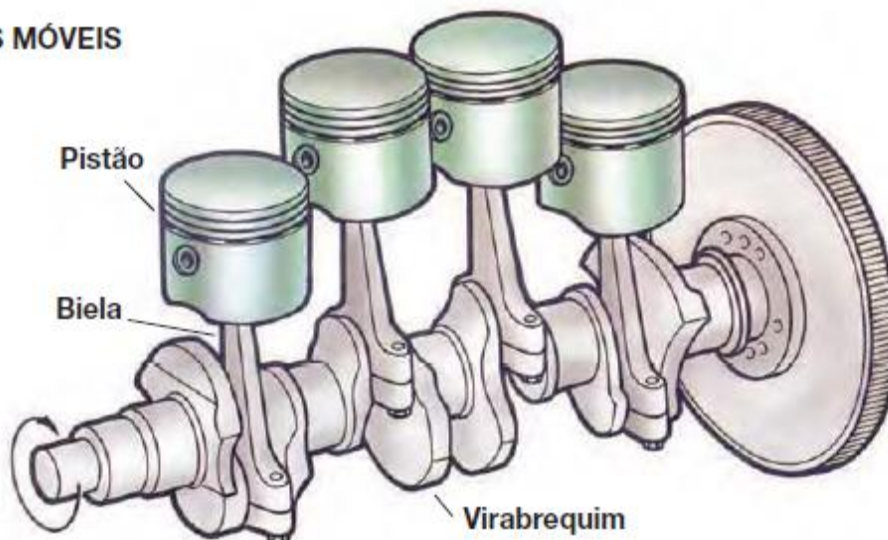
De acordo com o Manual técnico Mahle, os anéis de segmento compensam a folga entre o pistão e o cilindro, dando a vedação necessária para uma boa compressão do motor e um melhor rendimento térmico.

4.11. Virabrequim ou eixo de manivelas ou árvore de manivelas

Transforma o movimento alternado da biela em movimento rotativo. Localizado na parte inferior do bloco do motor, é também o responsável por acionar outros componentes do motor de forma direta através de polias ou engrenagens.

Figura 7: Partes móveis de um motor de combustão interna

ÓRGÃOS MÓVEIS



Fonte: Manual técnico do curso de motores Mahle, 2016

4.12. Eixo de comando de válvulas

A função deste eixo é abrir as válvulas de admissão e escape. É acionado pela árvore de manivelas através de correntes ou engrenagens, ou ainda, correia dentada. (Manual técnico Mahle).

Figura 8: Eixo de comando de válvulas de um motor automotivo



Fonte: Manual técnico do curso de motores Mahle, 2016

4.13. Válvulas de admissão e escape

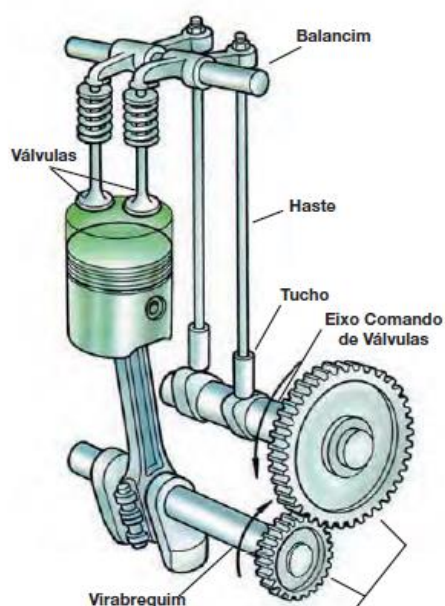
A válvula de admissão tem a função de permitir a passagem de ar e combustível ou somente o ar em tempos pré-determinados e bem definidos para os cilindros do motor (Cummins,2016).

No que se diz a válvula de escape, é a responsável por permitir a passagem dos gases resultantes da queima da mistura gasosa para a atmosfera, e assim como a válvula de admissão, são pré-calibradas abrindo e fechando de acordo com o regime de funcionamento do motor.

4.14. Conjunto de acionamento das válvulas

Compreende o tucho e uma haste, que interligam ao balancim, sendo que este atua diretamente sobre a válvula. No momento em que o eixo de comando de válvulas gira, o ressalto deste aciona o tucho, que por sua vez, move a haste fazendo com que o balancim transmita o movimento à válvula, abrindo-a (manual técnico do curso de motores Mahle).

Figura 9: Conjunto de abertura e fechamento das válvulas de admissão e escape



Fonte: Manual técnico do curso motores Mahle, 2016

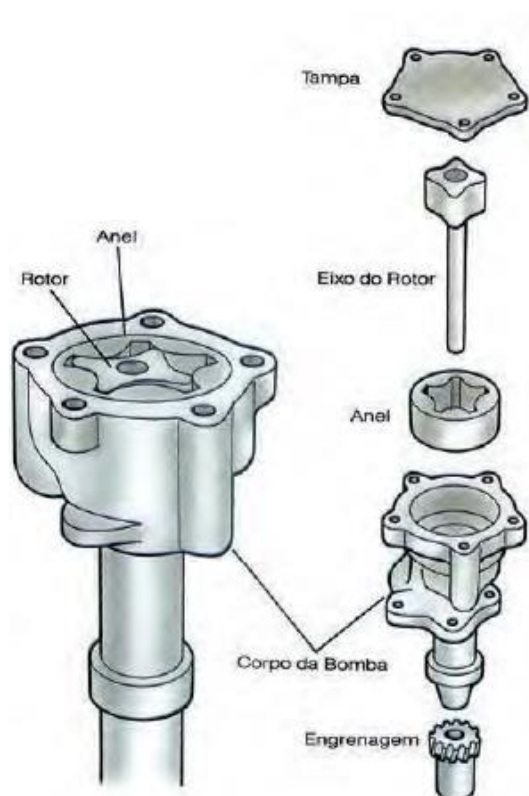
4.15. Polia e anti-vibrador ou compensador harmônico

Transmite o movimento rotatório da árvore de manivelas a componentes como o alternador, bomba d'água, compressor de ar condicionado e outros por meio de uma correia e amortece as vibrações do funcionamento do motor.

4.16. Bomba de óleo

Componente responsável pela lubrificação das partes do motor ou agregados pelo bombeamento do óleo lubrificante sob alta pressão. Existem vários tipos de bombas, sendo que a mais comum é a de engrenagens.

Figura 10: Bomba de óleo lubrificante



Fonte: Manual técnico do curso de motores Mahle, 2016

4.17. Bomba d'água

Segundo Robert Bosch (2005), a bomba d'água é a responsável pela circulação do líquido de arrefecimento através do motor e radiador. Em um comparativo com o corpo humano, o componente seria o “coração” do veículo, uma vez que, ocorrendo a interrupção da circulação do líquido de arrefecimento em função de um problema, haverá um superaquecimento, queimando junta do motor e acarretando em prejuízos para o proprietário do veículo.

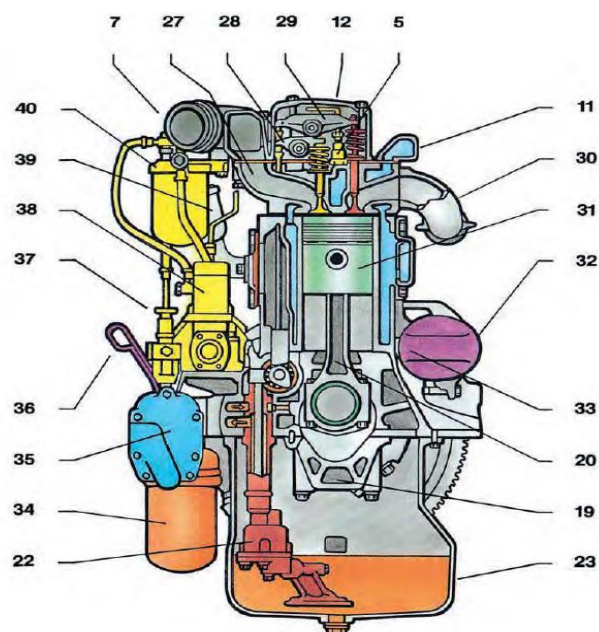
Figura 11: Bomba de água do sistema de arrefecimento de um MCI



Fonte: Manual técnico curso de motores Mahle, 2016

Na figura 12 é apresentada uma vista em corte da parte frontal de um MCI e os itens que formam o mecanismo mecânico.

Figura 12: Motor de combustão interna em corte



Fonte: Manual técnico do curso de motores Mahle, 2016

Tabela 2: Componentes de um MCI

5- Válvula injetora de combustível	30-Coletor de escape
7- Coletor de admissão	31- Pistão
11- Duto de saída de refrigeração	32-Motor de partida
12- Tampa da válvula	33- Dreno da água de refrigeração
19- Capa do mancal principal	34-Filtro de óleo
20- Biela	35-Radiador de óleo
22- Bomba de óleo	36- Vareta indicadora do nível de óleo
23- Cárter	37- Bomba manual de combustível
27- Duto de admissão tangencial	38- Bomba injetora
28- Balancim da válvula de admissão	39- Respiro do cárter
29- Balancim da válvula de escape	40-Filtro de combustível

Fonte: Adaptado do Manual técnico do curso de motores Mahle,2016

4.18. MCI a gasolina

Este tipo de motor utiliza a energia da queima da mistura gasosa, que no caso trata-se da gasolina e o ar, para gerar trabalho. O processo se inicializa pela expansão dos gases, gerada por uma faísca elétrica sobre a cabeça do pistão do motor. A energia é transferida à manivela de eixos (virabrequim) com o auxílio da biela.

4.19. MCI a álcool

Este tipo de motor utiliza a energia da queima da mistura gasosa, no caso o álcool e ar, que contém uma carga energética maior do que a gasolina, para gerar trabalho. O processo se inicializa pela expansão dos gases gerado por uma faísca elétrica sobre a cabeça do pistão do motor. A energia é transferida para a árvore de manivelas pela biela.

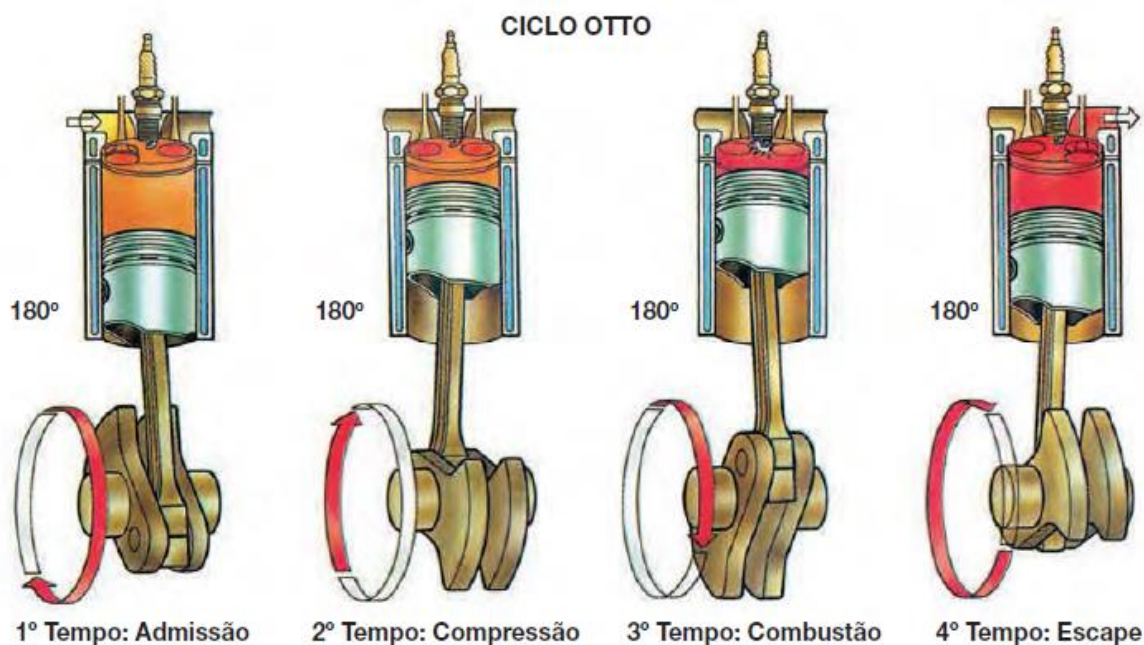
4.20. MCI a diesel

Diferentemente dos processos de conversão de energia citados anteriormente, esse tipo de motor destaca-se pela ausência de um sistema de ignição independente da mistura gasosa, diesel e ar é injetado na câmara de combustão em proporções pré-determinadas. A inflamação do combustível ocorre de forma espontânea, sendo possível graças a compressão do ar à altas pressões e posteriormente a injeção do diesel na câmara de combustão.

4.21. Funcionamento de motores quatro tempos

Como o próprio nome sugere, nesse tipo de motores o ciclo se completa depois da realização de quatro ciclos, sendo que para isso serão necessárias duas voltas completas de eixo de manivelas como será descrito posteriormente.

Figura 13: Ciclos de um motor 4 tempos



Fonte: Manual técnico do curso de motores Mahle, 2016

1º Tempo: Admissão

A 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. A 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°).

3º Tempo: 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

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 (540°).

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 (720°).

A realização dos 4 ciclos gera uma grande quantidade de energia. Porém, boa parte dessa energia é desperdiçada em forma de atrito e, principalmente, calor. Visando uma melhor eficiência do motor, desenvolveu-se o sistema de arrefecimento com o intuito de retirar a maior quantidade de calor possível, tornando o mecanismo mais eficiente em termos de realização de trabalho (Manual técnico Mahle,2016).

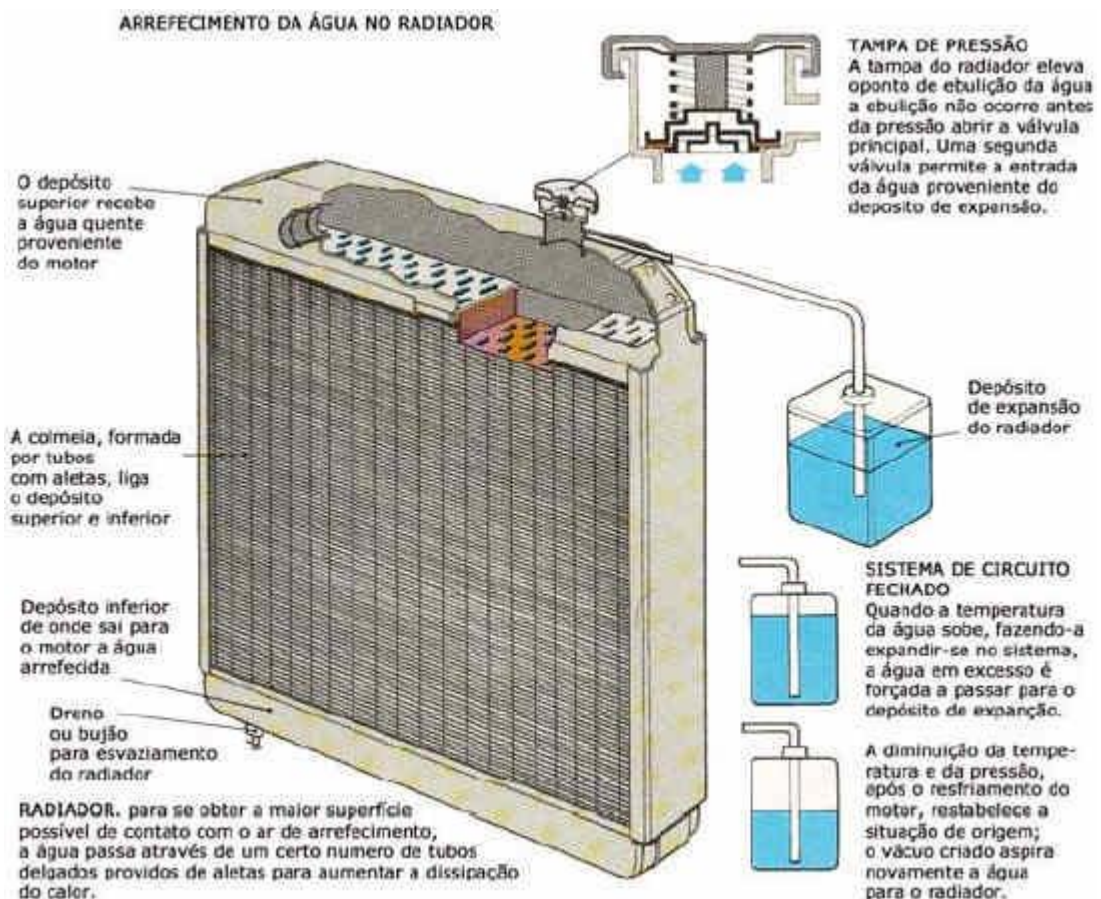
5 PRINCIPAIS COMPONENTES DO SISTEMA DE ARREFECIMENTO DO MOTOR

A seguir é apresentado os principais itens que formam o sistema de arrefecimento de um veículo automotor que, apesar de muitos não conferir a devida importância, é um dos, se não, o principal sistema quando o assunto é uma máquina térmica.

5.1. Radiador

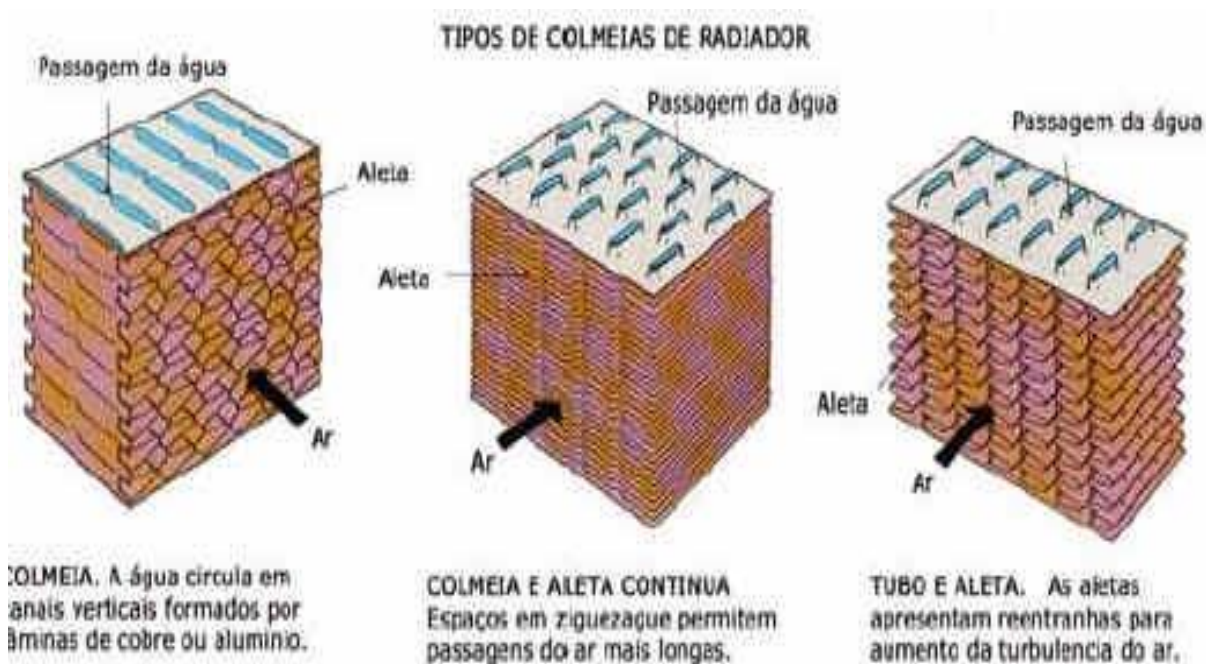
Basicamente é um trocador térmico que tem como principal função retirar o calor do líquido de arrefecimento. Este é um dos principais componentes do sistema e é formado por colmeias, que estão dispostas contra o fluxo de ar. O líquido de arrefecimento é forçado a passar através das colmeias e assim ocorre a troca de calor com o ar.

Figura 14 : Radiador de um motor veicular



Fonte: Sistemas automotivos, 2018

Figura 15: Tipos de tubo e colmeia do radiador automotivo



Fonte: Sistemas automotivos, 2018

5.2. Ventilador

O ventilador, que podem ser de dois tipos: mecânico e elétrico, é o responsável pela ação de forçar a passagem de ar através das aletas do radiador.

5.3. Ventilador mecânico

O ventilador mecânico é acionado diretamente pelo motor do veículo por um conjunto formado de polia e correia e é também conhecida por ventilação forçada.

Figura 16: Ventilador mecânico automotivo



Fonte: 4x4 brasil

5.4. Ventilador elétrico

O ventilador elétrico é auxiliado por um sensor térmico, o qual enviará um sinal a unidade de comando do motor informando que a temperatura limite do motor foi atingida e se faz necessário a sua refrigeração, e assim sendo, o acionamento do ventilador é feito através de uma embreagem elétrica que está disposta no motor da ventoinha e passa girar solidária ao motor.

Figura 17: Ventoinha eletromagnética



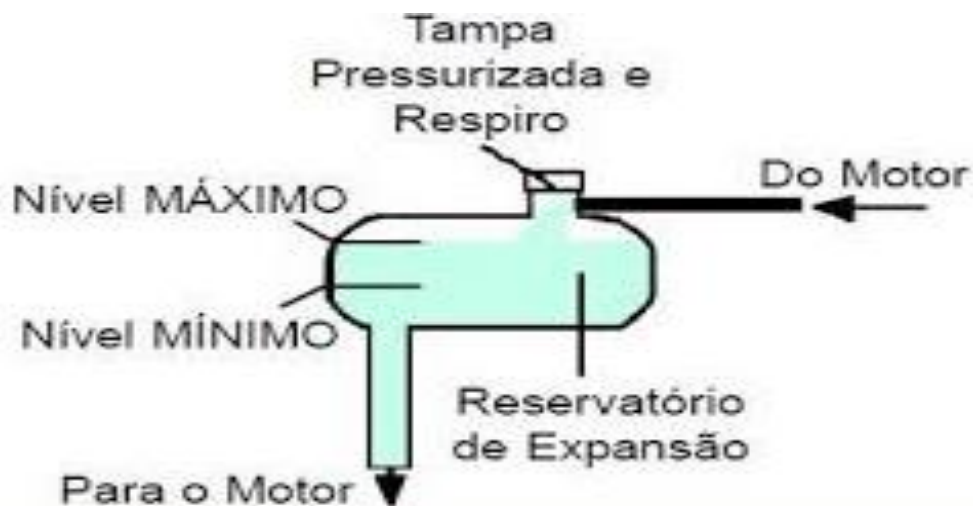
Fonte: Borgwarner,2018

5.5. Tanque de expansão

É um reservatório destinado a armazenar o líquido de arrefecimento do motor quando esse atinge uma determinada temperatura, ou seja, quando ocorre a expansão do líquido arrefecedor, daí surge o seu nome.

Quando ocorre o resfriamento do motor, surge um vácuo no radiador, fazendo com que o líquido arrefecedor no reservatório de expansão retorne ao radiador, e assim, indicando o real nível do LDA (líquido de arrefecimento) no motor.

Figura 18: Tanque expansão



Fonte: MTE-THOMSON, 2018

5.6. Válvula termostática

A válvula termostática ou termostato é a responsável pela frequência de circulação do LDA e o controle é feito em função da temperatura. Quando o motor está frio, característica crítica de partida, a válvula fecha fazendo com que LDA circule apenas nas galerias do motor e, atingida a temperatura ideal de trabalho, o controle é feito para que a válvula abra e a troca de calor ocorra de maneira satisfatória, sendo assim, a válvula irá trabalhar em um sistema de abertura e fechamento, um relé mecânico, e em sistemas modernos este controle é feito de forma eletrônica.

Figura 19: Válvula termostática



Fonte: Carroinfoco, 2019

5.7. Tampa do radiador e reservatório de expansão

Tem a função de controlar a pressão interna do radiador e do reservatório de expansão. No radiador age mantendo o sistema pressurizado, elevando a temperatura de ebulição da água. Já no reservatório de expansão controla além da pressão do sistema, e evitando assim a condição que é popularmente chamada de o “motor ferveu”, controla o retorno do LDA para o radiador na condição do motor frio através da diferença de pressão, pois a pressão do radiador é menor do que no reservatório de expansão devido a ação da tampa.

Figura 20: Tampa do radiador e reservatório de expansão



Fonte: Click automotiva, 2018

5.8. Sensor de temperatura

O nome é autoexplicativo, ou seja, é um sensor cuja função é informar a ECU (unidade de comando do motor) a temperatura do LDA em tempo real, quando em sistemas eletrônicos.

A informação da temperatura do motor irá resultar na quantidade de combustível injetado nos cilindros. Os valores atingidos, no sentido do atendimento da taxa estequiométrica, farão com que fatores que influenciam na eficiência energética, emissões de gases poluentes, inclusive os que afetam a camada de ozônio que são padronizadas, ou seja, possuem limites, venham a diminuir de forma substancialmente.

Figura 21: Sensor de temperatura



Fonte: MTE-THOMSON, 2019

5.9. Mangueiras

Tem a simples função, porém não menos importante, de conduzir o LDA do radiador para o motor, com a auxílio de uma bomba mecânica.

Figura 22: Mangueiras do sistema de refrigeração do motor



Fonte: Mangotex, 2019

5.10. Bomba d'água

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 (Cummins,2018).

Figura 23: Bomba d'água

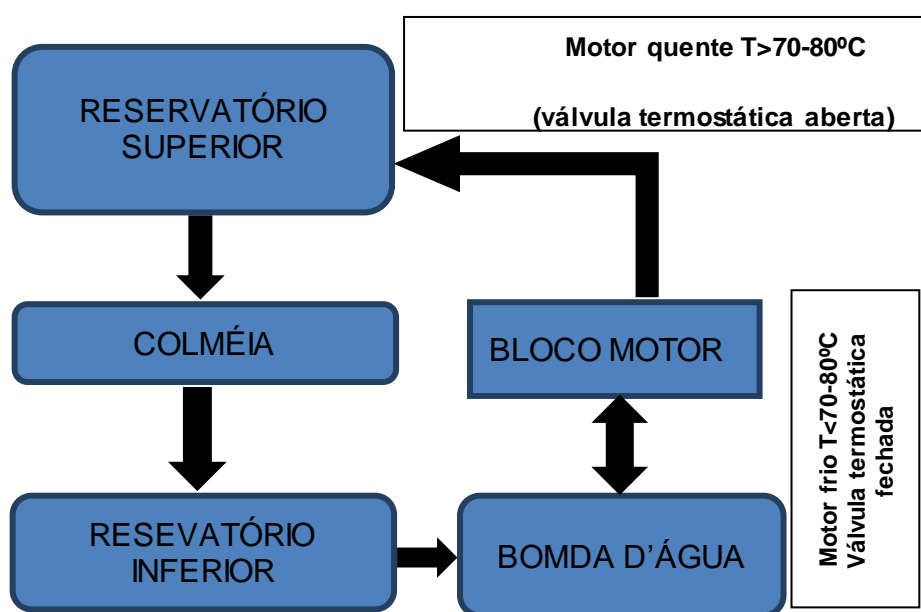


Fonte: Carroinfoco, 2019

5.11. Fluxo da água no sistema de arrefecimento do motor

Na figura 24 é possível ver um esquemático que demonstra de forma simplória o fluxo do fluido de arrefecimento em um motor de combustão interna.

Figura 24: Fluxo do líquido arrefecedor no motor



Fonte: Adaptado de sistemas de arrefecimento dos motores-UFMG

6 EVOLUÇÃO DO SISTEMA DE ARREFECIMENTO

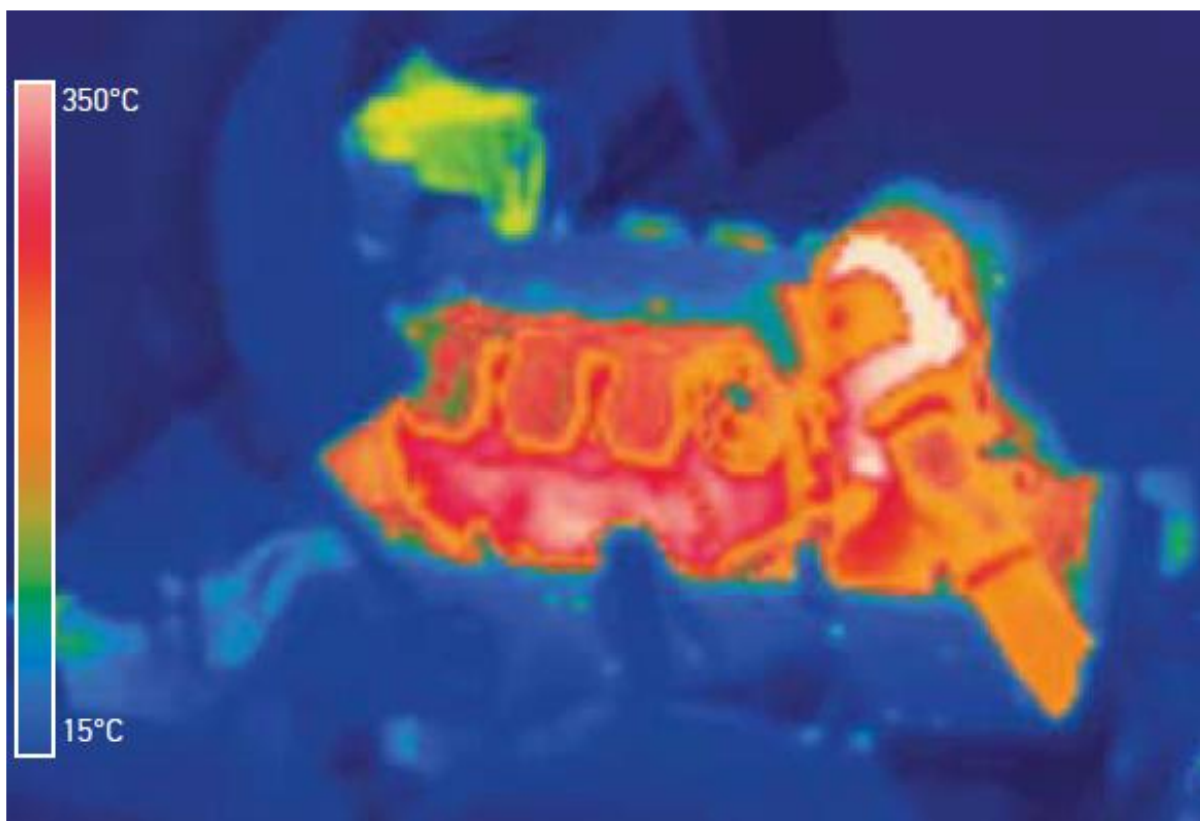
Atualmente são dois os tipos de sistemas de arrefecimento utilizados nos veículos automotores. Esses sistemas são em sua maior parte arrefecidos por líquido de arrefecimento ou por ar, este encontrados em carros mais antigos ou em motos (carroinfoco,2019).

As temperaturas internas do motor podem variar de um componente para outro. Na câmara de combustão, por exemplo, em situações extremas a temperatura pode chegar à 2000°C . (BehrhellSERVICE, 2019). Enquanto nas paredes do cilindro a temperatura não deve ultrapassar a temperatura de viscosidade do óleo lubrificante

que, além de, ser o responsável por vedar e manter as folgas entre as paredes do cilindro e os anéis de segmento dos pistões, serve para lubrificação.

Segundo a revista Carro em foco, as válvulas de admissão podem atingir os 120°C, sendo que parte do calor é retirado pelo fluxo de ar e combustível durante o ciclo de admissão. Já as válvulas de escape podem atingir os 750°C devido ao fluxo dos gases de escape. As velas de ignição trabalham com temperaturas entre 500 à 600°C, pois ambos trabalham em constante estresse térmico.

Figura 25: Distribuição da temperatura interna de um MCI



Fonte: BehrhellSERVICE, 2019

O sistema de arrefecimento de um motor não mudou muito no passar dos anos, porém, ele se tornou muito mais confiável e eficiente. Sua função deve ser de manter a temperatura interna constante sem interferências da temperatura ambiente. Se a temperatura do motor cair, produzirá em consequência um aumento de emissões, pois ocorrerá também um aumento no consumo de combustível. Se a temperatura

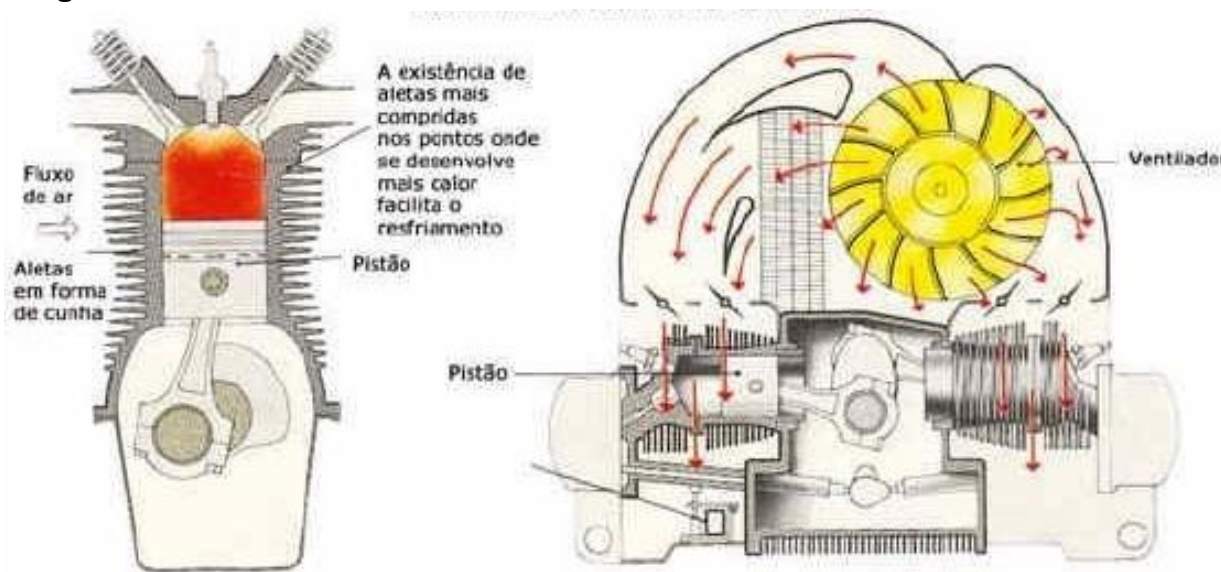
aumentar por um longo período de tempo, o motor poderá sofrer vários danos nos componentes metálicos.

6.1. Sistemas de arrefecimento a ar

Nesse tipo de sistema de arrefecimento do motor, são montadas placas de aletas ao lado do motor, geralmente próximo aos cilindros do bloco, para que o calor gerado nas câmaras de combustão seja conduzido as aletas e quando o ar flui sobre as placas de aletas ocorre a dissipação de calor.

A quantidade de calor dissipado com o ar depende, então, da quantidade de ar incidindo sobre as aletas, a área das placas de aletas e da condutividade térmica do metal utilizado na fabricação das placas de aletas.

Figura 26: Motor arrefecido a ar



Fonte: Mecânica automóvel, 2019

6.1.1. Vantagens do uso de sistemas de arrefecimento a ar

A seguir estão listadas as vantagens no uso do arrefecimento a ar:

- A. Radiador e bomba d'água não são necessários;
- B. Não haverá vazamentos no sistema;
- C. Não será necessário o uso de anticongelantes, aditivos e água;
- D. Ser utilizado em quaisquer condições de temperatura.

6.1.2. Desvantagens do uso de sistemas de arrefecimento a ar

- A. Em comparação ao sistema de arrefecimento a água esse sistema é menos eficiente
- B. Deve ser usado em veículos que o motor deve ter uma exposição direta ao ar.

6.2. Sistema de arrefecimento à água

Nesse tipo de sistema, o líquido de arrefecimento circula por dutos feitos no bloco e cabeçote do motor. Se as camisas são do tipo molhada, então o líquido de arrefecimento irá circular ao redor dos cilindros, absorvendo o calor gerado durante a combustão (Livro do automóvel,1976).

6.2.1. Sistema de arrefecimento à água por termossifão

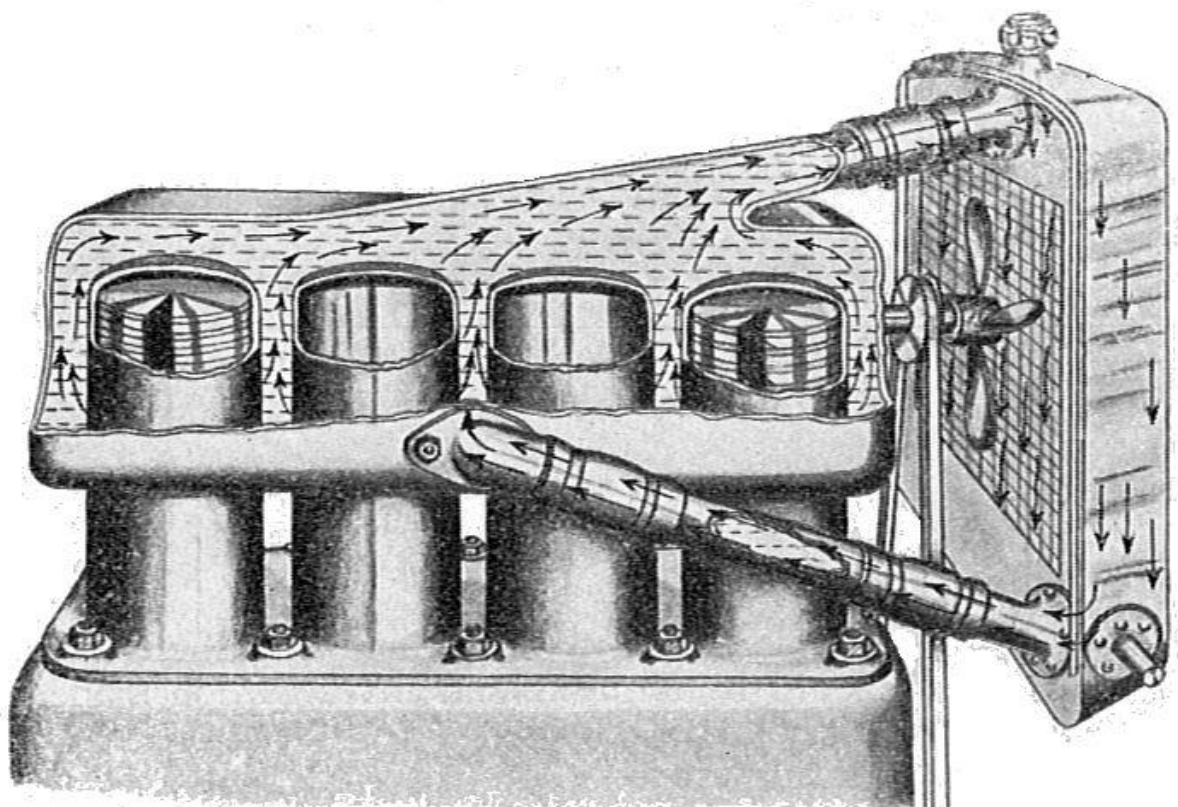
Segundo Carros in foco, o primeiro sistema de arrefecimento à água a surgir foi o de termossifão que apresentava deficiências em alguns pontos. Nesse sistema, o fluído de arrefecimento circula a partir da diferença de densidade do fluído que se encontra no radiador, e do fluído nos arredores dos cilindros. O fluído de arrefecimento contido no radiador é mais denso e menos quente, tendendo a descer. No entanto, o fluído que está no bloco é mais quente e, portanto, menos denso, sendo empurrado pelo fluído que está saindo pelo duto inferior do radiador e canalizado direto para o próprio radiador, fechando o ciclo.

Todo o processo garante uma boa fase de aquecimento do motor, uma vez que, a água só irá circular depois que o motor alcançar a temperatura de trabalho. Apesar disso, para implementação desse sistema é necessário radiadores de grandes dimensões e suas condutas, além de ficar desnivelado em relação ao motor, fato este que, requisitará uma grande área de ocupação na dianteira, prejudicando a aerodinâmica.

A diferença de temperatura entre o ponto mais frio do motor e o ponto mais quente é de aproximadamente 40°C, fato que compromete o controle da temperatura do motor com precisão, facilitando o congelamento da água do radiador em aplicações

com o clima frio. Os momentos de pouco fluxo de ar sobre o radiador é suprido por uma ventoinha.

Figura 27: Sistema termossifão de arrefecimento



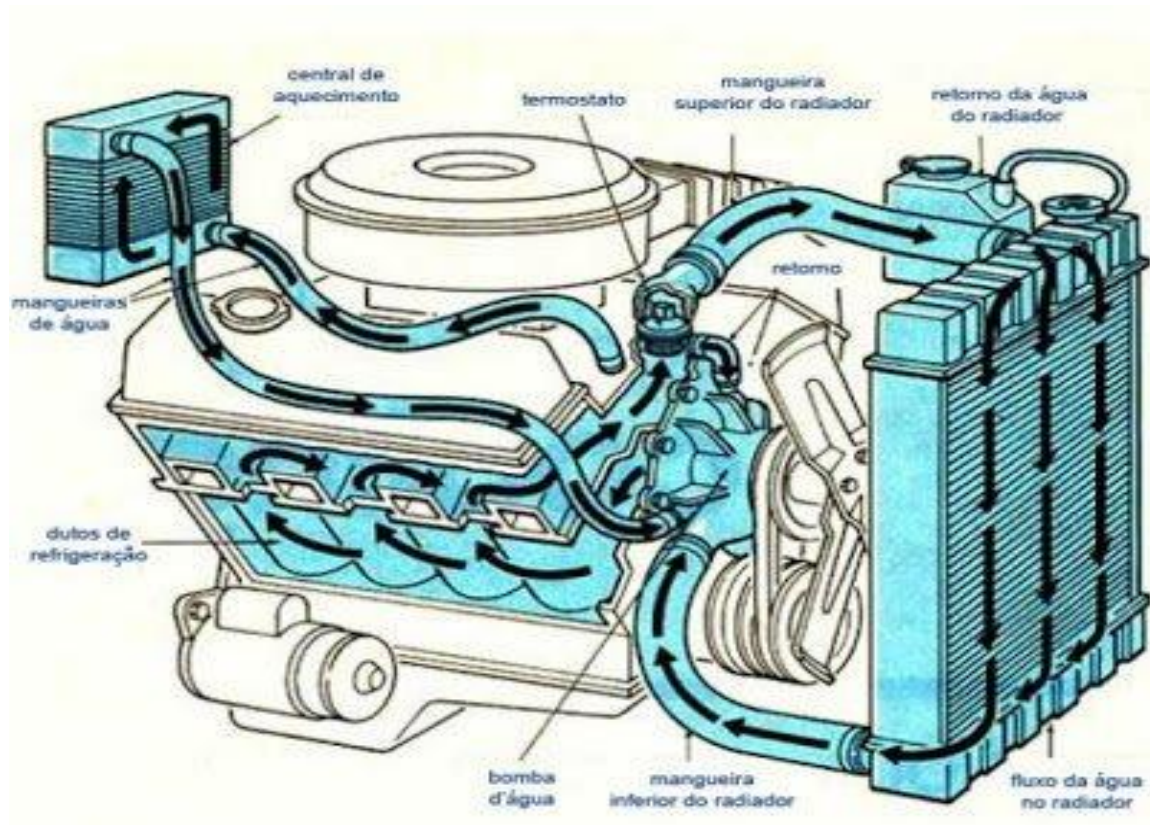
Fonte: Carroinfoco, 2019

6.2.2. Sistema de arrefecimento à água forçado

Neste tipo de sistema, o controle de temperatura do motor pode ser feito de forma mais eficiente, além de utilizar a temperatura do líquido de arrefecimento para o controle da temperatura interna do veículo onde estão o condutor e os passageiros.

Para o funcionamento é utilizada uma bomba para forçar a passagem do líquido de arrefecimento através do motor sob pressão e, assim diminuindo a diferença de temperatura entre os componentes.

Figura 28: MCI arrefecido à água



Fonte: Aps distribuidora, 2019

6.2.3. Vantagens do sistema arrefecido à água

- A. Arrefecimento uniforme dos cilindros, cabeçote e válvulas;
- B. Melhora no consumo de combustível;
- C. Nesse tipo de sistema o motor deve ser posicionado a frente do veículo;
- D. Motor menos barulhento se comparado a motores arrefecidos à ar.

6.2.4. Desvantagens do sistema arrefecido à água

- A. Sistema depende do nível constante de água;
- B. Bomba d'água consome potência do motor;

- C. Se o sistema de arrefecimento falhar pode resultar em danos permanente ao motor;
- D. É um sistema mais dispendioso, pois possui um número maior de componentes e necessita de mais cuidados e manutenção.

6.3. Controle da temperatura do motor

O controle de temperatura é a chave para um bom funcionamento do motor, uma vez que, apenas um quarto da energia é, de fato, transformada em trabalho. A água por possuir a maior capacidade térmica, ou seja, tem condições de retirar calor com a maior eficiência, foi escolhida como fluido para operar o sistema. Porém, para que a efetividade do sistema ocorra de forma satisfatória, a temperatura não pode ultrapassar alguns valores e para que isso aconteça são utilizados alguns modos de controle de passagem do líquido de arrefecimento através do motor.

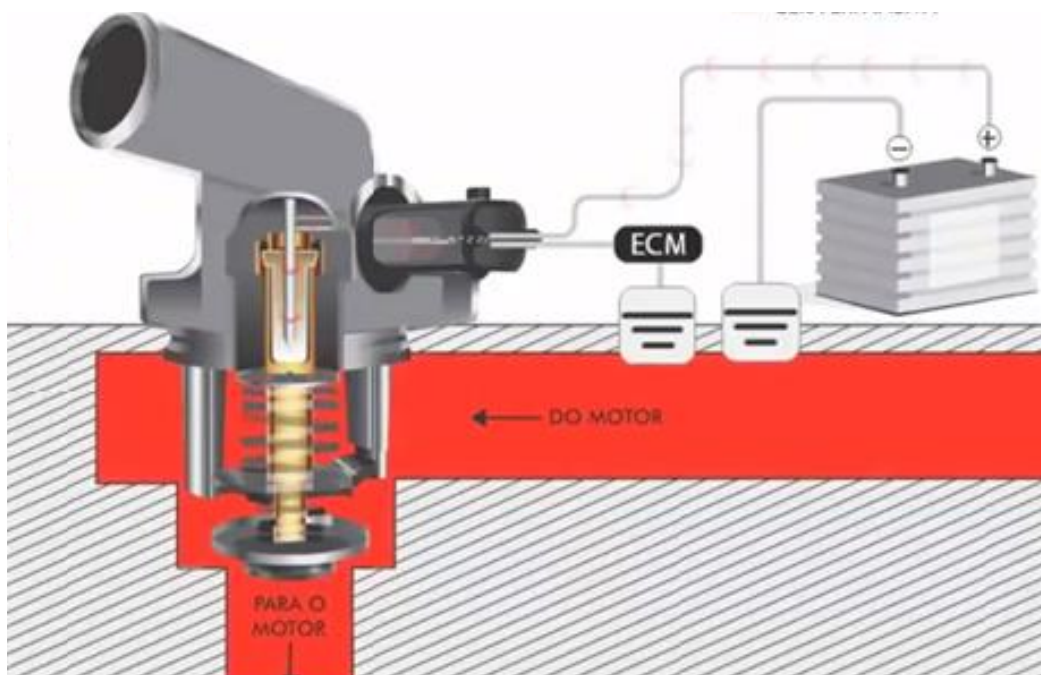
6.3.1. Válvula termostática (Cebolão)

Componente cilíndrico composto por uma cera térmica interna que, ao ser aquecida, expande e empurra uma mola liberando a passagem de água através do motor.

6.3.2. Sensor de temperatura elétrico (ECT)

O controle de temperatura do sistema de arrefecimento por um sensor elétrico de temperatura (ECT) é feito por pulsos PWM (Power Width Module) enviado aos atuadores pela ECU (Eletronic Control Unit). O sensor de temperatura, que varia sua resistência de forma inversamente a temperatura (NTC), envia um sinal a ECM que controla a proporção na relação da mistura ar\combustível através das válvulas de injeção de combustível e, se necessário, irá ativar o eletro-ventilador.

Figura 29: Controle elétrico do sistema de arrefecimento



Fonte: Carroetecnica, 2019

6.4. Sistema de duplo circuito

Segundo carro e técnica, os motores de três cilindros trouxeram o sistema de arrefecimento de duplo estágio e circulação pelo coletor de escape. Essa tecnologia contempla dois fluxos diferentes do líquido de arrefecimento através de duas válvulas termostáticas e permite “represar” o líquido de arrefecimento presente no bloco do motor. (Behrhellaservice,2019) Esse sistema provoca um aquecimento mais rápido, e assim, diminui o atrito na fase fria, tão prejudicial e que compromete a vida útil do motor, além de melhorar o desempenho, consumo e diminuir as emissões de poluentes.

6.5. Bomba d'água elétrica

Esse tipo de bomba é controlado pela ECM através de pulsos PWM, representando um avanço em relação as gerações anteriores de bombas d'água. Também chamadas de bombas comutáveis, podem estar conectadas ao motor por polias e, nesse caso, acionadas através de embreagens eletromagnéticas. Esse tipo de tecnologia permite um controle maior da temperatura do motor e já é possível encontra-las em veículos híbridos e elétricos.

Figura 30: Bomba d'água elétrica



Fonte: Carroetécnica, 2019

6.6. Sistemas modernos de arrefecimento e redução de poluentes

Sistemas modernos de arrefecimento fazem uma importante contribuição para a redução no consumo de combustível e, conseqüentemente, na redução de emissões de poluentes nocivos a atmosfera terrestre.

Devido as demandas por maior eficiência térmica, redução de custos, maior capacidade de carga, tecnologias com turbo compressor, sistemas de climatização e aquecimento, os sistemas clássicos de arrefecimento do motor estão evoluindo e se transformando cada vez mais complexos.

Segundo BehrhellSERVICE (2019), para atender as leis rígidas de emissões do futuro, haverá um aumento na temperatura de operação do veículo em torno de 10%, e só com este aumento de temperatura uma combustão de forma otimizada será possível. No entanto, aumentar a temperatura de trabalho do motor significa aumentar a performance do sistema de arrefecimento.

6.6.1. Sistema EGR e emissões de poluentes

Como já foi dito, um terço da energia contida na relação ar/combustível é dissipada em forma de calor nos gases de escape, significando que, os gases de escape têm um grande potencial de diminuir o consumo de combustível e os níveis de emissão. A EGR é uma opção para alcançar esse objetivo.

(Hountalas), usando um modelo em 3D multi-zona para estudar a influência da válvula EGR na performance e emissões em veículos diesel, descobriu que em altas temperaturas a válvula tinha uma influência negativa no consumo de combustível e na emissão de material particulado. No entanto, a válvula EGR teve uma influência positiva na redução de NOx e de material particulado.

O uso da válvula EGR para baixar a temperatura na câmara de combustão se mostrou importante. Segundo Abu Hamdeh, em seu experimento de tubos espirais aletados usados para a troca de calor de parte dos gases de escape antes de retornarem a admissão, a quantidade de CO₂ e O₂ foram reduzidas nos gases de escape, enquanto houve um aumento na quantidade de CO, além de reduzir a quantidade de NOx.

(Haung), realizou várias simulações investigando o fluxo e distribuição da temperatura usando o sistema com válvula EGR com um arrefecedor. O aprimoramento com um defletor helicoidal arrefecido, não apenas melhorou a circulação de líquido de arrefecimento, mas também, reforçou a circulação em espiral.

(Chen,36) propôs um sistema básico de estudo de CO₂, usando baixos níveis de energia dos gases de escape dos veículos. Cerca de 20% da energia nos gases

de escape pode ser convertida em trabalho útil quando a pressão do aquecedor de gás atinge 130 bars e a temperatura de expansão atingir 200°C. Quando a pressão atingir os 300 bars, apenas 12% da energia dos gases de escape pode ser convertida em trabalho útil.

7 SISTEMA DE REFRIGERAÇÃO EM VEÍCULOS HÍBRIDOS

Power trains elétricos são uma alternativa na substituição de motores de combustão interna devido a sua alta eficiência, características de torque e emissões de poluentes praticamente zero. Veículos híbridos é a combinação de motores elétricos e motores de combustão.

Nesses veículos, o uso de células de bateria de Íon-Lítio para o acúmulo de energia é a alternativa mais promissora, devido a sua grande capacidade em acúmulo de carga elétrica. No entanto, o monitoramento da temperatura se faz necessário, evitando assim o desgaste prematuro e a perda de capacidade no armazenamento de carga.

7.1. Arrefecimento da bateria, motor a combustão e motor elétrico

Do ponto de vista térmico, há três questões a ser considerada quando usando células de bateria de Íon-Lítio em veículos híbridos. Em temperaturas abaixo de zero graus Celsius (0°C), a performance da bateria cai substancialmente em consequência da reação química que ocorre internamente a bateria. Em temperaturas acima de 30 graus Celsius (30°C) a bateria se deteriora de forma exponencial, enquanto em temperaturas abaixo de 40 graus Celsius (-40°C) pode levar a bateria a sérios danos irreversíveis.

Segundo School of mechanical engineering, a temperatura das células de bateria deveria ser mantida em torno de 25 e 30°C. A temperatura interna máxima nas células só poderia ultrapassar os 40°C em casos especiais. Em casos que ultrapassarem os 70°C a célula corre o risco de perder sua capacidade térmica com relação as reações químicas ou pode levar a perda da bateria por completo.

A influência de flutuações térmica em uma bateria que são causadas por sua resistência interna, temperatura externa, armazenamento impróprio deve ser monitorada e controlada para assegurar seu funcionamento e dependendo do tipo de veículo híbrido e seus parâmetros de funcionamento, tipo de bateria, química e geometria das células poderão ser usados diferentes tipos de sistema de arrefecimento, sendo eles: refrigeração por ar, refrigeração por água ou por um tipo de refrigerante, e eles podem ser de forma direta ou indireta.

7.2. Sistema de monitoramento térmico da bateria

Adicionalmente ao sistema de arrefecimento do motor a combustão, e implantado um sistema de arrefecimento para o motor elétrico e para o sistema de armazenamento de energia, pois eles trabalham em temperaturas diferentes de acordo com a tabela abaixo.

Tabela 3: Nível de temperatura de funcionamento de alguns itens veicular

25 a 30 °C	80°C	100°C	120°C
Bateria	Componentes do motor elétrico	Motor elétrico	Motor a combustão

Fonte: Porsche engineering magazine, 2011

Atualmente vários métodos são utilizados para o monitoramento elétrico de arrefecimento do MCI e os componentes de motores híbridos. Por exemplo, o sistema de arrefecimento do Toyota Prius tem um sistema em “loop” para o motor MCI e outro para o motor elétrico.

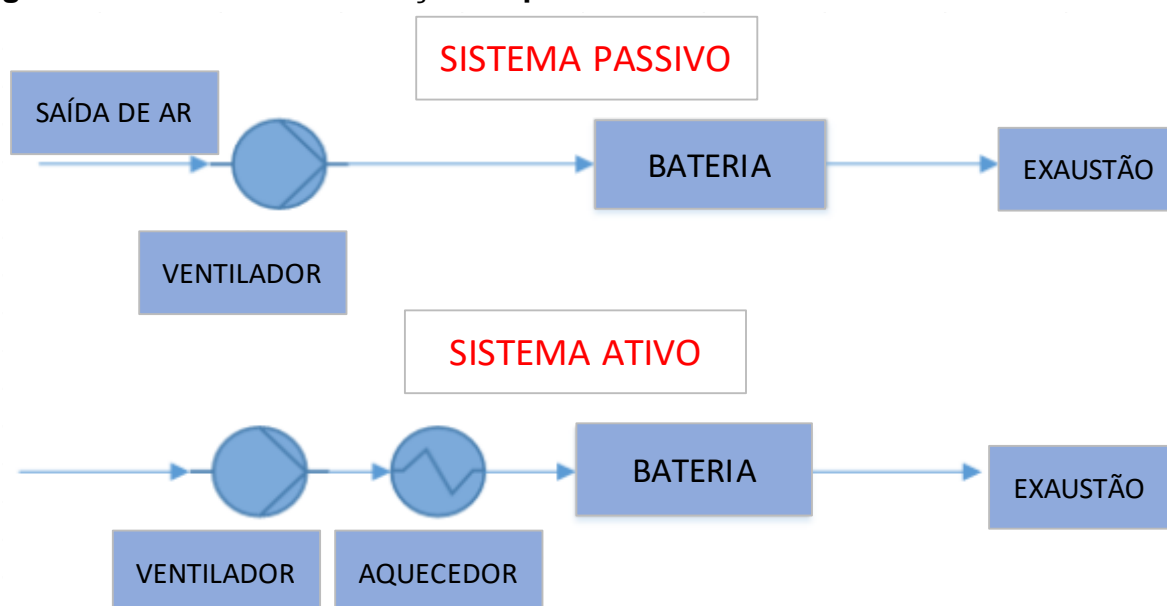
O sistema de arrefecimento dos componentes do motor elétrico utiliza o mesmo modo de arrefecimento baseado na proporção de água e etilenoglicol, porém opera em temperaturas de 65°C e um radiador separado é utilizado para troca de calor com o ar.

7.2.1. Sistema de arrefecimento a ar

Sistemas de ar são usados como intermediador termal para a troca de calor. A corrente de ar utilizada nesse sistema poderia ser diretamente da atmosfera ou da

cabine e poderia ser, ainda, um tipo de ar condicionado após passar por um aquecedor ou evaporador, dependendo da temperatura, de um sistema de ar condicionado. O primeiro é chamado sistema passivo de ar e o último sistema ativo de ar. O sistema passivo deve oferecer algumas centenas de potência (Watts) de arrefecimento ou aquecimento. Sistemas ativos devem oferecer arrefecimento ou potência de aquecimento adicional limitada a 1KW. (Valeo, 2010)

Figura 31: Sistemas de ar forçado e passivo



Fonte: Adaptado de Department of Applied Mechanics, 2019

7.2.2. Sistema de arrefecimento a líquido

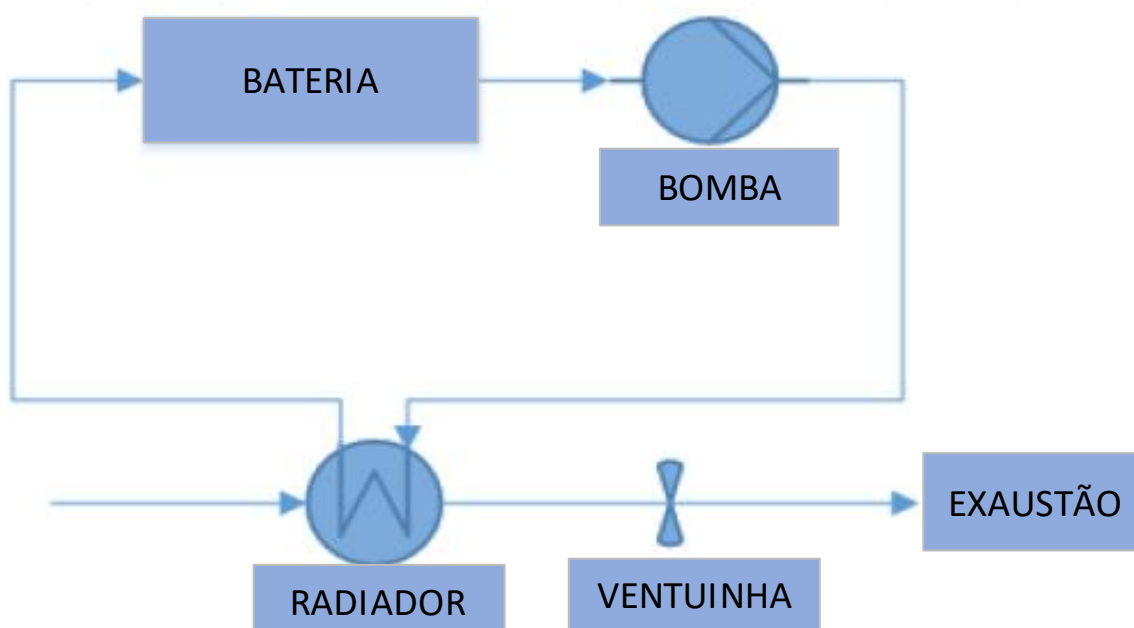
Geralmente são utilizados dois tipos de agente arrefecedor líquido para o controle de temperatura. Um é o chamado líquido dielétrico ou líquido de contato direto, o qual pode estar em contato direto com as células da bateria, tal como óleo mineral. O outro é chamado líquido condutor ou líquido de contato indireto que pode entrar em contato com as células da bateria de forma indireta, tal como uma mistura de etilenoglicol e água. Dependendo do tipo do líquido utilizado o design de acomodação dos packs de bateria será diferente. Por exemplo, para líquidos de contato direto, as células serão submergidas no óleo mineral. Já no caso do uso do modelo de líquido de contato indireto, será utilizado camisas ao redor dos módulos de bateria, envolvendo simples ao redor de cada modulo em uma placa de

arrefecimento\aquecimento ou a combinação de placas ou aletas de arrefecimento\aquecimento.

(Pesaran, 2001) Entre esses dois grupos o de contato indireto é o mais indicado, pois oferece a melhor isolamento entre o módulo de bateria e seu meio e, ainda, oferece uma performance mais segura da bateria.

Na figura 32 é possível ver o esquema de funcionamento do sistema passivo de arrefecimento. A transferência de calor através do fluido é feita em um sistema fechado com radiador e bomba. Ventoinhas são utilizadas para melhorar a eficiência do sistema que depende da diferença de temperatura entre o ar e os packs de bateria. Entretanto, se a temperatura do ar ambiente é maior que a temperatura da bateria ou a diferença é muito pequena, o sistema passivo de transferência de calor à líquido se torna ineficiente.

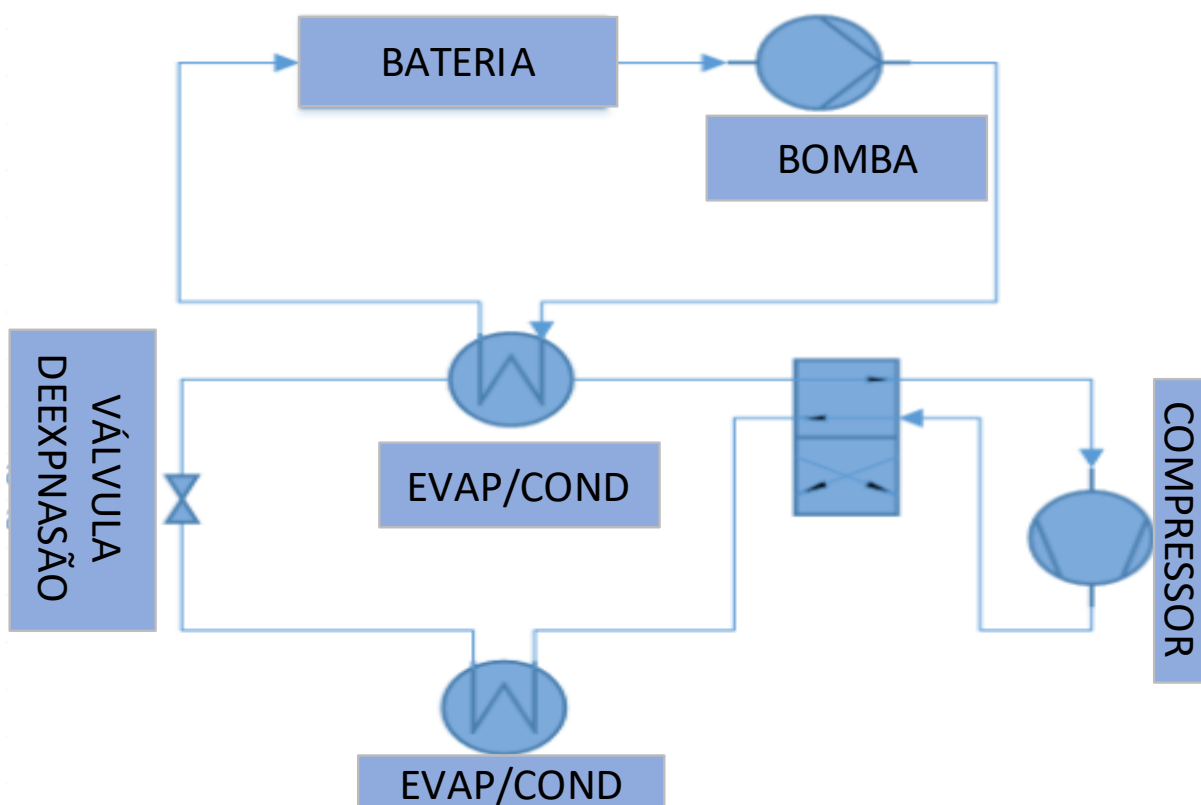
Figura 32: Sistema passivo de arrefecimento



Fonte: Adaptado de Department of Applied Mechanics, 2019

Na figura 33 é mostrado o sistema ativo de troca de calor à líquido. É possível ver dois ciclos, o superior é chamado de primário que é semelhante ao sistema passivo. O secundário é de fato um sistema de ar condicionado convencional, o sistema superior de troca de calor, embora seja considerado um radiador, pode ser considerado como um evaporador, pois trabalha como este, para a operação do sistema e conecta os dois ciclos. Durante a operação de aquecimento a válvula de 4 vias será acionada, e o trocador de calor mais acima funcionará como um condensador e o inferior trabalha como um evaporador. Esse sistema de aquecimento também é chamado de ciclos de aquecimento por bomba.

Figura 33: Sistema ativo de arrefecimento por líquido

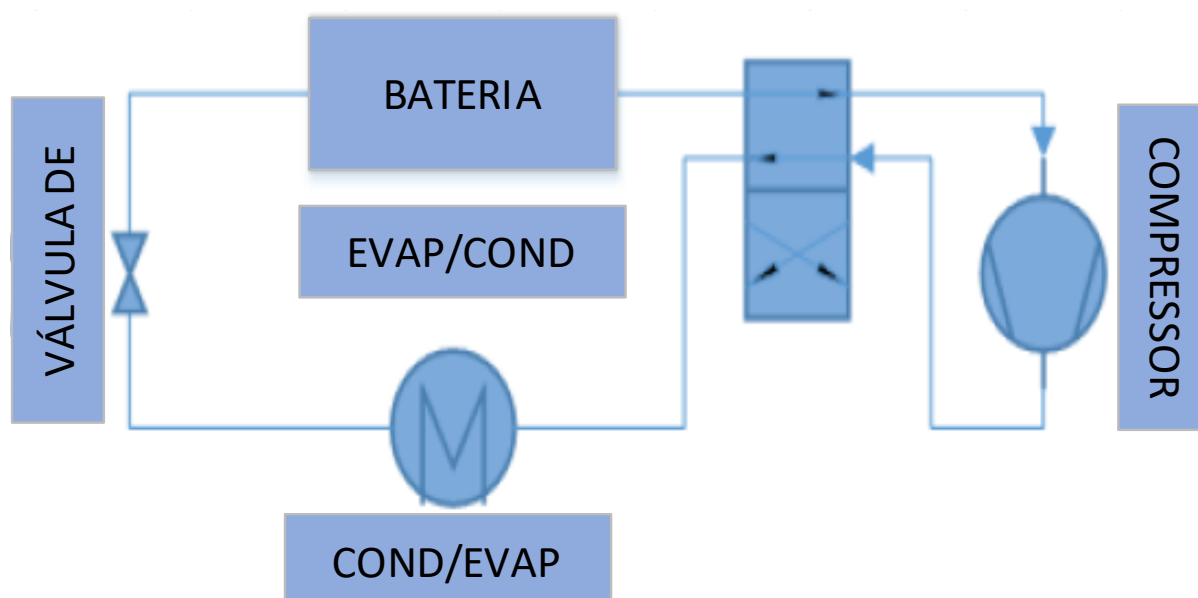


Fonte: Adaptado De Department of Applied Mechanics, 2019

7.2.3. Sistema direto de arrefecimento e aquecimento por refrigerante

Esse sistema funciona de forma similar ao sistema ativo de arrefecimento por liquido. Um sistema direto por refrigerante consiste de um sistema de ciclos de ar condicionado, mas é usado um refrigerante direto como trocador de calor com a bateria. O sistema é mostrado na figura 34.

Figura 34: Sistema de arrefecimento por refrigerante direto



Fonte: Adaptado de Department of Applied Mechanics, 2019

7.2.4. PCM

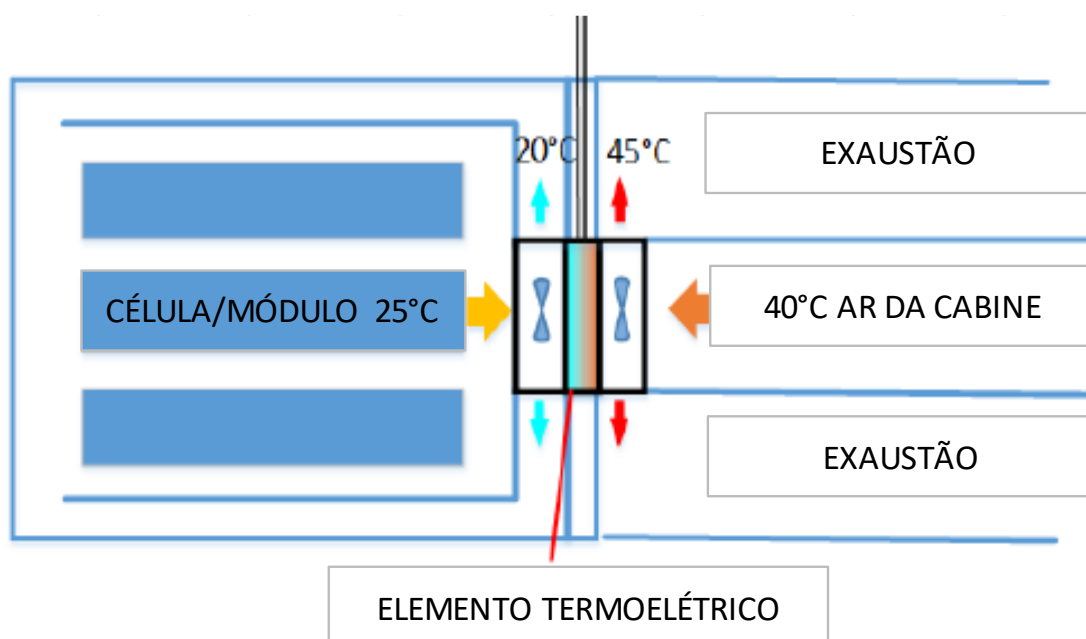
Durante o aquecimento o calor é absorvido pela PCM e armazenado como calor latente. A temperatura de ebulição é mantida durante um período e o aumento de temperatura é atrasada. Portanto, a PCM é utilizada como um condutor e um “amortecedor” nos sistemas de monitoramento térmico de baterias. A PCM também é combinada com o sistema de arrefecimento do ar ou sistema de arrefecimento do liquido para controlar a temperatura das baterias.

7.2.5. Modulo termoeletrico

Para aprimorar a potência de arrefecimento\aquecimento dos sistemas passivos de ar são utilizadas duas possibilidades. Uma é por módulos termoeletricos o qual será discutido agora.

Módulos termoeletricos converte o valor de temperatura para voltagem. Isso significa que a transferência de calor através do módulo é feita consumindo energia de forma direta.

Figura 35: Sistema termoeletrico de aquecimento\resfriamento



Fonte: Department of Applied Mechanics, 2019

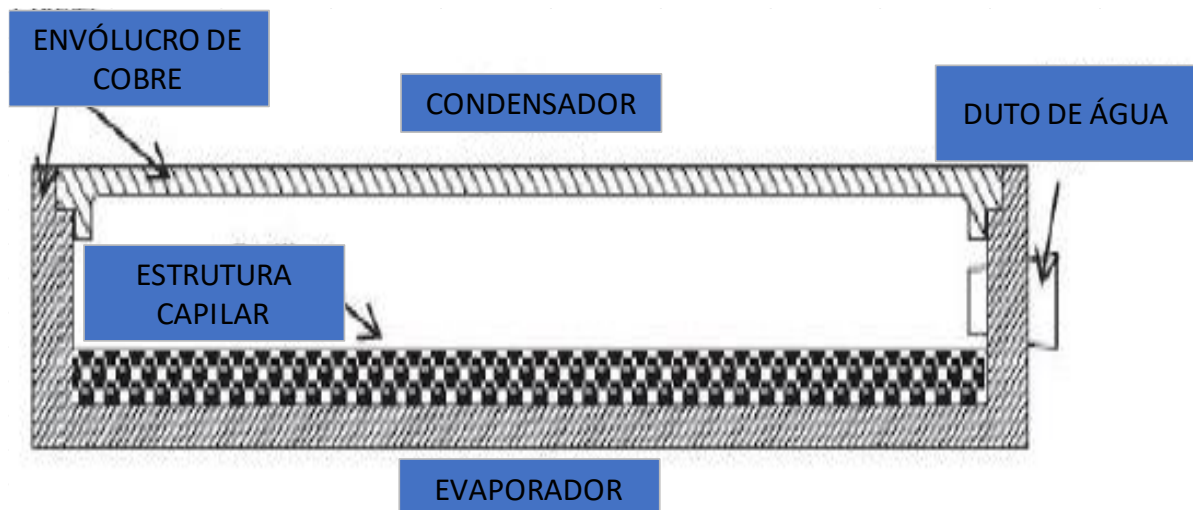
(Valeo, 2010) O esquema é apresentado na figura 35 e mostra duas ventoinhas instaladas para melhorar a transferência de calor por convecção. A combinação do sistema passivo de ar e módulo termoeletrico é capaz de resfriar a bateria com valores abaixo da temperatura do ar de admissão, mas a potência continua limitada por algumas centenas de watts é menor do que 1 Kilowatt (KW). A troca entre a operação

de aquecimento e resfriamento é feita de forma simples apenas pela inversão de polos dos eletrodos.

7.2.6. Tubo de aquecimento

Outra forma de aprimorar os sistemas passivos de ar é através do uso de tubos de aquecimento.

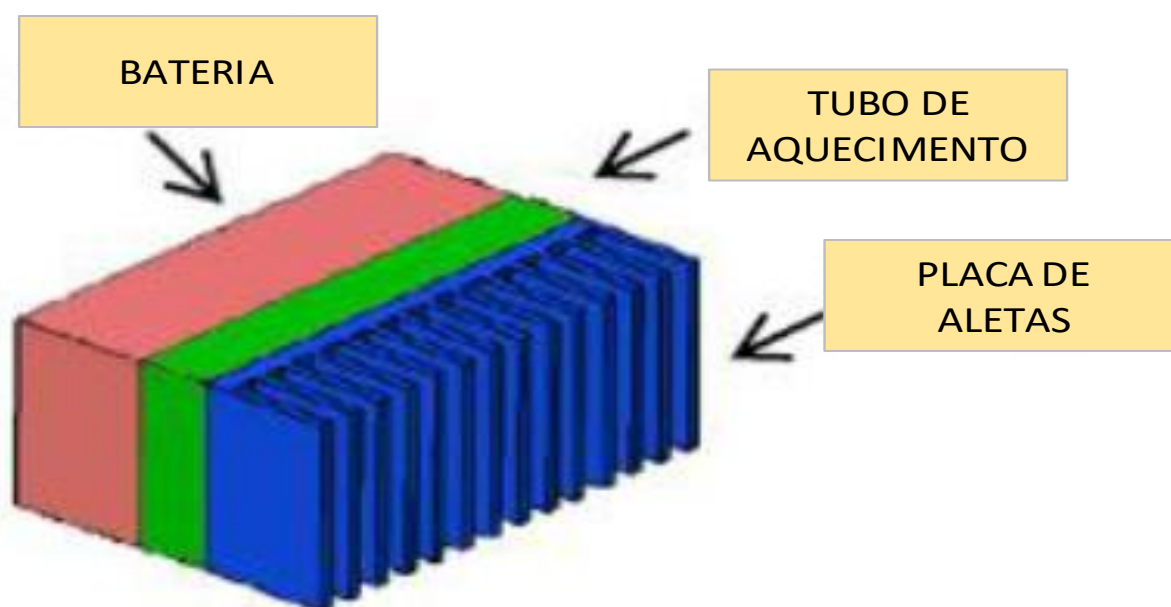
Figura 36: Estrutura de um tubo de aquecimento



Fonte: CHALMERS, applied mechanics, 2014

De acordo com a figura 36, a lâmina de cobre envolve o tubo de aquecimento por um vácuo parcial. A estrutura capilar é feita de cobre em pó sintetizado. Nesse modelo é utilizado como fluido de trabalho a água que absorve calor quando localizada no evaporador durante a mudança de estado, ou seja, quando evapora a temperaturas inferiores à 100°C devido à baixa pressão interna. Quando a água se encontra no condensador irá dissipar calor para o ambiente voltando ao estado líquido e é assim que o ciclo trabalha.

Figura 37: Sistema de refrigeração com tubo de aquecimento



Fonte: CHALMERS, applied mechanics, 2014

Na figura 37 é possível observar que a bateria funciona como uma fonte de calor posicionada junto ao tubo de aquecimento, as aletas de arrefecimento, que nesse caso funcionam como dissipadores de calor, estão posicionadas no outro lado do tubo de aquecimento.

De acordo com um experimento, sistemas de refrigeração com tubos de aquecimento reduzem a resistência térmica em 30% por convecção, quando comparado com sistemas sem tubo de aquecimento (Tran, 2014).

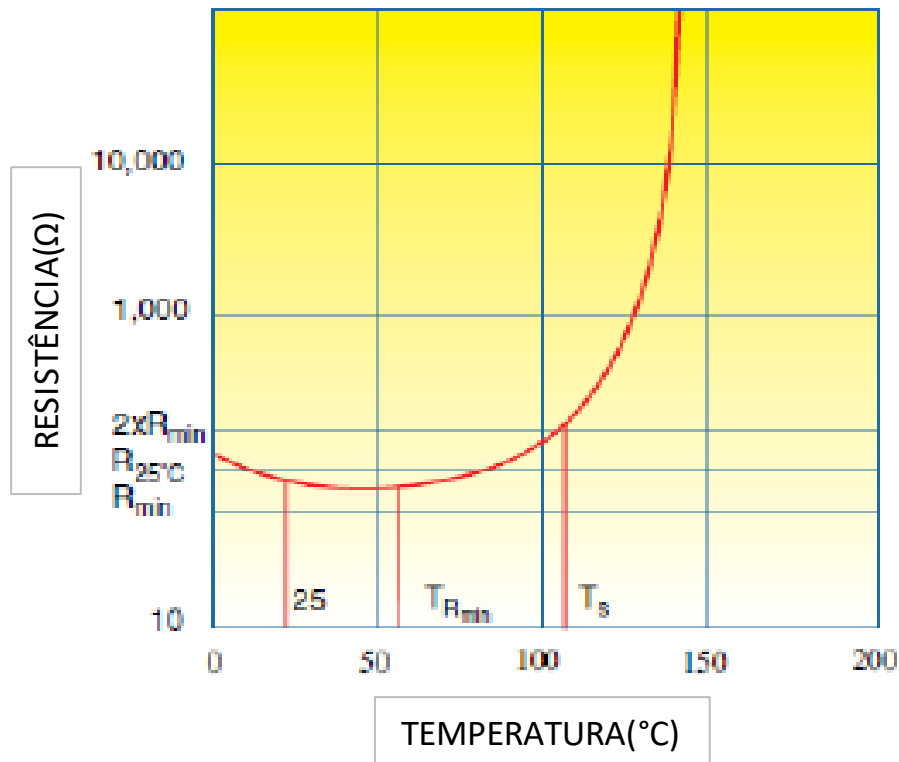
Quando comparado com sistemas termoelétricos, tubos de aquecimento se mostram mais confiáveis, porque não possuem partes móveis e não consomem energia. Entretanto, tubos de aquecimento não são capazes de aquecer a bateria devido à sua estrutura fixa.

7.2.7. Aquecedor PTC

Termistores do tipo PTC, que são auto aquecíveis, possuem várias aplicações, pois utilizam suas características de curva de corrente/voltagem. Uma de suas aplicações é como um regulador automático de temperatura, conhecido como aquecedor PTC. A temperatura de um aquecedor PTC pode ser mantida em um ponto

específico com o ajuste automático da resistência interna do PTC e observado na figura abaixo.

Figura 38: resistência vs temperatura de um aquecedor PTC



Fonte: Digikey, 2014

8 ÁGUA E ADITIVOS DE ARREFECIMENTO

O projeto de um motor de combustão interna é uma tarefa árdua que cabe a engenharia mecânica, engenharia de materiais e, mais do que nunca, engenharia elétrica unir seus conhecimentos para o seu desenvolvimento. Mas do que vale horas e horas de trabalho decidindo qual o melhor projeto a ser colocado em prática e quando o produto chega ao consumidor final ele não sabe usá-lo de forma correta.

Como exemplo podemos citar o sistema de arrefecimento do motor, cujo objetivo maior é evitar que a temperatura do motor e outros itens dele dependente atinja um valor nocivo, evitando quebras ou danos definitivos. Muita gente

simplesmente utiliza a água da torneira para completar o nível do LDA e isto é um erro grave, como será demonstrado posteriormente.

Cada fabricante indica, no manual do proprietário, qual marca ou especificação de concentrado de arrefecimento utilizar, bem como a proporção de água livre de minerais a ser empregado no sistema de arrefecimento.

O tipo de refrigeração dos motores atuais é, na sua grande maioria, baseado no arrefecimento por líquido, que é uma mistura de água, anticongelante (etilenoglicol, propilenoglicol ou glicerina) e aditivos. Esse utilizado para equilibrar o pH da água, não deixando o meio alcalino e nem ácido, sendo assim, adicionando ao sistema de arrefecimento propriedades anticorrosivas.

A seguir será apresentado alguns tipos de especificações de concentrado de arrefecimento e processos para desmineralização da água.

8.1. Processos de desmineralização da água

A temperatura da água nos motores empregados nos veículos mais antigos variava em torno dos 80°C contra os 95°C dos motores atuais. Portanto, independentemente da idade do veículo, a temperatura da água utilizada no sistema de arrefecimento se aproxima e muito da temperatura de ebulição que é em torno de 100°C.

8.1.1. O processo de desmineralização da água irá conferir ao sistema

✓ Alto calor específico: Quantidade de energia (calor) necessária para que uma grama de água sofra a variação de 1°C em sua temperatura. Essa propriedade é uma característica do material e variam de acordo com o tipo de substância do material e sua exposição a uma fonte de calor.

Tabela 4: Valores de calor específico de algumas substâncias

SUBSTÂNCIA	CALOR ESPECÍFICO(Cal/g°C)
ÁGUA	1,00
GELO	0,50
ALUMÍNIO	0,21
AREIA	0,20
VIDRO	0,16
AÇO	0,10
OURO	0,03

Fonte: Adaptado de brasilescola, 2018

- ✓ Baixa viscosidade: Característica física de um fluido que caracteriza a resistência ao escoamento. Tal característica confere ao fluido uma taxa de queda de pressão baixa.
- ✓ Alta temperatura de vaporização: Quanto maior for a pressão de vapor em um sistema, maior será a capacidade de formação de bolhas de gás no sistema e esse fato é extremamente indesejável no sistema de arrefecimento do motor. A formação de bolhas gasosas no sistema arrefecedor é o causador do fenômeno de cavitação nos componentes que necessitam de arrefecimento ou fazem parte do sistema. Porém, vale salientar que a pressão de vapor não é igual para todas as substâncias como é possível ver no gráfico 1. Nele é possível notar que o éter possui uma temperatura de vaporização menor que o álcool etílico e posteriormente a água possui uma maior temperatura de vaporização. Isso significa que a pressão de vapor do éter é maior e esse fator está relacionado a estrutura molecular da substância, quanto mais forte a ligação menor a pressão de vapor e menor capacidade de formação de bolhas de vapor.

Gráfico 1: Pressões de vapor para algumas substâncias

Fonte: Mundoeducação, 2018

O processo de desmineralização da água, como o próprio nome já diz, é retirar os minerais nela dissolvido, e assim baixando sua condutividade.

8.1.2. Desmineralização por permuta iônica

A desmineralização por permuta iônica é feita utilizando resinas de permuta iônica, formada por partículas sólidas insolúveis, sua estrutura molecular é composta por cátions e ânions. Quando em contato com outra solução eletrolítica há uma troca estequiométrica de íons.

8.1.3. Desmineralização com resina catiônica

Resina catiônica em ciclo de íons H^+ . O processo de desmineralização com resina catiônica tem como princípio a troca de íons hidrogênio por íons metálicos. Ao fim de determinado volume de água a resina vai estar saturada de íons metálicos e vai necessitar de regeneração. Este processo é programado por um controlador (volumétrico ou cronométrico). A regeneração é feita através da aspiração de uma solução concentrada de HCl.

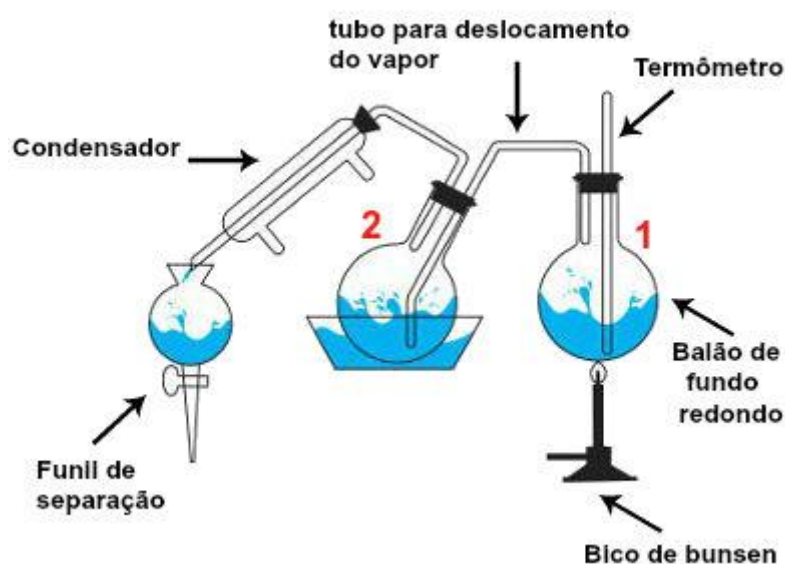
8.1.4. Desmineralização com resina aniônica

Resina aniônica em ciclo de íons OH^- . O processo de desmineralização com resina aniônica tem como princípio a troca de íons hidroxilo por ânions. Ao fim de determinado volume de água a resina vai estar saturada de ânions e vai necessitar de regeneração. Este processo é programado por um controlador (volumétrico ou cronométrico). A regeneração é feita através da aspiração de uma solução concentrada de NaOH.

8.1.5. Processo de desmineralização por destilação

O processo de desmineralização por destilação ocorre da seguinte forma: a água é vaporizada e em seguida condensada, nesse processo as impurezas ficam segregadas no recipiente aquecido, enquanto a água, teoricamente livre de minérios, é conduzida para um recipiente à parte.

Figura 39: Desmineralização da água por destilação



Fonte: Brasilescola, 2018

Acima foram demonstrados alguns processos de retirada de minérios da água utilizada no sistema de arrefecimento de um motor automotivo. Lembrando-que, a utilização de água livre de qualquer tipo de impureza e de suma importância e de nada

irá adiantar se preocupar em utilizar o melhor pacote de aditivos disponível no mercado se o item mais comum e de fácil acesso não atende os requisitos do sistema de arrefecimento do motor.

9 TIPOS DE ADITIVOS PARA O SISTEMA DE ARREFECIMENTO CONCENTRADO POR GLICOL BASE

Os aditivos de arrefecimento, comumente e erroneamente, considerados como a substância responsável pelo controle da temperatura do motor, é um pacote de componentes químicos com funções específicas: controle da temperatura e ação anticorrosiva.

9.1. Aditivo de arrefecimento

Como já foi descrito anteriormente, a água em sua condição normal de temperatura e pressão, ou seja, ao nível do mar, irá atingir seu estado de ebulição aos 100°C e congelamento a 0°C. A este ponto você deve estar se perguntando: Os veículos trafegam em diversas condições de temperatura e pressão ao redor do mundo, então o que deve ser feito para evitar o congelamento ou a fervura da água e evitar impactos negativos ao sistema de arrefecimento e principalmente ao motor de veículo?

A resposta para essa pergunta é o uso do etilenoglicol que é um concentrado químico que altera o ponto de ebulição e congelamento da água fazendo com que a água entre no processo de ebulição acima dos 100°C e congele abaixo dos 0°C, se utilizados nas concentrações indicadas pelos fabricantes dos veículos.

O fluido de arrefecimento possui outras funções, pois a adição do etilenoglicol faz com que o calor específico diminua e ocorra um aumento de vazão da bomba d'água, agindo também como inibidor de formação de bolhas no sistema de arrefecimento, inibidor de corrosão, etc.

As tabelas 5 e 6 mostram as diferentes concentrações de água e etilenoglicol e seus pontos de ebulição e congelamento.

Tabela 5: Ponto de congelamento em função da porcentagem de etilenoglicol

Ponto de congelamento								
Solução etilenoglicol (% em volume)		0	10	20	30	40	50	60
Temperatura	°C	0	-3.4	-7.9	-13.7	-23.5	-36.8	-52.8
	°F	32	25.9	17.8	7.3	-10.3	-34.2	-63

Fonte: Adaptado de https://www.engineeringtoolbox.com/ethylene-glycol-d_146.html (acessado em 24\03\19)

Tabela 6: Ponto de ebulição em função da porcentagem do etilenoglicol

Ponto de ebulição										
Solução de etilenoglicol (% em volume)										
0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
Temperatura (°C)										
100,0	101,1	102,2	104,4	104,4	107,2	111,1	118,0	127,0	142,0	197,0
Temperatura (°F)										
212	214	216	220	220	225	232	245	260	288	386

Fonte: adaptado de https://www.engineeringtoolbox.com/ethylene-glycol-d_146.html, (acessado em 24\03\19)

O etilenoglicol é também o principal componente quando o assunto é ponto de congelamento e ebulição em um sistema que não seja relacionado a indústria automotiva. Porém, o etilenoglicol deve ser evitado quando um possível vazamento venha a afetar sistemas abastecidos por água potável, como estações de fornecimento de água, plantações, etc. Nessas aplicações o uso de propilenoglicol e a solução mais indicada.

A viscosidade dinâmica (μ) do líquido de arrefecimento do motor em diferentes regimes de temperatura é mostrada na tabela 7. A viscosidade dinâmica de um sistema que emprega o etilenoglicol como aditivo contra o ponto de congelamento e

ebulição é maior se comparado a um sistema de arrefecimento sem a adição do etilenoglicol, ou seja, apenas com o uso da água.

Tabela 7: Viscosidade dinâmica do LDA

Viscosidade dinâmica- μ -(centiPoise)								
Temperatura		Solução de etilenoglicol (% em volume)						
(°F)	(°C)	25	30	40	50	60	65	100
0	-17.8	#	#	15.0	22.0	35.0	45.0	310.0
40	4.4	3.0	3.5	4.8	6.5	9.0	10.2	48.0
80	26.7	1.5	1.7	2.2	2.8	3.8	4.5	15.5
120	48.9	0.9	1.0	1.3	1.5	2.0	2.4	7.0
160	71.1	0.65	0.7	0.8	0.95	1.3	1.5	3.8
200	93.3	0.48	0.5	0.6	0.7	0.88	0.98	2.4
240	115.6	*	*	*	*	*	*	1.8
280	137.8	*	*	*	*	*	*	1.2

Fonte: adaptado de https://www.engineeringtoolbox.com/ethylene-glycol-d_146.html (acessado em 24\03\19)

*Acima do ponto de ebulição

#abaixo do ponto de congelamento

A gravidade específica de soluções arrefecedoras baseadas na mistura de água e etilenoglicol é mostrada na tabela 8. Lembrando que, a gravidade específica nessas condições é maior em comparação a sistemas que empregam apenas água.

Tabela 8: Gravidade específica do LDA

Gravidade específica (GE)								
Temperatura		Solução de etilenoglicol (% em volume)						
(°F)	(°C)	25	30	40	50	60	65	100
-40	-40	#	#	#	#	1.120	1.130	#
0	-17.8	#	#	1.080	1.100	1.110	1.120	1.160
40	4.4	1.048	1.057	1.070	1.088	1.100	1.110	1.145
80	26.7	1.040	1.048	1.060	1.077	1.090	1.095	1.130
120	48.9	1.030	1.038	1.050	1.064	1.077	1.082	1.115
160	71.1	1.018	1.025	1.038	1.050	1.062	1.068	1.100
200	93.3	1.005	1.013	1.026	1.038	1.049	1.054	1.084
240	115.6	*	*	*	*	*	*	1.067
280	137.8	*	*	*	*	*	*	1.050

Fonte: adaptado de https://www.engineeringtoolbox.com/ethylene-glycol-d_146.html
(acessado em 24\03\19)

*Acima do ponto de ebulição

#Abaixo do ponto de congelamento

A densidade relativa é a propriedade definida na razão entre a densidade de uma substância (massa de uma unidade de volume) tendo como referência a densidade da água.

Na tabela 9 é mostrada a densidade relativa do líquido de arrefecimento do motor de combustão interna e como é possível notar há um acréscimo na densidade relativa do líquido arrefecedor.

Tabela 9: Densidade do LDA

Densidade do líquido de arrefecimento (Kg/m³)												
Porção de etilenoglicol no líquido	Temperatura(°C)											
	-48	-35	-25	-14	-8	-4	0	20	40	60	80	100
0							1001	998	993	987	980	972
0.1						1019	1018	1014	1008	1000	992	984
0.2					1038	1037	1036	1030	1022	1014	1005	995
0.3				1058	1056	1055	1054	1046	1037	1027	1017	1007
0.3			1080	1077	1075	1073	1072	1063	1052	1041	1030	1018
0.5		1103	1100	1096	1093	1092	1090	1079	1067	1055	1042	1030
0.6	1127	1124	1120	1115	1112	1110	1107	1095	1082	1068	1055	1042

Fonte: adaptado de https://www.engineeringtoolbox.com/ethylene-glycol-d_146.html (acessado em 24\03\19)

Como já descrito anteriormente o calor específico é a quantidade de calor necessário para que ocorra a variação de 1° C na temperatura de uma substância. Como é possível ver na tabela 10, o calor específico do líquido de arrefecimento é menor do que em sistemas que utilizam apenas a água como agente arrefecedor.

Em sistemas com 50% de proporção e temperaturas abaixo de 36°F (2,2°C) o calor específico é reduzido em aproximadamente 20% e faz se necessário o aumento na vazão volumétrica do líquido de arrefecimento.

Tabela 10: Calor específico do LDA

Calor específico (Btu/lb °F)-(KJ/Kg°C)								
Temperatura		Solução de etilenoglicol (%por volume)						
°F	°C	25	30	40	50	60	65	100
-40	-40	#	#	#	#	0.680	0.703	#
0	-17.8	#	#	0.830	0.780	0.723	0.700	0.540
40	4.4	0.913	0.890	0.845	0.795	0.740	0.721	0.562
80	26.7	0.921	0.902	0.860	0.815	0.768	0.743	0.590
120	48.9	0.933	0.915	0.875	0.832	0.788	0.765	0.612
160	71.1	0.940	0.925	0.890	0.850	0.810	0.786	0.640
200	93.3	0.953	0.936	0.905	0.865	0.830	0.807	0.660
240	115.6	*	*	*	*	*		0.689
280	137.8	*	*	*	*	*	*	0.710

Fonte: adaptado de https://www.engineeringtoolbox.com/ethylene-glycol-d_146.html
(acessado em 24\03\19)

*Acima do ponto de ebulição

#abaixo do ponto de congelamento

Tabela 11: Temperatura do LDA

Temperatura de líquido arrefecimento		Aumento na vazão volumétrica (%)
(°F)	(°C)	
40	4.4	22
100	37.8	16
140	60.0	15
180	82.2	14
220	104.4	14

Fonte: adaptado de https://www.engineeringtoolbox.com/ethylene-glycol-d_146.html (acessado em 24\03\19)

Tabela 12: Temperatura do LDA

Temperatura do fluido de arrefecimento		Correção da queda de pressão com taxa de vazão igual à (%)	Queda de pressão combinada e correção da taxa de vazão (%)
(°F)	(°C)		
40	4.4	45	114
100	37.8	10	49
140	60.0	0	32
180	82.2	-6	23
220	104.4	-10	18

Fonte: adaptado de https://www.engineeringtoolbox.com/ethylene-glycol-d_146.html (acessado em 24\03\19)

9.2. Aditivo concentrado tipo “A”

Monoetilenoglicol (MEG) ou só etilenoglicol é um composto orgânico biodegradável e solúvel em água, possui sabor adocicado e é tóxico por ingestão.

Amplamente utilizado na fabricação dos seguintes produtos: Fibra Poliéster, Resina PET e Aditivo para Arrefecimento.

9.3. Aditivo concentrado tipo “B”

Monopropilenoglicol = Propilenoglicol = PGI (USP)

O Monopropilenoglicol é um composto orgânico, relativamente biodegradável, de sabor neutro e tolerado pelo ser humano (não tóxico) é amplamente utilizado na fabricação dos seguintes produtos: Resinas poliéster (piscina de fibra de vidro), pomadas e cosméticos.

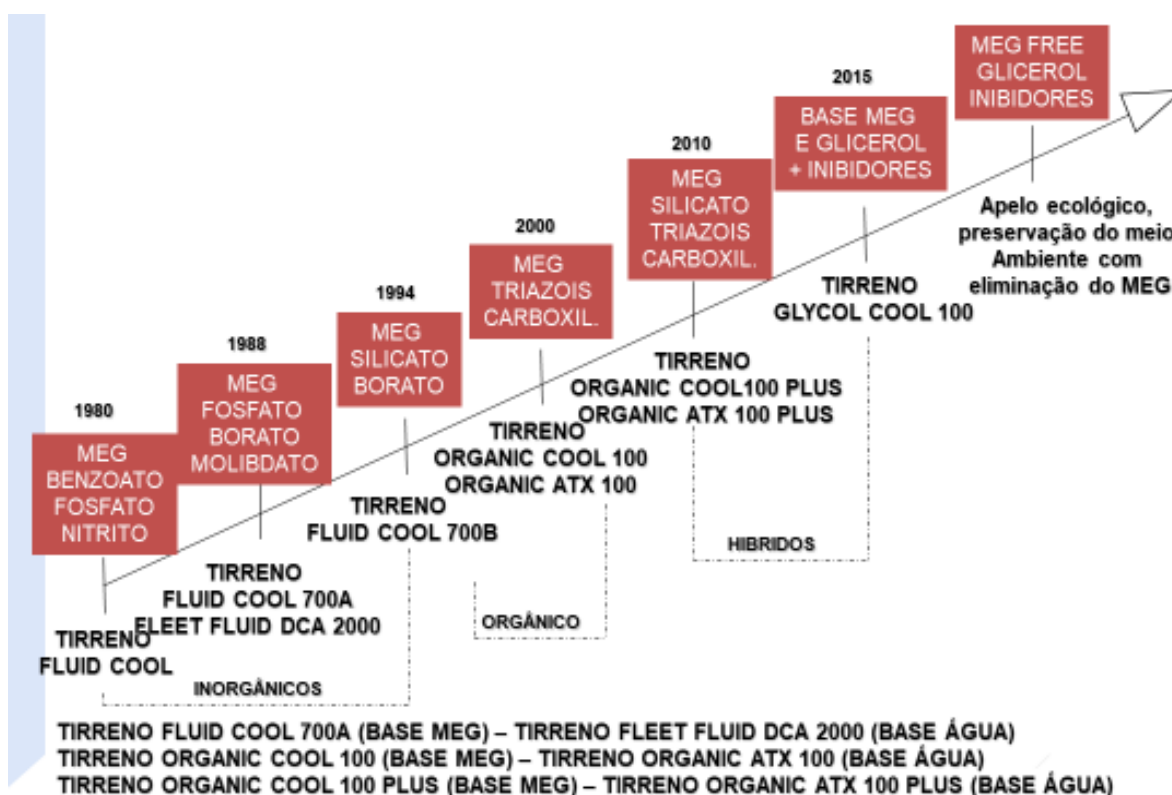
Aditivo para arrefecimento quando requerido baixa toxicidade ou há possibilidade de contaminação do ser humano:

Exemplo de uso: Sistema de refrigeração na indústria alimentícia e bebida (choperias).

9.4. Aditivo concentrado tipo “C”

Tecnologia mais recente que tem como principal preocupação a substituição dos aditivos à base de etilenoglicol e seu descarte ilegal no meio ambiente.

Figura 40: Líquido para arrefecimento e evolução técnica das montadoras



Fonte: Tirreno Brasil, 2018

10 CORES DO ADITIVO E CONCENTRADOS PARA O SISTEMA DE ARREFECIMENTO

É possível encontrar no mercado vários tipos de aditivos e concentrados de arrefecimento, porém não existe um critério para determinar a que cor corresponde a uma dada tecnologia.

Segundo o INMETRO, os aditivos são encontrados no mercado em várias cores, que são meramente um apelo comercial que não impacta no seu desempenho.

Os aditivos costumam ter as seguintes cores:

- ✓ Aditivo orgânico: vermelho, amarelo ou rosa.
- ✓ Aditivo inorgânico (sintético): verde ou rosa.

E sempre bom ler o rótulo do aditivo a qual se pretende usar e assim evitar danos pelo mau uso e uma dica é sempre pesquisar a que norma ele atende para saber se um aditivo orgânico ou inorgânico. Nunca misture tecnologias diferentes quando pretende “completar” o nível do líquido arrefecedor, quando for feito realize a proporção em um recipiente separado e depois preencha o reservatório.

10.1. Anticorrosivos

O sistema de arrefecimento do veículo terá sua vida útil amplamente estendida com o uso de anticorrosivos adicionados ao líquido de arrefecimento. Os anticorrosivos, que podem ser encontrados concentrados ou diluídos, é uma proteção extra que atuará na prevenção do ressecamento prematuro de mangueiras, vedações e a corrosão das partes metálicas que compõem ou que são afetadas pelo sistema de arrefecimento.

As tecnologias que determinam as características do líquido de arrefecimento e periodicidade de troca são: IATs, OAT e HOAT.

10.1.1. IATs; Inorganic additive technology

Esse tipo de aditivo contém fórmula à base de silicato e fosfato. A diluição deste aditivo em água requer a adição de outros componentes aditivos para prover a proteção necessária contra ferrugem, corrosão e “pitting”.

Segundo o NBR 15297, os aditivos orgânicos são mais duráveis que os sintéticos e também são biodegradáveis, ou seja, não agredem o meio ambiente.

Tabela 13: Fórmula química de algumas substâncias

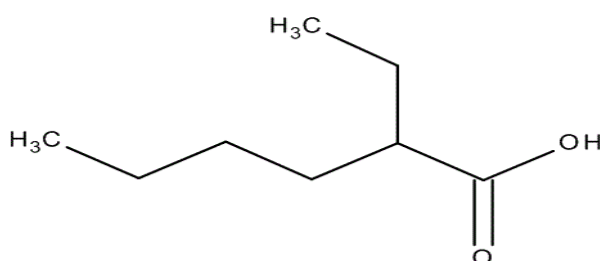
FOSTATO	PO_4^{-3}
NITRITO	NO_2^-
BORATO	BO_3^{-3}
SILICATO DE SÓDIO	Na_2SiO_3
MOLIBDATO DE SÓDIO	Na_2MoO_4

Fonte: Brasilescola, 2019

10.1.2. OAT: Organic acid technology

OAT ou Organic acid technology é a designação da tecnologia empregada nos inibidores de corrosão que possuem a ação mais lenta, porém mais duradouras do que os refrigerantes tradicionais. Conseqüentemente, os refrigerantes AOT possuem uma vida mais longa, principalmente se o sistema for formado por alumínio e ferro fundido, fator determinante quando voltado a sistemas mais antigos que possuem radiadores de cobre e latão aos quais os anticorrosivos de tecnologia OAT não são indicados.

Figura 41: Estrutura química de ácidos orgânicos

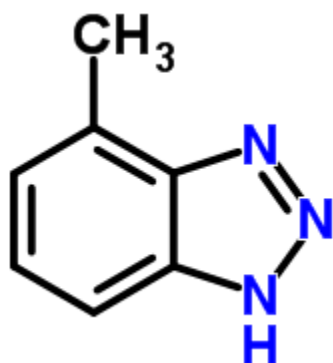


Fonte: Material de aula Professor Jhony Joca

10.1.3. HOAT: Hybrid organic acid technology

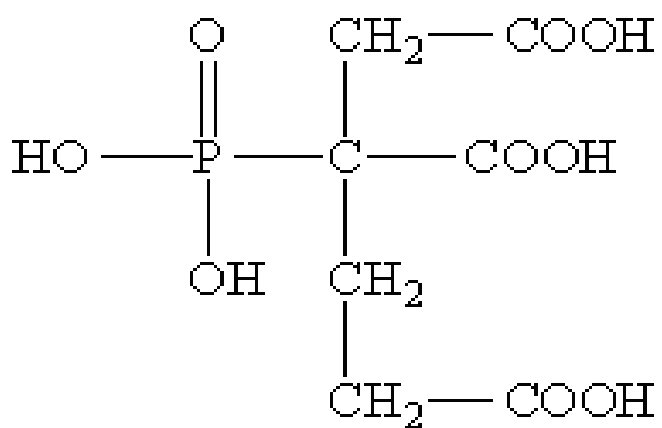
Também conhecido como G-05, usa em sua formulação ácidos orgânicos, mas não o 2-EHA, são utilizados diferentes tipos de ácidos orgânicos. HOAT adiciona alguns silicatos para oferecer rápida ação em superfícies de alumínio. Os silicatos também oferecem uma ação restauradora nos casos de erosão por cavitação, na bomba d'água por exemplo.

Figura 42: Triazóis



Fonte: Material de aula Professor Jhony Joca

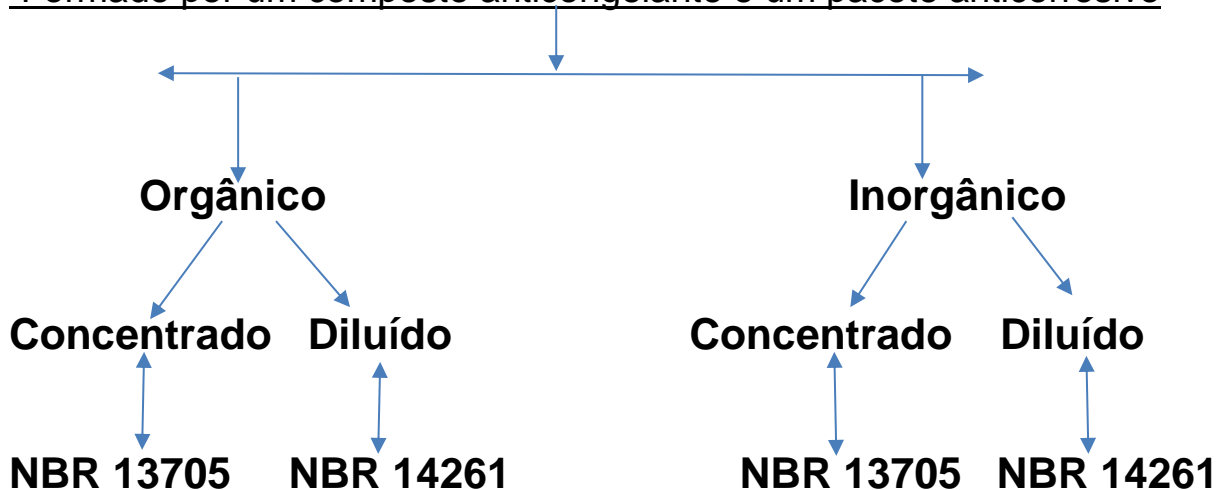
Figura 43: Ácidos orgânicos



Fonte: Material de aula Professor Jhony Joca

10.2. Líquido de arrefecimento

Formado por um composto anticongelante e um pacote anticorrosivo



10.3. Normatização e qualificação dos aditivos de arrefecimento no mercado brasileiro

NBR 13705:2016 – veículos rodoviários automotores- **Aditivos concentrados** para arrefecimento do motor endotérmico, tipos A, B e C – **Requisitos e métodos de ensaio.**

NBR 14261:2016 – Veículos rodoviários automotores- **Soluções arrefecedoras** para motor endotérmico, Tipos A, B e C- **Requisitos e métodos de ensaio.**

10.4. Determinação da quantidade de anticongelante baseado em quarts

Uma outra forma de determinar a quantidade de água e concentrado de arrefecimento é o uso da unidade quarts, que é unidade igual a um quarto de galão, ou 946ml nos Estados Unidos. Na Grã-Bretanha é igual 1.136 litros.

EX 1: Se um sistema de arrefecimento tem a capacidade de 14 quartos e está submetido a uma temperatura de -54°F, para não ocorrer o congelamento será necessário a adição de 8 quartos para o sistema de arrefecimento não congele.

Tabela 14: Determinação de anticongelante em quarts em Fahrenheit

<u>Capacidade</u> <u>em quarts</u> <u>sitem</u> <u>arrefecimento</u>	Quarts de anticongelante requerido para proteção de acordo com a temperatura (°F)								
	3	4	5	6	7	8	9	10	11
7	-17	-54							
8	-7	-34	-59						
9	0	-21	-50						
10	4	-12	-34	-62					
11	8	-6	-23	-47					
12	10	0	-15	-34	-57				
13		3	-9	-25	-45				
14		6	-5	-18	-34	-54			
15		8	0	-12	-26	-43	-62		
16		10	2	-8	-19	-34	-52		
17			5	-4	-14	-27	-42	-58	
18			7	0	-10	-21	-34	-50	
19			9	2	-7	-15	-28	-42	-56
20			10	4	-3	-12	-22	-34	-48

Fonte: Adaptado do Material do Professor Jhony Joca

Ex2: Se um veículo com capacidade de armazenamento de 18 quarts pretende trafegar em uma região cuja temperatura gira em torno de -23 °C. Qual é a quantidade de concentrado de arrefecimento deve ser adicionado ao sistema de arrefecimento do motor?

Tabela 15: Determinação de anticongelante em quarts em graus Celsius

<u>Capacidade</u> <u>em quarts</u> <u>sitem</u> <u>arrefecimento</u>	Quarts de anticongelante requerido para proteção de acordo com a temperatura (°C)								
	3	4	5	6	7	8	9	10	11
7	-27	-48							
8	-22	-37	-51						
9	-18	-29	-46						
10	-16	-24	-37	-52					
11	-13	-21	-31	-44					
12	-12	-18	-26	-37	-49				
13		-16	-23	-32	-43				
14		-14	-21	-28	-37	-48			
15		-13	-28	-24	-32	-42	-52		
16		-12	-17	-22	-28	-37	-37		
17			-15	-20	-26	-33	-41	-50	
18			-14	-18	-23	-29	-37	-46	
19			-13	-17	-22	-26	-33	-41	-49
20			-12	-16	-19	-24	-30	-37	-44

Fonte: Adaptado do Material do Professor Jhony Joca

11 TESTE DO LIQUIDO DE ARREFECIMENTO E RESULTADOS

Para atender as reclamações do Instituto da Qualidade automotiva (IQA), nas quais atestava que fabricantes, agindo de forma desleal, estariam colocando no mercado produtos que não atendiam as especificações expostas na Norma Técnica Brasileira (NBR). O Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial

(INMETRO) realizou uma série de testes que visavam atender os anseios e identificar quais eram os principais fornecedores e se seus produtos estavam de acordo com os padrões relacionais na NBR.

11.1. Normas e documentos de referência

- ABNT NBR 13.705:1996- Aditivos para arrefecimento do motor endotérmico, tipos A e B, concentrados- Requisitos e determinação das características;
- Lei 8078, de 11 setembro de 1990, do Ministério de justiça- Código de proteção e Defesa do Consumidor.

11.2. Laboratório responsável pelos ensaios

Os ensaios foram realizados no Laboratório de Combustíveis e Lubrificantes e no Laboratório de Análises Químicas Orgânicas, do Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo- IPT.

11.3. Amostras selecionadas para análise

A compra das amostras foram precedidas por uma análise de mercado realizada pela Rede Brasileira de Metrologia Legal e Qualidade (RBMLQ), composta pelos institutos de pesos e medidas (IPEMS) que são delegados pelos IMETROS de cada estado e eles foram: Amazonas, Bahia, Mato Grosso, Minas Gerais, Rio de Janeiro, Santa Catarina, São Paulo e Piauí, e assim, contemplando todas as cinco regiões do país.

Tabela 16: Diferença entre aditivo normalizado e não normalizado

Aditivos normalizados	Aditivos não normalizados
<ul style="list-style-type: none"> ✓ Contém etilenoglicol (álcool) em sua composição) ✓ Ação preventiva contra congelamento do sistema ✓ Ação preventiva contra superaquecimento do sistema ✓ Ação anticorrosiva 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ NÃO contém etilenoglicol em sua composição ✓ Apenas ação anticorrosiva

Fonte: Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (INMETRO)

O INMETRO tinha como objetivo realizar a compra dos aditivos de forma tal que um cliente de forma leiga faria, ou seja, estando sujeito as “pegadinhas” impostas pela falta de informação e a quantidade de itens disposto um próximo aos outros levando o comprador a confusão e a compra de forma errada, muitas das vezes baseados no preço.

Dessa forma foram adquiridas 16 amostras de aditivos para radiador, sendo 12 normalizadas e 4 não normalizadas, conforme a tabela 17.

Tabela 17: Marcas de aditivos para radiador compradas no mercado

Marca	fornecedor	Composição informada na embalagem	Composição informada na norma?
A	Fornecedor A	Monoetilenoglicol, anticorrosivos e corante. Não contém aminos, fosfatos ou nitritos.	SIM
B	Fornecedor B	Etilenoglicol e inibidores de corrosão(orgânico)	SIM
C	Fornecedor C	Polímeros anticorrosivo sintetizados e veiculo	NÃO
D	Fornecedor D	Etilenoglicol e aditivos anticorrosivos e antioxidante	SIM

Contínua

Marca	fornecedor	Composição informada na embalagem	Composição informada na norma?
E	Fornecedor E	À base de etilenoglicol	SIM
F	Fornecedor F	Carboxilatos, monoetilenoglicol, aditivos anticorrosão e aditivos anticogelantes	SIM
G	Fornecedor G	Essencialmente monoetilenoglicol e inibidor de corrosão	SIM
H	Fornecedor H	Monoetilenoglicol, aditivos anticorrosivos e passivador de metais, bórax, estabilizador e corante verde	SIM
I	Fornecedor I	Polímeros anticorrosivos semi-sintetizados de alta condutividade térmica, corante e veiculo	NÃO
J	Fornecedor J	Glicóis, passivadores de metais, anticorrosivos e agentes coadjuvantes	SIM
L	Fornecedor L	Monoetilenoglicol, aditivos, componente anticorrosivo, corante e água desmineralizada	SIM
M	Fornecedor M	Etileno glicol, sais de sódio, emulsão de silicone e corante	SIM
N	Fornecedor N	Óleo mineral, tensoativos não iônicos, coadjuvantes	NÃO
O	Fornecedor O	Inibidores anticorrosivos, antiespumante isento de nitritos, sulfatos ou aminas, água desmineralizada	NÃO
P	Fornecedor P	Etilenoglicol, aditivos e corante	SIM
Q	Fornecedor Q	Etilenoglicol, sais de sódio, emulsão de silicone, corante e agente desnaturante	SIM

Fonte: Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (INMETRO)

11.4. Ensaio realizados

Para o atendimento da lei NBR 13.705, que visa a proteção do sistema de arrefecimento do motor contra a corrosão, congelamento e superaquecimento, foram realizados quatro grupos de ensaios, sendo que o primeiro que determinava o teor de água na amostra, que de acordo com a lei não deve ser maior que 5%, tinha caráter eliminatório e, uma vez não atendido esse quesito, a eliminação era de forma automática, pois essas amostras não oferecem o mínimo de proteção e, de acordo com a base técnica do IQA e do IPT, permitem afirmar que essas amostras não podem, nem sequer, ser classificada como líquido de arrefecimento.

Tabela 18: Resultado para teor de água

Amostra	Teor de água encontrado (máximo 5%)	Resultado
Fornecedor A	2,8%	CONFORME
Fornecedor B	2,5%	CONFORME
Fornecedor D	2,8%	CONFORME
Fornecedor E	2,8%	CONFORME
Fornecedor E	86,0%	NÃO CONFORME
Fornecedor G	2,9%	CONFORME
Fornecedor H	4,1%	CONFORME
Fornecedor J	74,0%	NÃO CONFORME
Fornecedor L	3,4%	CONFORME
Fornecedor M	2,9%	CONFORME
Fornecedor P	2,4%	CONFORME
Fornecedor Q	2,9%	CONFORME

Fonte: Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (INMETRO)

Os aditivos considerados não normalizados também foram submetidos ao teste de teor de água e, como é possível observar, são formados basicamente por água.

Tabela 19: Resultado do ensaio de verificação do teor de água para os aditivos não normalizados

Amostra	Teor de água encontrado (%)
Fornecedor C	98,0%
Fornecedor I	93,0%
Fornecedor N	81,0%
Fornecedor O	79,0%

Fonte: Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (INMETRO)

11.5. Determinação do pH

A realização do ensaio agora verifica o quão eficiente no controle do pH da água do sistema de arrefecimento do motor é a amostra. Nesse tipo de aplicação o pH deve atender o intervalo entre 7,5 e 11,5. Fora desse range a amostra será considerada ácida ou alcalina demais e não protegendo o sistema do ataque corrosivo.

Tabela 20: Resultado para determinação do pH

Amostra	pH medido max.:11,5 e min.: 7,5	Resultado
Fornecedor A	7,98	Conforme
Fornecedor B	8,20	Conforme
Fornecedor D	7,90	Conforme
Fornecedor E	8,08	Conforme
Fornecedor F	Não ensaiado (*)	-----
Fornecedor G	7,50	Conforme
Fornecedor H	7,85	Conforme
Fornecedor J	Não ensaiado (*)	-----
Fornecedor L	10,41	Conforme
Fornecedor M	7,90	Conforme
Fornecedor P	8,16	Conforme
Fornecedor Q	8,14	Conforme

Fonte: Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (INMETRO)

(*) não ensaiado porque foi considerada não conforme no ensaio de teor de água

11.6. Determinação dos pontos de congelamento e ebulição

Esse teste tem como objetivo verificar a eficiência no que se confere ao líquido a propriedade de mudar os pontos de congelamento e ebulição da água em uma concentração do líquido de arrefecimento em 50% de ativo e 50% de água. De acordo

com a norma técnica a solução só poderá congelar abaixo de -33° Celsius e ferver acima de 163° Celsius.

Tabela 21: Resultado para a determinação dos pontos de congelamento e ebulição

Amostra	Ponto de congelamento ($^{\circ}$ C)	Ponto de ebulição ($^{\circ}$ C)	Resultado
	Máximo -33° C	Mínimo 163° C	
Fornecedor A	-35° C	176° C	CONFORME
Fornecedor B	-36° C	181° C	CONFORME
Fornecedor D	-37° C	177° C	CONFORME
Fornecedor E	-34° C	177° C	CONFORME
Fornecedor F	NÃO ENSAIADO (*)		
Fornecedor G	-38° C	178° C	CONFORME
Fornecedor H	-34° C	170° C	CONFORME
Fornecedor J	NÃO ENSAIADO (*)		
Fornecedor L	-36° C	173° C	CONFORME
Fornecedor M	-38° C	176° C	CONFORME
Fornecedor P	-35° C	179° C	CONFORME
Fornecedor Q	-34° C	179° C	CONFORME

Fonte: Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (INMETRO)

(*) Não ensaiada porque foi considerada não conforme no ensaio de teor de água

11.7. Ensaio de corrosão

Para testar a capacidade de proteção contra corrosão do líquido de arrefecimento nos diferentes metais que englobam os sistemas automotivos, foram mergulhadas chapas feitas com metais e em seguida foi feita a medida de perda de massa.

Tabela 22: Resultado para ensaio de corrosão

Amostra	Cobre(mg) Máx.:10mg	Solda(mg) Máx.:20mg	Latão(mg) Máx.:10mg	Aço carbono(mg) Máx.:10mg	Ferro fundido(mg) Máx.:20mg	Alumínio(mg) Máx.:10mg	Resultado
A	1,0	0,7	0,7	0,0	-0,3	-0,7	CONFORME
B	1,0	1,0	1,0	0,0	0,3	8,0	CONFORME
D	1,0	1,0	1,0	0,3	0,0	0,3	CONFORME
E	1,0	1,0	1,0	0,0	0,0	-1,7	CONFORME
F	NÃO ENSAIADO (*)						
G	1,0	2,0	1,0	-0,3	-0,3	9,0	CONFORME
H	1,0	0,7	0,7	0,0	-0,3	0,7	CONFORME
J	NÃO ENSAIADO (*)						
L	1,0	7,3	1,7	-0,3	-0,7	-1,3	CONFORME
M	1,0	0,7	1,0	0,3	-0,3	-0,7	CONFORME
P	1,7	1,0	1,0	0,0	0,0	3,3	CONFORME
Q	1,0	0,0	0,7	0,0	-0,3	-0,3	CONFORME

Fonte: Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (INMETRO)

(*) Não ensaiado porque foi considerado não conforme no ensaio de teor de água

11.8. Resultado original

É possível observar que quatro das 16 marcas adquiridas não foram analisadas, pois não possuíam etilenoglicol em sua composição, assim sendo, não eram normalizadas. Das 12 marcas restantes, duas possuíam teor de água acima dos 5% exigidos pela NBR 13.705.

Tabela 23: Resultado geral da análise em aditivos para radiador

Amostra	Teor de água	Determinação do pH	Determinação do ponto de congelamento	Determinação do ponto de ebulição	Resultado
Fornecedor A	CONFORME	CONFORME	CONFORME	CONFORME	CONFORME
Fornecedor B	CONFORME	CONFORME	CONFORME	CONFORME	CONFORME
Fornecedor C	NORMA NÃO APLICÁVEL				
Fornecedor D	CONFORME	CONFORME	CONFORME	CONFORME	CONFORME
Fornecedor E	CONFORME	CONFORME	CONFORME	CONFORME	CONFORME
Fornecedor F	NÃO CONFORME	NÃO REALIZADO			NÃO CONFORME
Fornecedor G	CONFORME	CONFORME	CONFORME	CONFORME	CONFORME
Fornecedor H	CONFORME	CONFORME	CONFORME	CONFORME	CONFORME
Fornecedor I	NORMA NÃO APLICÁVEL				
Fornecedor J	NÃO CONFORME	NÃO REALIZADO			NÃO CONFORME
Fornecedor L	CONFORME	CONFORME	CONFORME	CONFORME	CONFORME
Fornecedor M	CONFORME	CONFORME	CONFORME	CONFORME	CONFORME
Fornecedor N	NORMA NÃO APLICÁVEL				
Fornecedor O	NORMA NÃO APLICÁVEL				
Fornecedor P	CONFORME	CONFORME	CONFORME	CONFORME	CONFORME
Fornecedor Q	CONFORME	CONFORME	CONFORME	CONFORME	CONFORME

Fonte: Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (INMETRO)

11.9. Informações gerais do produto

A quantidade de marcas e variedades de produtos normalizados e não normalizados disponibilizados no mercado é grande, causando confusão no consumidor final, uma vez que, este, muitas das vezes, não tem o conhecimento técnico para fazer a distinção e a possibilidade de uma escolha equivocada que pode levar a prejuízos financeiros, baseados nos danos causados no veículo.

Abaixo estão listados a forma de como item está identificado no rotulo do produto e que fica evidente que não há distinção da natureza dos produtos:

Tabela 24: Descrição da nota fiscal de compra

Marca	Produto normalizado?	Descrição da nota fiscal
Fornecedor A	SIM	“Aditivo radiador”
Fornecedor B	SIM	“Aditivo para radiador”
Fornecedor C	NÃO	“Aditivo para radiador Extreme”
Fornecedor D	SIM	“Adit. Radia. Ipir”
Fornecedor E	SIM	“Fluido Rad. 500ml”
Fornecedor F	SIM	“Aditivo para radiador”
Fornecedor G	SIM	“Aditivo”
Fornecedor H	SIM	“Aditivo radiador”
Fornecedor I	NÃO	“Aditivo radiador Radiex-1922”
Fornecedor J	SIM	“J fluid concentrado”
Fornecedor L	SIM	“Aditivo radiador Concentrado”
Fornecedor M	SIM	“Aditivo para radiador”
Fornecedor N	NÃO	“STP radiador líquido arrefecimento”
Fornecedor O	SIM	“Texaco EXT Lif Concentrado”

Continua

Marca	Produto normalizado?	Descrição da nota fiscal
Fornecedor P	NÃO	“Aditivo rad tricoolant concentrado”
Fornecedor Q	SIM	“Valeo 100”

Fonte: Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (INMETRO)

12 ANÁLISE DE MODOS DE FALHAS

A maioria das máquinas mecânicas necessitam de um sistema de arrefecimento para que sua eficiência energética seja a máxima possível, com os motores de combustão interna a coisa não é diferente e essa é uma das razões que o sistema de arrefecimento passou a ser tão importante nas últimas décadas e muito disso se deve ao implemento de novas tecnologias que visam o maior aproveitamento da eficiência energética.

Abaixo, serão listados alguns mecanismos mecânicos que para oferecerem o seu grau máximo de eficiência, dentro de alguns padrões, que dependem diretamente de um arrefecimento eficiente. Também será apresentado três análises de falhas para entendermos melhor quais são as razões as quais ocorrem as falhas e o que pode ser feito para evitarmos a inutilização por quebra do(s) componente(s) envolvido(s).

12.1. Motor combustão interna

Principal componente de um veículo, o motor é uma máquina térmica e, como tal, deve trabalhar em um range de temperatura ideal e pré-determinado para que possa disponibilizar o movimento decorrente da transformação da energia da massa gasosa. Porém, apenas 25% dessa transformação química é convertido em energia mecânica, sendo que a maior parte da energia não convertida em movimento se perde em forma de calor, que no final das contas acaba se tornando um grande problema e

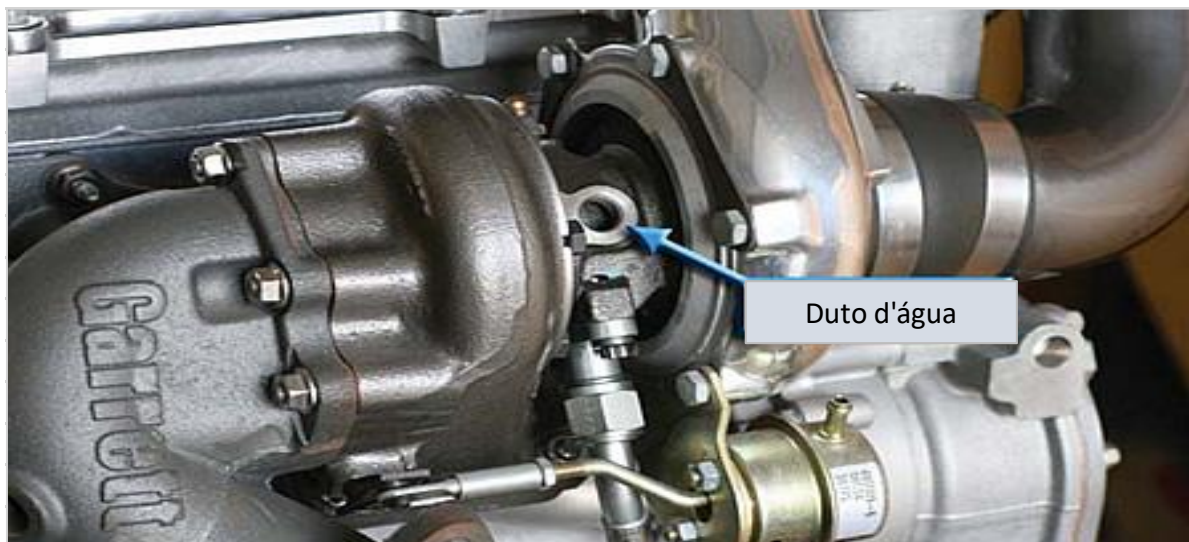
para a resolução desse inconveniente usa-se as propriedades implícitas no líquido de refrigeração do motor para a retirada de boa parte de energia calorífica do motor.

12.2. Turbo compressor

Turbo compressores são, na sua maior parte, arrefecidos pelo ar, óleo do motor e água. Mas no final das contas quais são os benefícios de um turbo arrefecido pelo líquido de arrefecimento?

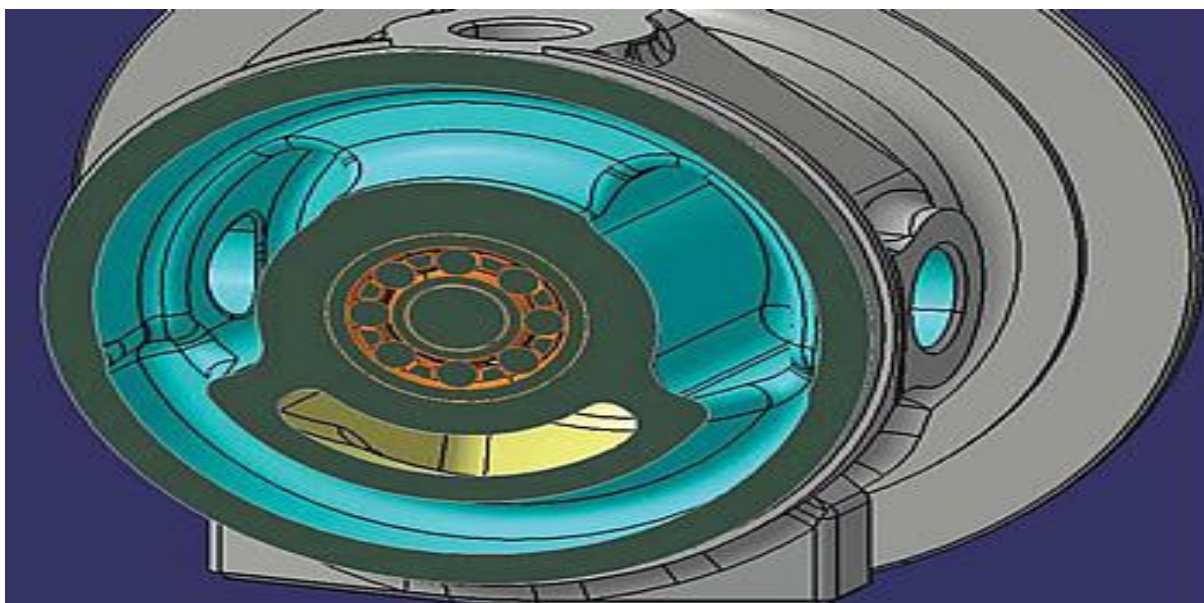
A resposta para essa pergunta, a esse ponto, é muito clara, pois como já foi dito esse mecanismo é totalmente mecânico em seu funcionamento, - lembrando que a eletrônica encontrada em alguns turbos é utilizada para controlar as variáveis envolvidas através de atuadores mecânicos- a vida útil do turbo é longamente estendida com o arrefecimento correto, prolongando a durabilidade mecânica do turbo.

Figura 44: Turbo compressor arrefecido à água



Fonte: GCG turbochargers Pty Tld, 2018

Figura 45: Visão em corte do turbo compressor



Fonte: GCG turbochargers pty Tld, 2018

- Parte azul= líquido de arrefecimento
- Parte amarela= óleo lubrificante
- Parte laranja= rolamento do rotor

Quando os gases de escape, esses com potencial de energia não aproveitada em geração de trabalho, passam pelo rotor da turbina (carcaça quente) e movem o compressor (carcaça fria) um grande atrito é gerado nos mancais do eixo do turbo compressor e conseqüentemente aumenta a temperatura. Os tipos mais comuns de apoio dos eixos são os de mancais de deslizamento e escora e o os de rolamentos.

Figura 46: Mancal de escora e deslizamento



Fonte: Flatout, 2019

Figura 47: Mancal de rolamento

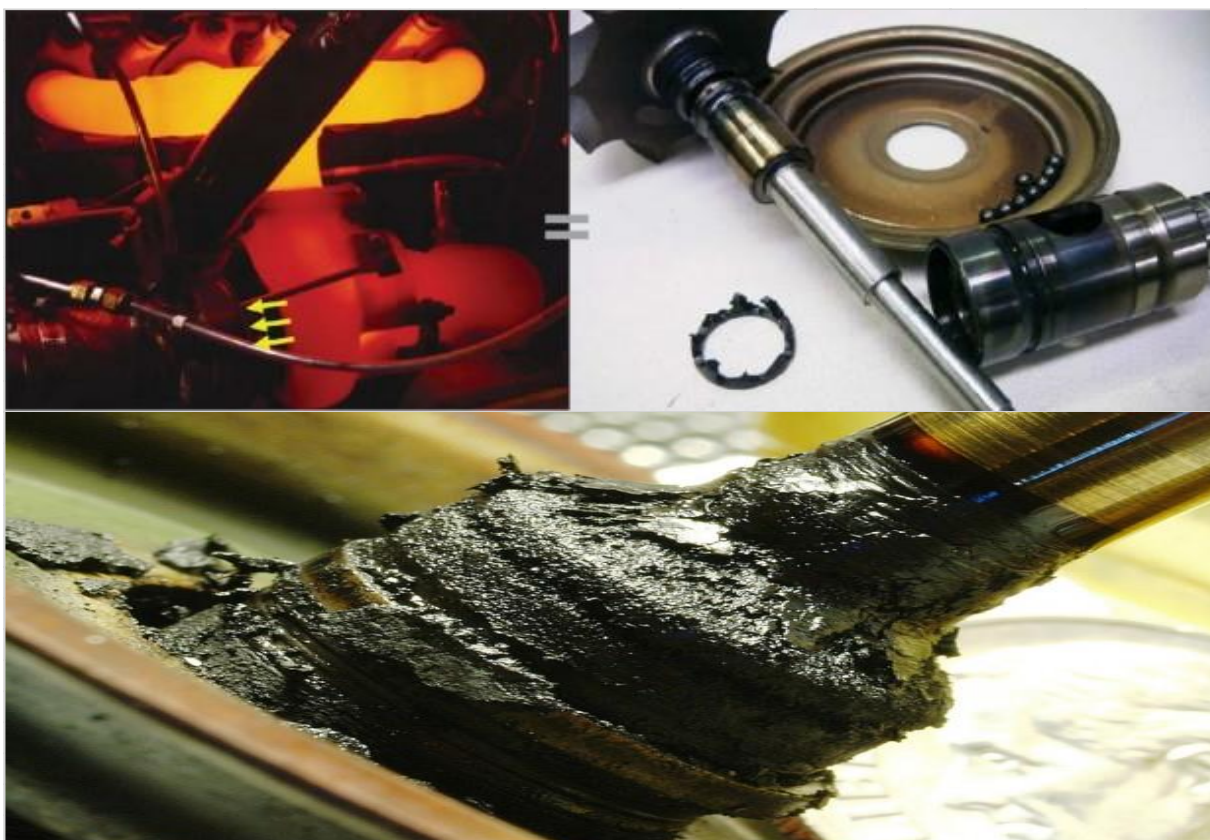


Fonte: Flatout, 2019

Independentemente do tipo de apoio dos eixos utilizados deve-se tomar muito cuidado a respeito do limite de rotação do eixo do turbo compressor, pois a utilização de turbos compressores em aplicações nas quais os limites são ultrapassados causará o travamento total do sistema por quebra. Porém, a maior preocupação vem

do fato de a partir do momento em que o motor do veículo é desligado, e então, a bomba de óleo deixa de funcionar, o calor migra da carcaça quente para a fria, causando o efeito de coque -carbonização do óleo lubrificante-, partes azuladas nos mancais e eixo, chegando em alguns casos fundir os mancais.

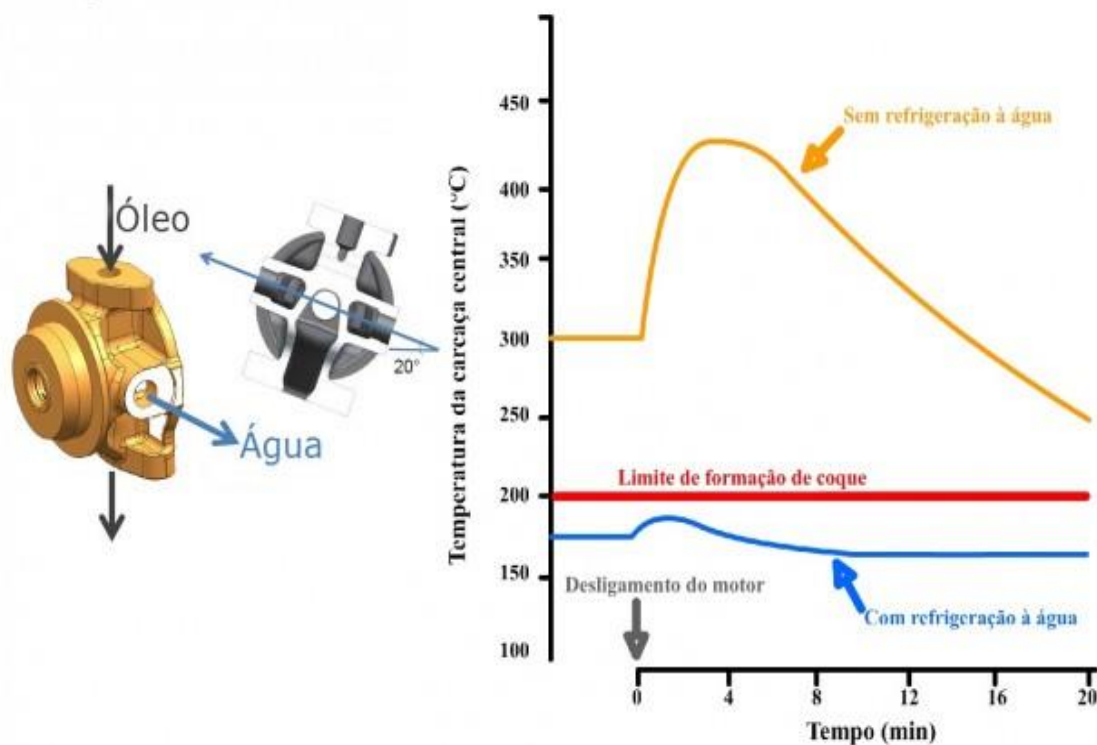
Figura 48: Processo de carbonização dos componentes do turbo compressor



Fonte: Flatout, 2019

Para suprir o efeito do desligamento do motor sobre o turbo compressor foi desenvolvido modelos de carcaças com dutos destinados ao líquido de arrefecimento do motor, devido à grande capacidade térmica da água, mantendo o sistema adequadamente arrefecido.

Figura 49: Dutos de óleo e água do turbo e gráfico de limites de temperatura e tempo para a formação do efeito coque



Fonte: Flatout, 2019

No apêndice 1 é apresentado um FMEA (Failure Mode and Effect Analyses), demonstrando as principais ações a serem tomadas para evitar danos ou a perda total do turbo compressor.

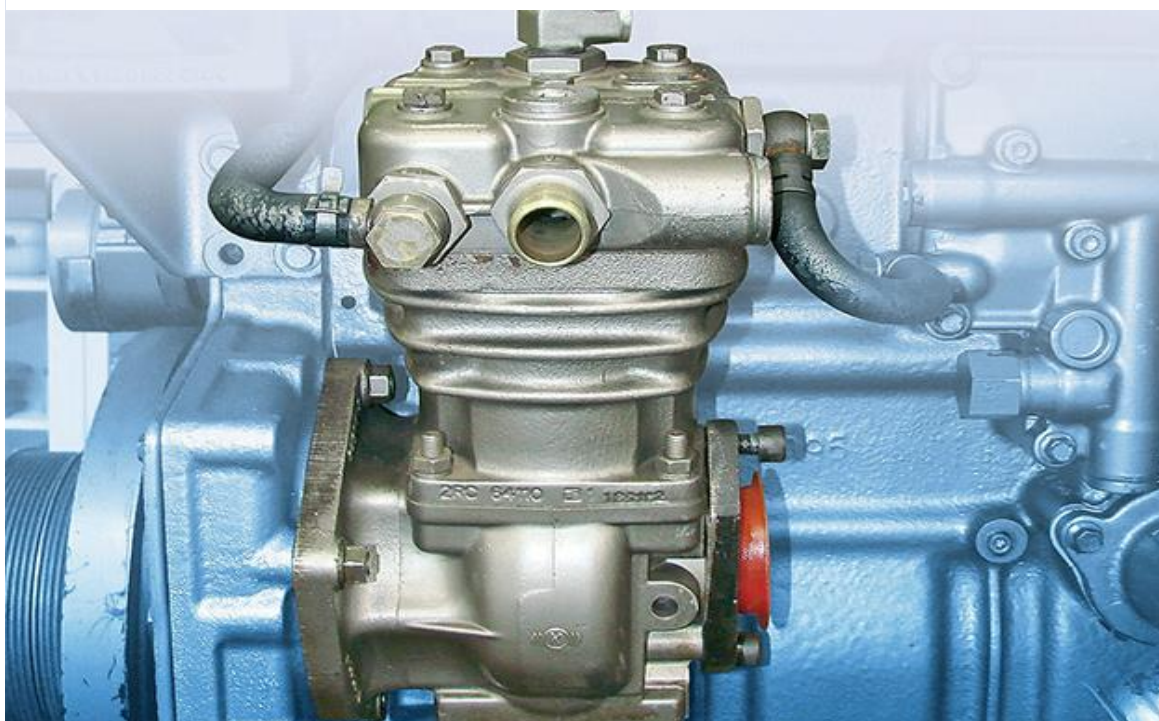
12.3. Compressor de ar dos sistemas pneumáticos

Esse mecanismo tem como função a compressão do ar atmosférico para o armazenamento em reservatórios e, depois de passar por um filtro coalescente, a disponibilização para os sistemas pneumáticos, tais como: freios, embreagem hidropneumática, porta de ônibus, molas pneumáticas da suspensão, descarga de banheiro, e outros acessórios quando solicitados.

Segundo (Silas S. Bheringi), instrutor técnico do SENAI Ipiranga, danos nos compressores são mais comuns de acontecer em veículos urbanos (ônibus e caminhão), pois trabalham num regime mais rigoroso de temperatura e pressão por

mais tempo. No transporte rodoviário, no entanto, assim que atinge a pressão de trabalho, a válvula reguladora de pressão se abre permitindo que o compressor trabalhe em vazio, como em rodovias o consumo de ar comprimido é menor, o compressor trabalha mais tempo em vazio, o que possibilita uma maior vida útil e menor manutenção”,

Figura 50: Compressor de ar para sistema Pneumáticos Knorr Bremse



Fonte: Revista o mecânico

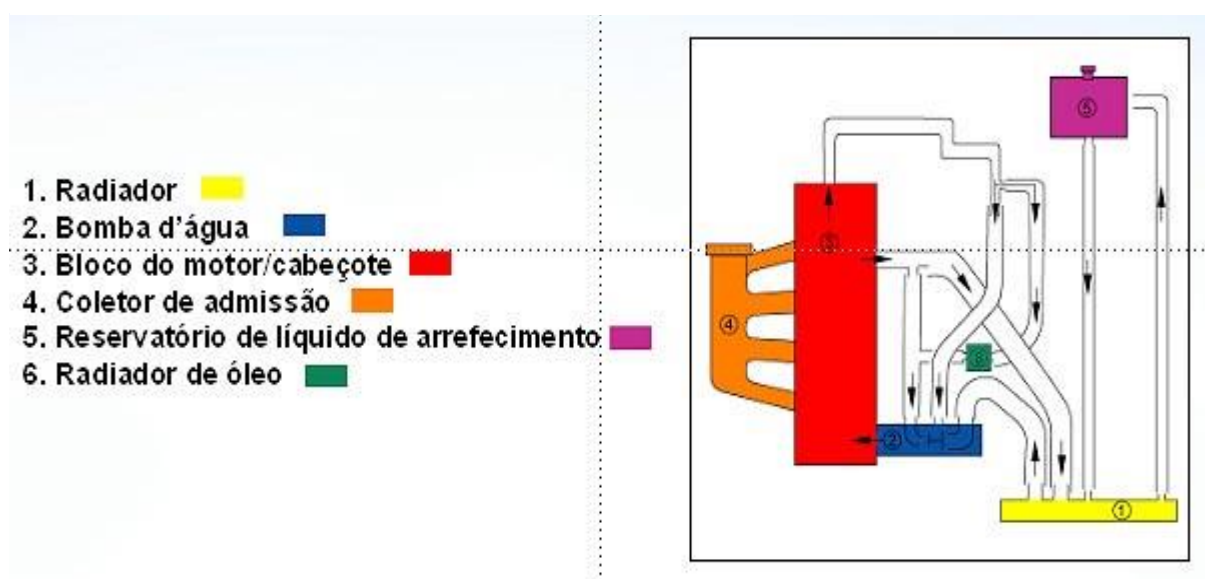
Como não podia ser diferente, o compressor de ar para os sistemas de acionamento pneumático aquece e, portanto, devem ser arrefecidos, tanto pelo ar atmosférico quanto pelo líquido de arrefecimento. Uma vez, que o compressor venha a falhar, não oferecendo a pressão de ar desejada, sistemas como o de frenagem, acionamento de troca de marchas, buzina e outros, não funcionarão de forma correta e em alguns casos expondo os ocupantes do veículo a sérios riscos as suas vidas.

No apêndice 3 é apresentado um FMEA com a intenção de apresentar as principais falhas e como evitá-las ou ameniza-las.

12.4. Bomba d'água

A principal função da bomba d'água é o bombeamento constante de líquido de arrefecimento para o motor e seus agregados que apresentam aquecimento devido as suas características de trabalho.

Figura 51: Diagrama de funcionamento da bomba d'água

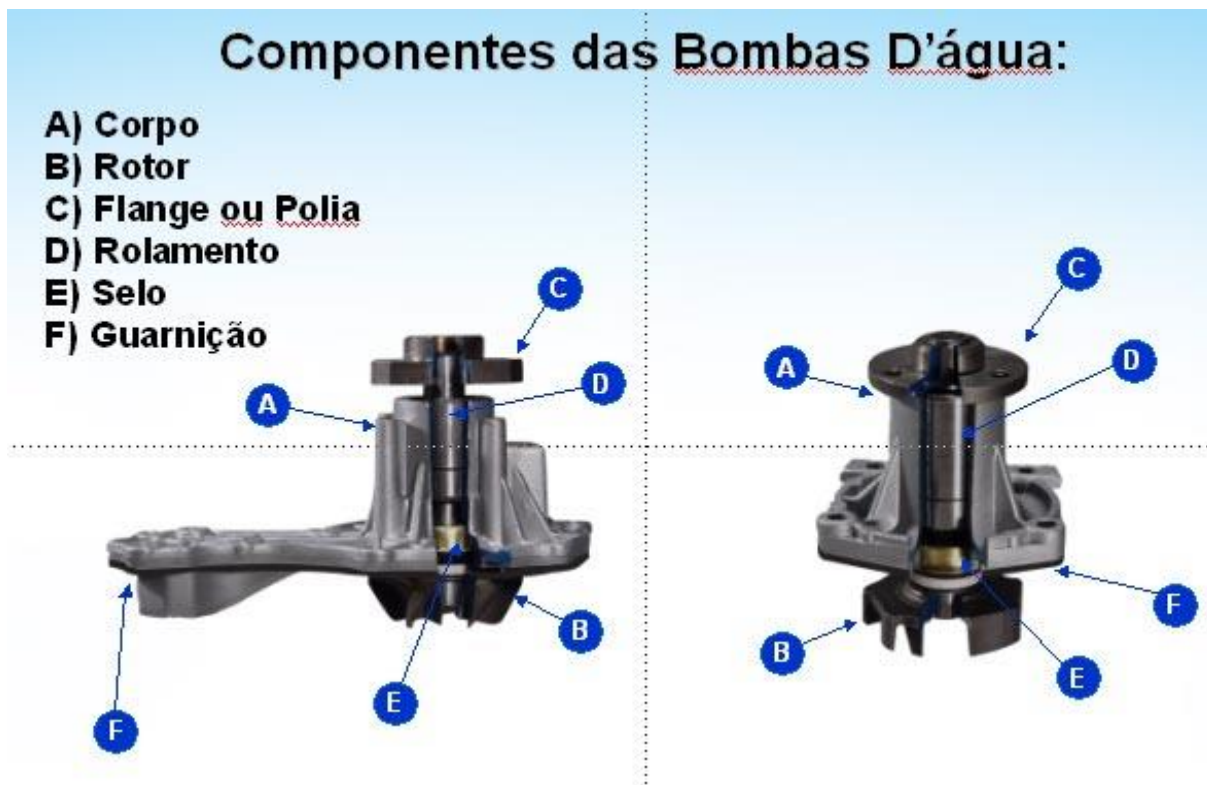


Fonte: Unibombas, 2019

A bomba d'água apresenta alguns sinais quando o seu funcionamento apresenta problemas e este fato não deve ser negligenciado, pois praticamente todo o motor do veículo é dependente deste item, ou seja, o motor, possivelmente, vai parar de funcionar e em casos extremos terá perda total.

No apêndice 2 é apresentado um método de análise de falhas com o intuito de preservar o funcionamento correto da bomba d'água.

Figura 52: Demonstração dos componentes de uma bomba d'água



Fonte: Unibombas, 2019

12.5. Caixa de cambio

A caixa de câmbio é um importante conjunto mecânico de um veículo automotor. Ele funciona como um multiplicador de força que utiliza os parâmetros de torque e potência do motor para fazer as movimentações da roda. A comunicação é feita através de um conjunto de embreagem que fica entre o motor e a caixa de câmbio. Este modula a necessidade de potência e torque de acordo com a operação do veículo.

Por se tratar de um componente meramente mecânico, é claro que não estamos levando em conta o gerenciamento eletrônico que é feito nos veículos atuais, a cada troca de marcha há um desgaste do conjunto que é algo intrínseco do conjunto e a troca periódica e algo que fica claro com o tempo. Porém esse tempo pode ser

encurtado, por exemplo, quando o sistema de resfriamento de óleo não ocorre com eficiência.

E como é feito esse resfriamento do sistema de lubrificação de um veículo automotor?

Nos veículos mais antigos esse resfriamento era feito por um radiador de óleo com aletas, no qual a troca era feita com o ar. No entanto, nos veículos atuais, em que a troca de calor é feita através do líquido de arrefecimento, não é incomum encontrar situações nas quais óleo e água são encontrados “misturados” durante a diagnose de uma falha na qual o veículo encontra-se imobilizado, sem a condição de engate de marcha e, como a este ponto já e de se esperar, a falha ocorreu em decorrência da queima de juntas e conseqüente comunicação entre os sistemas de lubrificação e arrefecimento do veículo na caixa de câmbio.

12.6. Sistema de climatização e arrefecimento do motor

Segundo Oficina Brasil, o sistema de arrefecimento é composto pelo radiador, ventiladores, bomba d'água, vaso de expansão, sensor de temperatura, válvula termostática, tubos e mangueiras, solução com água e aditivo que evita o congelamento e eleva o ponto de ebulição.

Em veículos equipados com ar quente, são adicionadas duas mangueiras, uma delas conduz e a outra retorna a água quente do radiador de ar quente (algumas montadoras chamam de núcleo aquecedor) localizado no painel de instrumentos.

Alguns veículos possuem um filtro no sistema de arrefecimento, fazendo a solução arrefecedora trabalhar livre de impurezas. Este filtro é mais comum em veículos Diesel.

Na manutenção do sistema de arrefecimento é importante lembrar do radiador de ar quente e, em alguns casos, tem um componente chamado válvula de ar quente que permite a circulação da água quente para dentro do núcleo aquecedor e retornando ao sistema de arrefecimento do motor.

Segundo revista O Mecânico, ao fazer a limpeza do sistema de arrefecimento é recomendável deixar a válvula de ar quente aberta para que os resíduos não fiquem

acumulados no radiador de ar quente. Outro motivo muito importante para deixar a válvula aberta é no abastecimento com água e aditivo, para que não fique bolha de ar no sistema.

Para fazer a substituição do radiador de ar quente, devemos tomar cuidado no painel e também com a qualidade do líquido ou fluido de arrefecimento a ser utilizado. Sempre substituir os anéis vedadores, pois eles ressecam e reaproveitar um componente destes não compensa pelo risco de vazamento.

12.7. Demais componentes arrefecidos

A lista de componentes que são arrefecidos pelo líquido arrefecedor é vasta e exercem diferentes funções em um veículo automotor e descrevê-las aqui não é o foco do trabalho, mas tenha em mente que, qualquer falha que venha ocorrer em algum deles é um indício de que a proporção pode estar ocorrendo de forma incorreta e a correção da concentração deve ser corrigida o mais rápido possível.

13 MODOS DE FALHAS OBSERVADOS EM CAMPO

A seguir serão mostrados alguns registros e a descrição de peças falhadas em campo, nas quais a principal causa está relacionada com a suposta proporção incorreta do sistema de arrefecimento do motor e seus periféricos. Porém, antes alguns fenômenos físicos serão explicados para o melhor entendimento dos modos de falha.

13.1. Cavitação

Cavitação é o fenômeno físico que ocorre devido a diferença de pressão sobre um líquido durante o seu movimento, em nosso caso, quando o líquido de arrefecimento circula através do motor e o radiador.

Como explicado anteriormente, a água possui a temperatura de vaporização em torno de 100°C a pressão a nível do mar, e o fato de líquido ser acelerado dentro do sistema de arrefecimento faz com que a pressão diminua e, conseqüentemente a

vaporização do líquido ocorra em temperaturas mais baixas. O uso do etilenoglicol faz com que a temperatura de vaporização do líquido de arrefecimento aumente.

A cavitação é muito comum em sistemas nos quais circulam líquidos como óleo e água, e esses necessitam de um sistema de bombeamento visando manter uma velocidade de deslocamento. Os principais componentes afetados pelo fenômeno são as bombas hidráulicas, válvulas, turbinas, propulsores navais, pistões de automóveis, etc.

As bolhas são formadas em regiões de baixa pressão e carregadas para regiões de pressões acima da pressão de vaporização, ocorrendo a implosão das bolhas. Se o colapso das bolhas ocorrer próximo a uma região sólida, a ondas de choque sucessivas sobre essa região fará com que ocorra o aparecimento de microerosões dando origem ao fenômeno da cavitação.

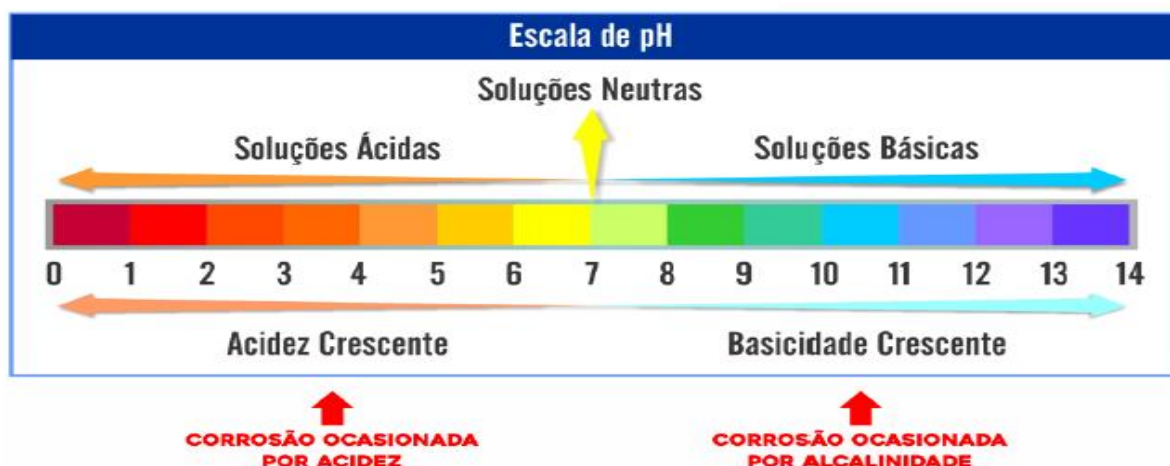
13.2. Corrosão

A corrosão é um processo químico-físico que um metal sofre pela ação de oxido-redução. Ela pode ocorrer de três maneiras: química, eletroquímica e eletrolítica.

Em nosso caso trataremos da reação eletroquímica, na qual o material perde elétrons, ou seja, oxidou-se, enquanto o outro ganha elétrons reduzindo. Os principais agentes oxidantes são a água e o oxigênio.

A água sem um bom aditivo antioxidante é extremamente prejudicial ao sistema de arrefecimento do veículo devido ao pH característico desse líquido. A escala do pH indica a concentração de íons de hidrogênio numa solução (H⁺).

Figura 53: Escala do pH

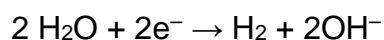


Fonte: <https://brasilpiscinas.com.br> (acessado em 31/03/19)

O ferro possui um potencial de oxidação maior que o oxigênio como pode ser visto a seguir:



Processo de redução da água:



13.3. Superaquecimento dos metais

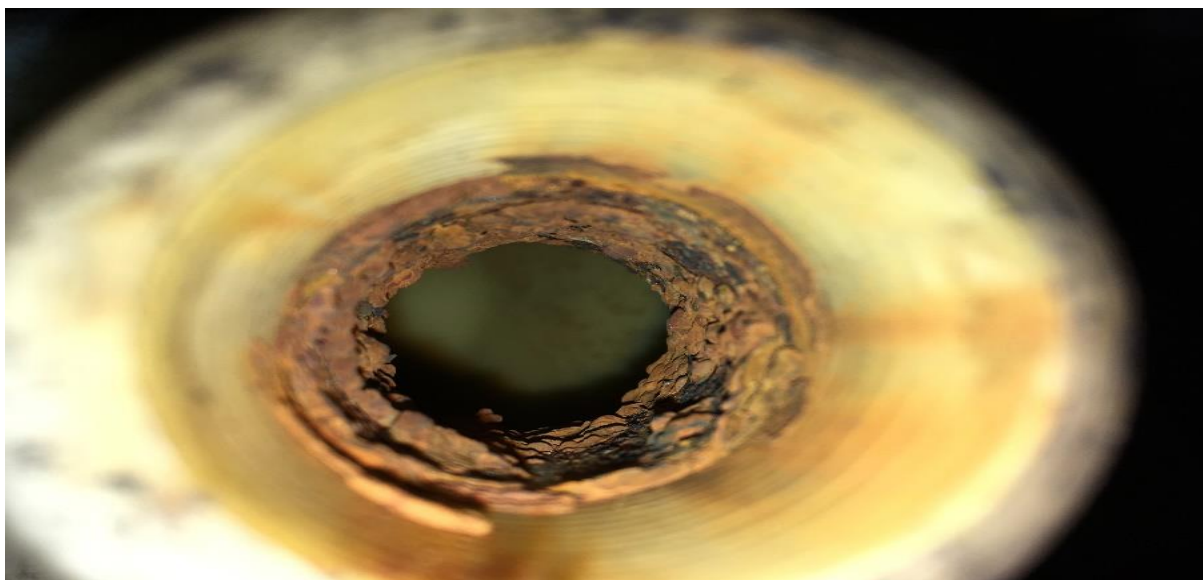
O processo de superaquecimento ocorre com os metais que trabalham em temperaturas acima daquelas previstas em projeto. A identificação da falha, no caso dos sistemas automotivos, só é possível em muitos casos, depois da desmontagem do mecanismo e nos quais é possível observar diferença na coloração da peça -preto azulada-, sinais de desgaste mecânico devido a dilatação da peça fora do comum, depósito de material na superfície em casos de carbonização, etc.

13.4. Contaminação do reservatório de expansão por resíduos metálicos

Nas figuras 54 e 55 é possível ver claramente a quantidade de resíduo metálico depositado nas paredes do reservatório de expansão do sistema de refrigeração do motor. Tal fato é preocupante, pois quando essa quantidade de material é observada,

deduz-se que, uma deterioração maior do sistema está em fase avançada na parte interna do motor, e uma falha com dimensões maior está na iminência de acontecer.

Figura 54: Reservatório de expansão com resíduos metálicos



Fonte: Arquivo pessoal, 2017

Figura 55: Reservatório de expansão com resíduos metálicos



Fonte: Arquivo pessoal, 2017

13.5. Bomba d'água

Nas figuras 56, 57 e 58 é possível observar o estado avançado de impregnação de material metálico depositado na superfície, tanto na parte metálica quanto na parte polimérica da bomba d'água. Para pessoas desinformadas, ou seja, que não conhecem a aparência normal da peça, a situação já é de espanto, porém os técnicos que estão acostumados a lidar com frequência com este componente irão se atentar que, além da quebra do corpo das pás do rotor, mas também, para a obstrução gerada no canal destinado ao "alívio" do sistema, como destacado na imagem 58. Esta situação irá gerar vazamento no sistema, e conseqüentemente um superaquecimento do motor e outros problemas correlatos ao sistema de arrefecimento.

Figura 56: Bomba d'água com pás polimérica quebrada



Fonte: Arquivo pessoal, 2017

Figura 57: Bomba d'água impregnada com material metálico



Fonte: Arquivo pessoal, 2017

Figura 58: Válvula alívio da bomba d'água obstruída



Fonte: Arquivo pessoal, 2017

13.6. Cavitação no bloco do motor e carcaça da bomba d'água

Nas imagens 59 e 60 é possível notar um caso clássico de cavitação no bloco do motor bem como em suas camisas e na carcaça da bomba de água. Como já descrito, trata-se de um caso de diferença de pressão entre dois pontos em um sistema hidráulico com sistema de bombeamento, ocorrendo o processo de cavitação quando a pressão de vapor é superior a pressão de vaporização do LDA.

Figura 59: Cavitação na carcaça da bomba d'água



Fonte: Arquivo pessoal, 2017

Figura 60: Cavitação bloco do motor e camisas do pistão

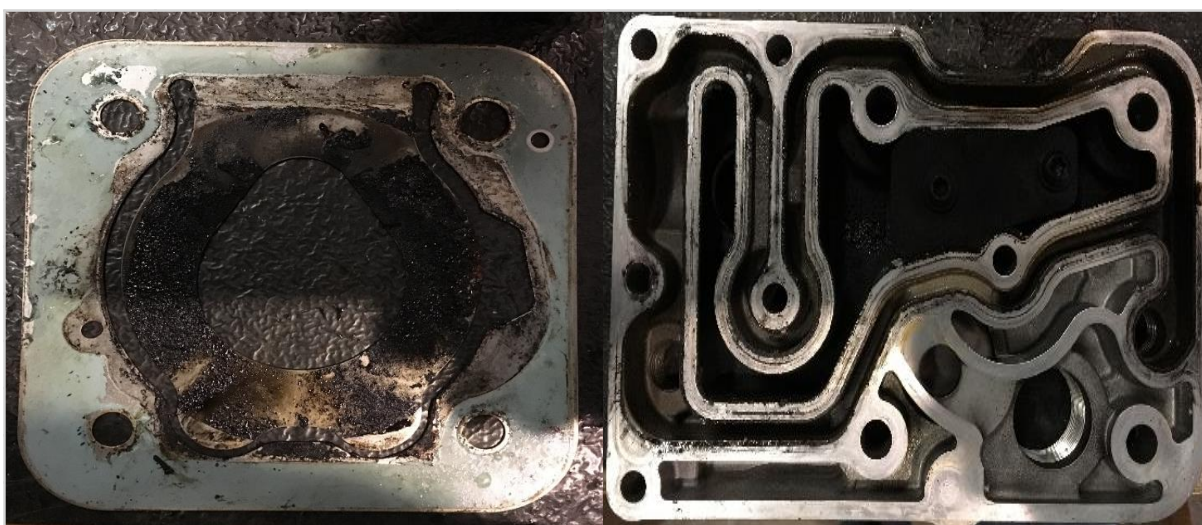


Fonte: Arquivo pessoal, 2019

13.7. Compressor de ar dos sistemas de acionamento pneumático

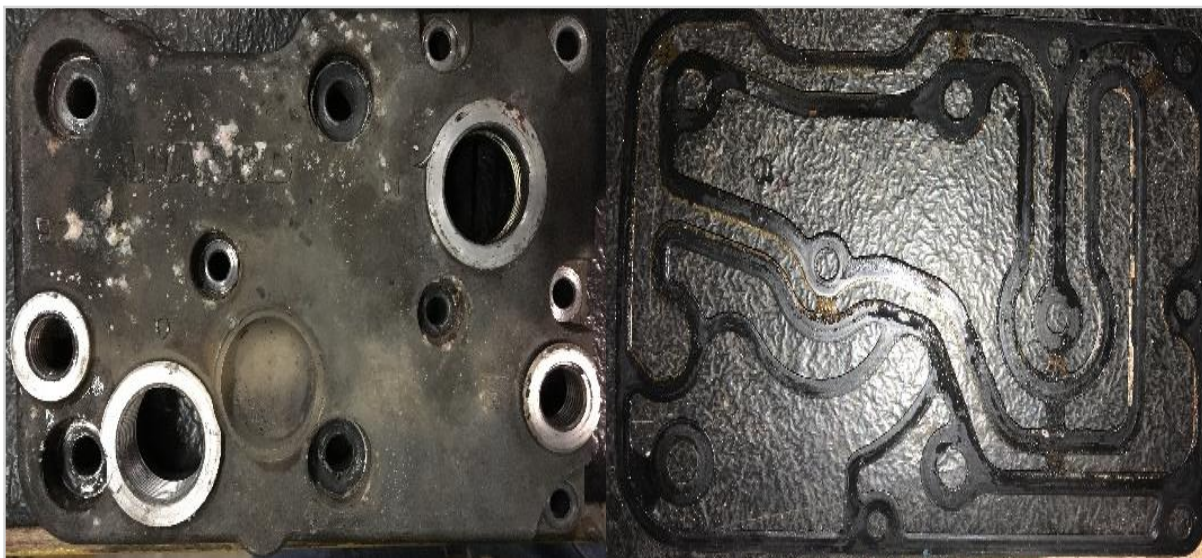
No caso abaixo foi observado que a junta metálica apresentava um “canal”, esse não original do projeto, e sim devido ao superaquecimento do sistema de refrigeração do sistema de arrefecimento, o que veio a causar a passagem de água para a câmara de compressão de ar do compressor fazendo com que o filme de óleo existente entre a paredes do pistão e do cilindro não agisse de forma eficiente. Em decorrência da falha gerada houve a contaminação do sistema de ar com óleo lubrificante, pois o filtro coalescente saturou em decorrência da quantidade acima do normal do óleo no sistema pneumático.

Figura 61: Cilindro compressão de ar dos sistemas auxiliares



Fonte: Arquivo pessoal, 2017

Figura 62: Tampa compressor e junta metálica



Fonte: Arquivo pessoal, 2017

13.8. Compressor de ar do sistema pneumático com anel de vedação danificado (caso 2)

Como é possível ver nas fotos abaixo, todos os componentes que formam o compressor de ar do sistema pneumático sofreram de alguma forma as consequências do arrefecimento inadequado.

Na figura 63 é possível notar a formação de um bolor devido o processo de oxidação do LDA, enquanto na figura 64 é possível notar a oxidação dos pistões de compressão. A figura 65 mostra a situação de degradação do anel de vedação da galeria de passagem do LDA.

Figura 63: Tampa cabeçote do compressor



Fonte: Arquivo pessoal, 2017

Figura 64: Cilindros de compressão



Fonte: Arquivo pessoal, 2017

Figura 65: Anel vedação do compressor de ar danificado



Fonte: Arquivo pessoal, 2017

Figura 66: Compressor de ar bi-cilíndrico



Fonte: Arquivo pessoal, 2017

O que parece ser uma tarefa simples, muitas das vezes pode ser o limiar entre vida e a morte. Imagina você em uma descida íngreme e de repente descobre que não tem freio para desacelerar o veículo, pior ainda é descobrir que tudo pode ter sido causado por um simples anel de vedação que se deteriorou devido a proporção incorreta do líquido de arrefecimento do motor. Pois bem, o conjunto de fotos acima mostra um caso que se enquadra no fato descrito.

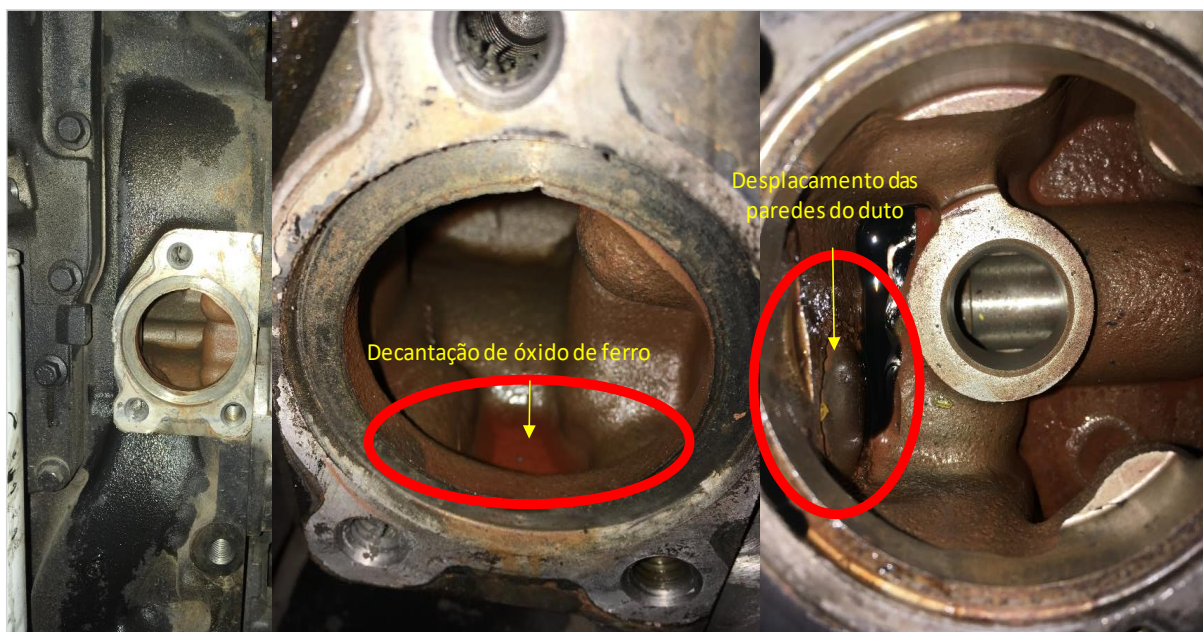
Nele é possível observar o estado avançado de oxidação do compressor de ar, porém ele não se encontrava assim enquanto instalado no veículo. No entanto, observa-se que a proporção do líquido de arrefecimento do motor não foi dosado de forma eficiente para proteger a parte metálica ocasionando a deterioração físico-mecânica. A quebra ocorreu devido a deterioração do anel o'ring, pois esse foi atacado pelo líquido arrefecedor como descrito anteriormente.

Este anel "o'ring" é o responsável por manter o fluxo, sem vazamentos, entre a parte superior do compressor de ar a parte que abriga os cilindros, uma vez que, esse não cumpre sua função de forma satisfatória observa-se o vazamento do LDA na parte externa do compressor e alguns casos ocorrera o vazamento para a parte interna aonde ocorre a compressão do ar.

13.9. Oxidação dos dutos de arrefecimento do motor

Na figura 67 é possível notar o estado avançado de oxidação, evidenciado pela decantação de óxido de ferro e o deslocamento das paredes do duto de arrefecimento do motor em destaque, fato este que comprova tudo que vem sendo exposto até o momento.

Figura 67: Oxidação dos dutos de arrefecimento do motor

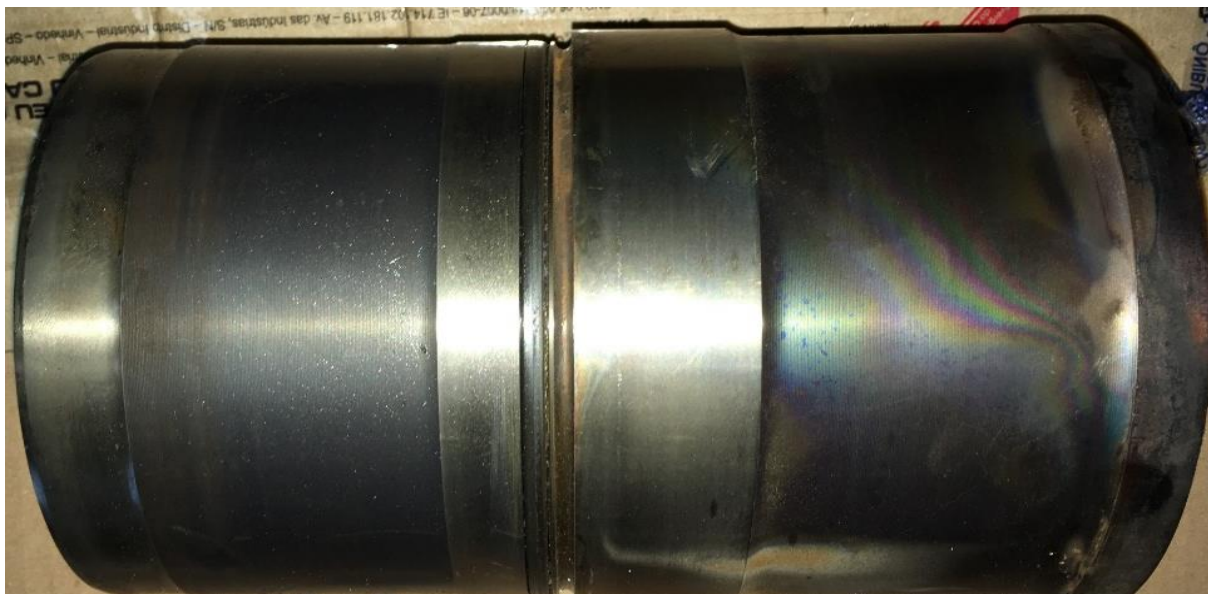


Fonte: Arquivo pessoal, 2019

13.10. Superaquecimento das camisa dos pistões de compressão

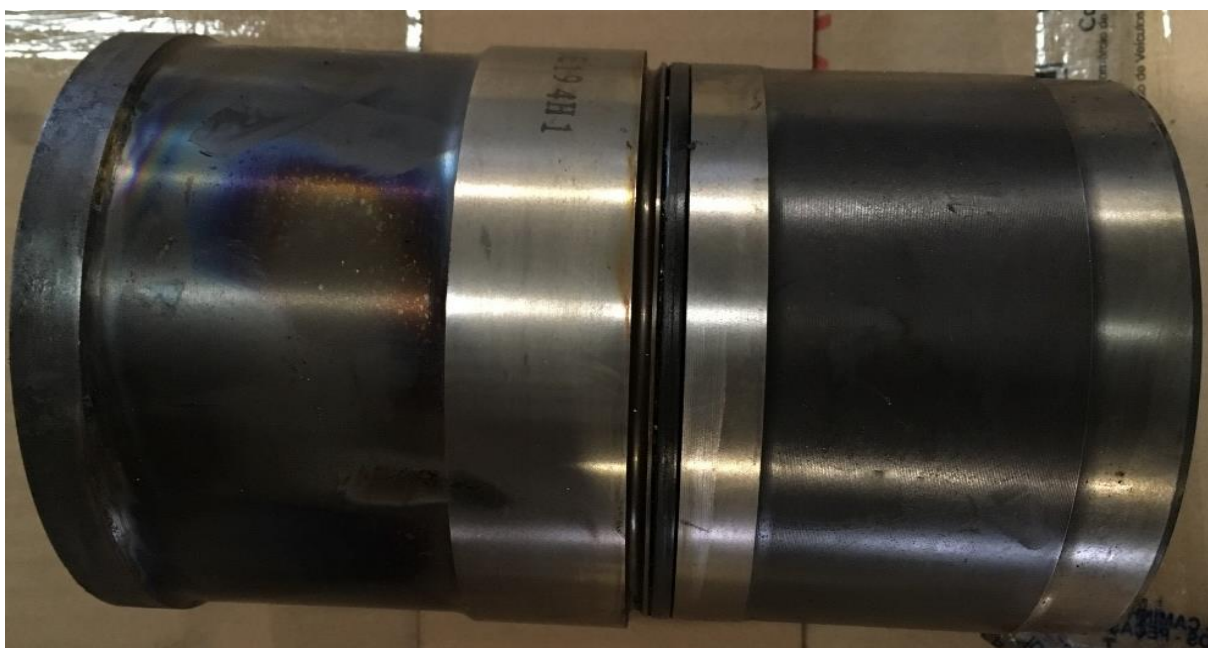
Um dos casos mais clássicos de superaquecimento, esse tipo de falha se caracteriza pela evidência das partes roxo-azuladas no corpo da camisa dos pistões do motor. É claro que o superaquecimento pode ocorrer devido a outros fatores, por exemplo: a combustão incorreta da massa gasosa devido ao “overfuelling”, porém na maioria dos casos a falha é devido ao LDA em proporções fora do recomendado pelo manual do fabricante.

Figura 68: Camisa cilindro do motor



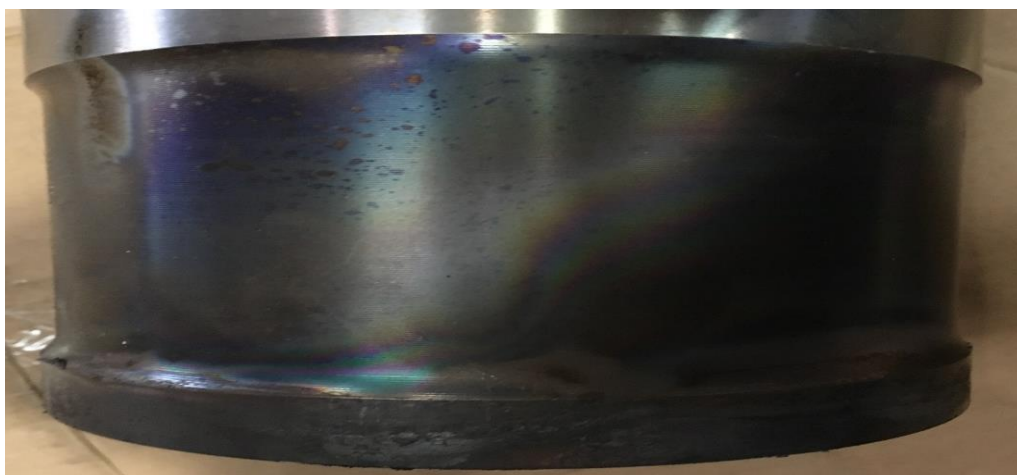
Fonte: Arquivo pessoal, 2018

Figura 69: Camisa cilindro do motor



Fonte: Arquivo pessoal, 2018

Figura 70: Camisa cilindro do motor



Fonte: Arquivo pessoal, 2018

Esses foram alguns exemplos utilizados para ilustrar os danos aos componentes do motor. A quantidade de itens que sofrerão esses desgastes e, em alguns casos a inutilização completa é grande. Portanto, uma revisão periódica faz-se necessária e, o mais importante, é atentar ao nível do líquido arrefecedor, pois a sua quantidade abaixo do mínimo significa que há vazamentos no sistema e, independente da proporção correta, o motor estará sujeito a danos por calor excessivo.

14 PARTE PRÁTICA

Nessa etapa do trabalho foi desenvolvido uma experiência prática para tentar demonstrar a ação do líquido de arrefecimento sobre parafusos de aço niquelado.

O intuito dessa experiência não era mostrar o quão prejudicial é a utilização do uso do líquido de arrefecimento em concentrações não recomendada pelo manual do fabricante do veículo. Como será visto, mesmo em situações que fogem um pouco das encontradas em um sistema de arrefecimento à água, a simples atitude de atentar-se a forma de usar a substância arrefecedora proveu uma proteção satisfatória ao parafuso, e assim também será, aos componentes metálicos do veículo.

14.1. Material utilizado

A seguir segue a lista do material utilizado na experiência que visa demonstrar a evolução de um corpo de prova submetido a ação de um líquido segundo especificações, ou não, do fabricante.

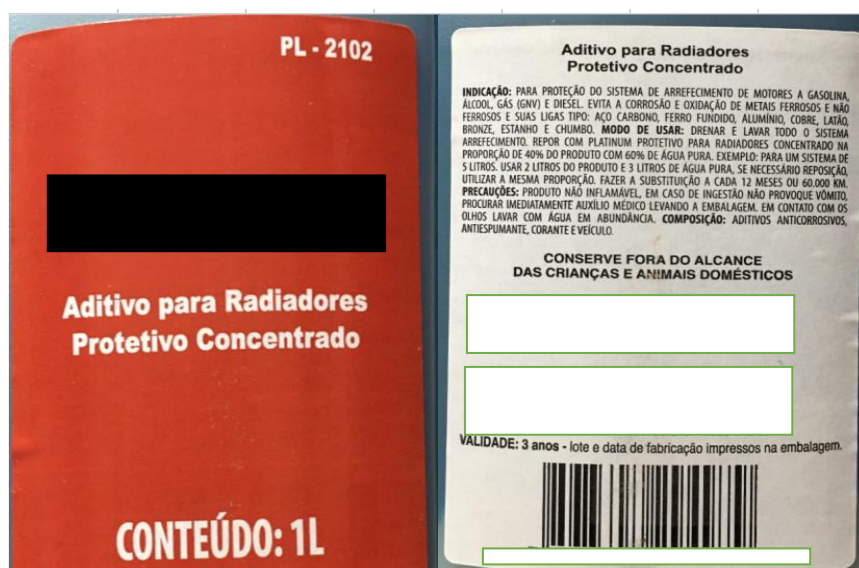
Figura 71: Recipientes e parafusos utilizados



Fonte: Arquivo pessoal, 2019

Na imagem 71 estão dispostos os recipientes utilizados para a armazenagem do líquido de arrefecimento em diferentes concentrações. Eles possuem a capacidade de armazenar 45ml de líquido e são fabricados de vidro e possuem tampas de alumínio. Também é possível visualizar os parafusos de aço níquelado que serão inseridos no líquido de arrefecimento.

Figura 72: Aditivo para radiadores



Fonte: Arquivo pessoal, 2019

Na imagem 72 é possível ver o aditivo para radiadores protetivo concentrado. Este item foi comprado com uma única preocupação de que fosse o mais barato, razão esta na qual, muitos proprietários são expostos quando se deparam em situações de emergência e sem opções de compra.

Usando um aditivo com essas características é de se esperar que o processo de deterioração, tanto do líquido de arrefecimento, quanto dos componentes do sistema arrefecedor, ocorrerá em um intervalo de tempo menor do que seus concorrentes diretos e com valores maiores de mercado, pois subentendese que, a tecnologia empregada e o grau de proteção deste justifique o preço superior.

Figura 73: Álcool, silicone e seringa utilizados no experimento



Fonte: Arquivo pessoal, 2019

A figura 73 mostra a embalagem do álcool utilizado para fazer a esterilização dos recipientes utilizados na armazenagem do líquido de arrefecimento. É possível observar também o silicone utilizado para realizar a vedação dos recipientes e tentar simular um ambiente livre das intempéries e, por fim, é mostrado a seringa utilizada para a realização das variações das proporções água e concentrado de arrefecimento.

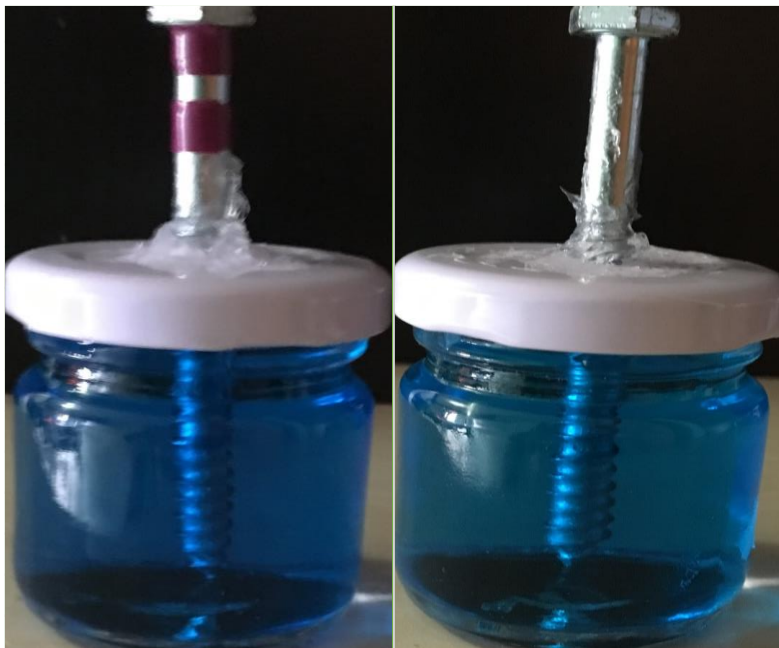
Figura 74: Corpos de prova mergulhados em água e somente o aditivo



Fonte: Autoria própria, 2019

Na imagem 74 é mostrado o corpo de prova com uma fita preta mergulhado no recipiente que contém só água sem qualquer adição do concentrado de arrefecimento e o corpo de prova com uma fita rosa imerso no recipiente que foi preenchido somente com líquido de arrefecimento.

Figura 75: Corpos de prova em solução de arrefecimento com concentração recomendada e não recomendada



Fonte: Autoria própria, 2019

Na figura 75 o corpo de prova com duas listras rosa está imerso em líquido de arrefecimento que possui uma concentração de 40% de aditivo para 60% de água, recomendada pelo fabricante. Na figura também é possível ver o corpo de prova sem marcação que está imerso na concentração encontrada é de 20% de aditivo para 80% de água, ou seja, não recomendada pelo fabricante do concentrado de arrefecimento.

14.2. Processo evolutivo da experiência

A seguir, será descrito como os corpos de prova foram afetados através do tempo pela ação do pacote arrefecedor.

Figura 76: Estado dos corpos de prova após 30 dias



Fonte: Autoria própria, 2019

Na figura 76 é demonstrado o estado dos corpos de prova passados 30 dias de experiência. Na imagem é possível notar que o corpo de prova imerso em água (corpo de prova com uma fita preta), sem qualquer adição de aditivo, começa a sofrer o processo de oxidação, pois a cobertura protetiva de nível começa a perder a coloração prata reluzente. Já o corpo de prova imerso no recipiente contendo apenas o aditivo de arrefecimento (corpo de prova com fita rosa) começa a receber uma camada química protetiva originária do concentrado de arrefecimento.

No recipiente contendo a concentração de líquido de arrefecimento recomendada pelo fabricante (corpo de prova duas fitas rosas) a camada química protetiva se mostrou mais densa sobre a superfície do corpo de prova. Por final, o corpo de prova mergulhado no líquido de arrefecimento com a concentração não recomendada pelo fabricante é possível notar que uma camada química protetiva de

forma não regular se formou, porém essa camada não aderiu na superfície do material de forma consistente.

Figura 77: Estado dos corpos de prova passados 45 dias



Fonte: Autoria própria, 2019

Passados 45 dias, conforme é possível ver na imagem 77, os estados dos corpos de prova eram esses:

No recipiente que contém apenas água o corpo de prova (fita preta) continua em estado de oxidação que é notável pela coloração cada vez mais opaca da camada níquel do corpo. O corpo de prova (fita rosa) submerso no recipiente contendo apenas o aditivo de arrefecimento começa a perder a camada química protetiva adquirida nos primeiros dias de experiência.

O corpo de prova (duas fitas rosa) submetido a uma solução recomendada pelo fabricante também começa a perder a camada protetiva adquirida nos primeiros dias de experiência, porém o líquido de arrefecimento ainda apresenta uma coloração consistente e sem resíduos de material no recipiente. No entanto, o recipiente no qual a concentração de arrefecimento não é a recomendada pelo fabricante começa a decantar um material branco, que a princípio parece ser resultado da reação química do líquido de arrefecimento com a água que, só lembrando, não possui tratamento em relação à minerais visando simular, de forma mais fiel possível, a condição de emergência ao qual alguns condutores de veículos são expostos em determinadas situações de emergência.

Figura 78: Corpos de prova após 90 dias



Fonte: Autoria própria, 2019

A experiência se encerra aos 90 dias. E os resultados obtidos atenderam às expectativas esperadas, pois algumas variáveis como temperatura, a intensidade da troca de calor, tempo de operação de veículo, perda de pressão do sistema, circulação do líquido de arrefecimento, etc., não foram medidas, pois se trata de um experimento simples, o qual foi realizado em um ambiente que não representa um cofre de motor, com o único intuito de observar a evolução físico-química dos corpos de prova. Essas variáveis são de suma importância na eficiência do líquido de arrefecimento, porém algumas características importantes são notadas através das aparências dos corpos de prova e os resíduos encontrados nos recipientes.

Figura 79: Retirada dos corpos de prova dos recipientes



Fonte: Autoria própria, 2019

Na retirada dos corpos de prova dos recipientes e análise, foi verificado na amostra imersa em água sem qualquer tratamento resíduos metálicos e o corpo de prova havia perdido praticamente toda camada protetiva de níquel, como pode ser observado na figura 79. Já no recipiente que continha apenas o concentrado de arrefecimento o corpo de prova possuía uma fina camada protetiva, mas também era possível notar um estado inicial do processo de oxidação do material.

No recipiente contendo a concentração correta de arrefecimento a quantidade de material metálico decantado era muito pequena, podendo ser desconsiderada. No entanto, é possível notar uma mistura mais homogênea do líquido de arrefecimento e uma camada protetiva sobre o corpo de prova.

Por fim, o recipiente contendo a concentração não indicada pelo fabricante do concentrado arrefecedor apresentou, também, uma quantidade a ser desconsiderada de resíduos metálicos decantados, deduzindo-se que, apesar da não conformidade com os parâmetros do fabricante, o ambiente ao qual foi exposto o experimento não possuía condições adversas para aquela concentração do líquido de arrefecimento, que à esta altura do estudo, já é claro que a sua deterioração é em função das variações de temperatura de operação veículo.

14.3. Medições

Os corpos de prova utilizados nesse experimento foram submetidos a esterilização após a medição de seu diâmetro. A intenção na realização dessa tarefa é fazer um comparativo entre as medidas iniciais e finais dos corpos de prova e identificar mudanças físicas no material.

Foi utilizado para as medições um paquímetro de aço inox e escala de 150mm de abertura e precisão de 0,02mm.

As tabelas abaixo mostram as medidas antes e depois da finalização da experiência.

Tabela 25: Dados iniciais e finais do corpo de prova sem aditivo

Sem concentração no líquido de arrefecimento (água)			
Medidas iniciais		Medidas finais	
1º medição	6,00mm	1º medição	5,50mm
2º medição	6,00mm	2º medição	6,12mm
3º medição	6,00mm	3º medição	6,00mm

Fonte: Autoria própria

Tabela 26: Dados iniciais e finais corpo de prova mergulhado no aditivo

Sem água no líquido de arrefecimento (só aditivo)			
Medidas iniciais		Medidas finais	
1º medição	6,22mm	1º medição	6,32mm
2º medição	6,17mm	2º medição	6,22mm
3º medição	6,16mm	3º medição	6,00mm

Fonte: Autoria própria

Tabela 27: Dados iniciais e finais da amostra mergulhada na concentração de acordo com as especificações do fabricante

Concentração recomendada do líquido de arrefecimento			
Medidas iniciais		Medidas finais	
1º medição	6,21mm	1º medição	6,22mm
2º medição	6,20mm	2º medição	6,16mm
3º medição	6,16mm	3º medição	6,00mm

Fonte: Autoria própria

Tabela 28: Dados iniciais e finais da amostra mergulhada na concentração não recomendada pelo fabricante

Concentração fora do recomendado do líquido de arrefecimento			
Medidas iniciais		Medidas finais	
1º medição	5,55mm	1º medição	6,00mm
2º medição	6,0mm	2º medição	6,00mm
3º medição	6,16mm	3º medição	6,16mm

Fonte: Autoria própria

Após as medidas foi possível observar pequenas variações nos diâmetros dos corpos de prova, sejam elas pela formação da ferrugem na superfície dos corpos ou

pela perda de material. No entanto, detectou-se, também, que o instrumento de medição, apesar de útil em diversas outras situações, utilizado para as medidas não oferece um fundo de escala que garanta que as diferenças entre os diâmetros dos corpos de prova realmente ocorreram ou trata-se apenas da variação aceita em toda e qualquer medida. Porém, o aspecto visual dos corpos de prova pode ser considerado como um parâmetro aceitável, uma vez que, as evidências observadas vão de encontro com muitos fatos citados nesse trabalho.

15 CONCLUSÃO

Infelizmente não é possível a fabricação de uma máquina térmica perfeita, a qual irá transformar 100% da energia a ela fornecida em movimento mecânico, ou seja, perdas como atrito ou outras formas de calor não serão observadas. Assim sendo, a transferência de calor deverá ser o mais eficiente possível, pois a eficiência energética é extremamente dependente desta variável.

O líquido de arrefecimento que é o conjunto formado por: água desmineralizada e um pacote de aditivos de boa qualidade, é o principal agente condutor de calor. Porém, de nada irá adiantar se sua manipulação não atender as especificações indicadas no manual do proprietário do veículo, pois as diferentes concentrações atendem as características específicas de cada motor e sua área de atuação, motores de mesmas características técnicas podem trabalhar com concentrações de líquido de arrefecimento diferente que dependem da aplicação do veículo, clima, modo de condução, etc.

Os estudos acima vieram para enfatizar a necessidade dos cuidados que o proprietário de um veículo automotor deve oferecer ao seu bem, em especial destaca-se o cuidado com o sistema de arrefecimento do motor que, em muitos casos, é possível apenas atentando-se para a periodicidade e obediência dos parâmetros exigidos e integrados ao manual do proprietário.

A ação é simples e necessita de pouco tempo de dedicação, porém os estragos na parte mecânica são grandes em caso de negligenciamento e pode se agravar ainda mais quando o assunto é financeiro, pois reparos envolvendo itens afetados pelo arrefecimento de forma incorreta costumam ser bem dispendiosos.

16 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICA

Motores de combustão interna mecânica e sistemas de controle, SENAI CIMATEC (2007).

Heywood, J.B, **internal combustion engine fundamentals**, McGraw-Hill, Inc, 1988.

Chang, X.; Chiang, E.C, Johnson, J.H, Yang, S.L (1991). **The dimensionless correlation of air flow for vehicle engine cooling system**. SAE technical paper series, n.910643, p. 1-17.

Prado, Wesley Bolognesi, **Simulação do sistema de arrefecimento dos motores diesel em MTLAB-SIMULINK**, trabalho de tese de mestrado, escola de engenharia de São Carlos da universidade de São Paulo, 2005.

Iskandar, Marco Antonio. **Análise e projeto de um sistema de controle de arrefecimento de um motor diesel, visando a redução das emissões e consumo de combustível.**; Tese mestrado da faculdade de engenharia mecânica da universidade estadual de Campinas (2011).

Associação brasileira de normas técnicas. NBR 13.705; NBR 14.261; NBR 15.297; NBR 14.844.

Suzuki, T. **heat transfer in the internal combustion engines**. SAE technical paper n.2000-01-2785.

De souza, Eduardo Brando. **Análise e dimensionamento de um sistema de fluxo de ar em função da aplicação, soprante ou aspirante, de um motor de combustão interna.**; Tese do curso de conclusão de engenharia mecânica da universidade de caxias do sul (2015).

H.H.Pang.; **Potencial of a controllable engine cooling system to reduce Nox emissions in diesel engines**, SAE technical paper nº 2004-01-0054.

John R. wagner, Venkat Srinivasan and M Dawson, 2005. **Smart thermostat and coolant pump control for engine thermal management systems**, SAE technical paper nº 2003-01-0272.

Ribeiro, Eduardo, **Electric water pump for engine cooling**, SAE technical paper nº 2007-01-2785.

Suzuki, T, **heat transfer in the internal combustion engines**, SAE technical paper nº 2000-01-0300.

ALVARENGA, B.; ANTÔNIO, M. **Física**. Primeira. ed. São Paulo: Scipione, v. Único, 1997.

DAVID, H.; WALKER, J.; ROBERT, R. **Fundamentos da física**. Oitava. ed. Rio de Janeiro: LTC, v. 2, 2009.

DESCONHECIDO. **O livro do automóvel**. Lisboa-Portugal: Seleções do reader's digest, S.A.R.L, 1976.

ETHYLENE glycol. **Engineering tool box**, 2019. Disponível em: <https://www.engineeringtoolbox.com/ethylene-glycol-d_146.html>. Acesso em: 24 mar. 2019.

FATORES que alteram pressão de vapor de um líquido. **Mundo educação**. Disponível em: <<https://mundoeducacao.bol.uol.com.br/quimica/fatores-que-alteram-pressao-vapor-um-liquido.htm>>. Acesso em: 09 mar. 2019.

MAHLE METAL LEVE AFTERMARKET. Manuais técnicos. **Mahle Aftermarket**, 2016. Disponível em: <<https://www.mahle-aftermarket.com/media/local-media-latin-america/catalogs/manuais-tecnicos/2016-04-19-manual-curso-de-motores-2016.pdf>>. Acesso em: 09 set. 2018.


O que é calor específico? **Brasil escola**. Disponível em: <<https://brasilecola.uol.com.br/o-que-e/fisica/o-que-e-calor-especifico.htm>>. Acesso em: 09 mar. 2019.

TILLMANN, C. A. D. C. **Motores de combustão interna e seus sistemas**. Pelotas-RS: Rede e-Tec Brasil, 2013.

TURBO compressores entendendo seu funcionamento básico. **Flatout**, 2018. Disponível em: <<https://www.flatout.com.br/turbocompressores-entendendo-o-basico-sobre-seu-funcionamento/>>. Acesso em: 01 dez. 2018.

Apêndice

Apêndice 1: FMEA do turbo compressor

		FMEA para plano de manutenção											
Nº FMEA:		Revisão Nº:		Data Início:		Responsável:							
Processo:		Área:		Sistema:						Revisado por:			
Equipe:													
Ponto de falha		Análise de falhas				Avaliação de risco				Ação preventiva recomendada			
Equipamento	Função equipamento	Componente	Modos de falha	Efeito falha	Causa da falha	ocorrência	Severidade	detecção	RPN				
Turbo compressor	Fornecer uma maior capacidade massica de ar para o motor	Compressor e turbina	Quebra das pás	Cavitação, Perda de lubrificação, deterioração dos anéis de vedação, perda de eficiência energética; travamento motor	Concentração do líquido de arrefecimento do motor fora do especificado.	6	9	1	54	A ação preventiva recomendada, em todos os casos, não pode ser outra a não ser, a verificação periódica do líquido de arrefecimento do motor recomendada pelo manual do fabricante.			
			Ruído										
			Vazamento										
			Aumento temperatura										
		Eixo rotor	Aumento temperatura	Perda de eficiência mecânica, carbonização; subpressão do sistema.	Concentração do líquido de arrefecimento do motor fora do especificado.	5	9	1	45				
			Ruído										
			Usinagem/fundir										
		Mancais	Aumento temperatura	Perda de eficiência mecânica, travamento mecânico; perda da eficiência energética.	Concentração do líquido de arrefecimento do motor fora do especificado.	6	10	1	60				
			Ruído										
Usinagem/fundir													

Apêndice 2: FMEA da bomba d'água

Fatec Santo André		FMEA para plano de manutenção													
Nº FMEA:			Revisão Nº:			Data Início:		Responsável:							
Processo:			Área:			Sistema:						Revisado por:			
Equipe:															
Ponto de falha			Análise de falhas			Avaliação de risco				Ação preventiva recomendada					
Equipamento	Função equipamento	Componente	Modos de falha	Efeito falha	Causa da falha	ocorrência	Severidade	deteção	RPN						
Bomba d'água do sistema de resfriamento do motor	Manter o bombeamento constante de líquido de arrefecimento através do motor	Rolamento	Superaquecimento	Travamento da bomba d'água, quebra da correia do motor	Impurezas sólidas, ataque químico	1	10	5	50	A ação preventiva recomendada, em todos os casos, não pode ser outra a não ser, a verificação periódica do líquido de arrefecimento do motor recomendada pelo manual do fabricante e a verificação de barulhos anormais ao sistema de funcionamento da bomba d'água.					
			Ruído												
			Perda de lubrificação												
		Rotor	Quebra das pás	Superaquecimento do sistema de arrefecimento	variação da pressão do sistema	2	6	4	48						
			Cavitação												
		Guarnição/vedação	Vazamento de água	Superaquecimento do sistema de arrefecimento	Concentração do líquido de arrefecimento errado	1	6	2	12						
Selo	Vazamento	Superaquecimento do sistema de arrefecimento	Concentração de líquido de arrefecimento errado	1	5	2	10								
	Perda de pressão														
	Aumento temperatura														

Apêndice 3: FMEA do compressor de ar dos sistemas pneumáticos

Fatec Santo André		FMEA para plano de manutenção								
Nº FMEA:			Revisão Nº:		Data Início:		Responsável:			
Processo:			Área:		Sistema:		Revisado por:			
Equipe:										
Ponto de falha			Análise de falhas			Avaliação de risco				Ação preventiva recomendada
Equipamento	Função equipamento	Componente	Modos de falha	Efeito falha	Causa da falha	ocorrência	Severidade	detecção	RPN	
Compressor ar sistema pneumáticos	Fornecer ar comprimido para os sistemas pneumáticos	Virabrequim	Superaquecimento	Travamento do compressor	Concentração do líquido de arrefecimento do motor fora do especificado.	3	10	1	30	A ação preventiva recomendada, em todos os casos, não pode ser outra a não ser, a verificação periódica do líquido de arrefecimento do motor recomendada pelo manual do fabricante.
			Ruído							
			Perda de lubrificação							
		cabeçote	Carbonização	Perda de eficiência na compressão do ar, deterioração das juntas de vedação, carbonização; comunicação dos dutos de óleo e água.	Concentração do líquido de arrefecimento do motor fora do especificado.	5	6	4	120	
			Cavitação							
			Vazamento de ar							
			Vazamento de óleo							
		Bloco	Aumento temperatura	Perda de eficiência de compressão, deterioração dos anéis de vedação, travamento mecânico, carbonização; contaminação do sistema.	Concentração do líquido de arrefecimento do motor fora do especificado.	3	5	5	75	
			Vazamento							
Perda do brunimento no cilindro										

Apêndice 4:FMEA do líquido de arrefecimento do motor

Fatec Santo André		FMEA para plano de manutenção								
N° FMEA:			Revisão N°:		Data Início:		Responsável:			
Processo:			Área:		Sistema:					
Equipe:							Revisado por:			
Ponto de falha			Análise de falhas			Avaliação de risco				Ação preventiva recomendada
Equipamento	Função do equipamento	Componente	Modos de falha	Efeito falha	Causa da falha	ocorrência	Severidade	detecção	RPN	
Líquido de arrefecimento do motor	Manter a temperatura do motor ideal para os regimes de funcionamento do motor	Motor do veículo	Bolhas no sistema	Cavitação, perda de lubrificação, perda de eficiência energética; travamento motor	Concentração do líquido de arrefecimento do motor fora do especificado.	6	8	2	96	A ação preventiva recomendada, em todos os casos, não pode ser outra a não ser, a verificação periódica do líquido de arrefecimento do motor recomendada pelo manual do fabricante.
			Ruído							
			Vazamento							
			Aumento temperatura							
		Compressor de ar	Aumento temperatura	Perda de eficiência mecânica, deterioração dos anéis de vedação, carbonização; subpressão do sistema.	Concentração do líquido de arrefecimento do motor fora do especificado.	5	8	1	40	
			Ruído							
			Vazamento							
		Turbo compressor	Aumento temperatura	Perda de eficiência mecânica, deterioração dos anéis de vedação, travamento mecânico; perda da eficiência energética.	Concentração do líquido de arrefecimento do motor fora do especificado.	6	8	1	48	
			Vazamento							