

N. CLASS.	M 620.1
CUTTER	P399a
ANO/EDIÇÃO	2015

**CENTRO UNIVERSITÁRIO DO SUL DE MINAS UNIS**  
**ENGENHARIA MECÂNICA**  
**MARIANE OLIVEIRA PENHA**

**AVALIAÇÃO DA RESISTÊNCIA MECÂNICA DO PARAFUSO TARANTO B280600**  
**UTILIZADOS EM MÁQUINAS TÉRMICAS DO CICLO OTTO ATRAVÉS DO**  
**ENSAIO DE TRAÇÃO**

**Varginha**  
**2015**

**MARIANE OLIVEIRA PENHA**

**AVALIAÇÃO DA RESISTÊNCIA MECÂNICA DO PARAFUSO TARANTO B280600  
UTILIZADOS EM MÁQUINAS TÉRMICAS DO CICLO OTTO ATRAVÉS DO  
ENSAIO DE TRAÇÃO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia Mecânica do Centro Universitário do Sul de Minas – Unis/MG, como pré-requisito para obtenção do grau de bacharel sob orientação do Prof. Me. Luiz Carlos Vieira Guedes.

**Varginha**

**2015**

MARIANE OLIVEIRA PENHA

**AVALIAÇÃO DA RESISTÊNCIA MECÂNICA DO PARAFUSO TARANTO B280600  
UTILIZADOS EM MÁQUINAS TÉRMICAS DO CICLO OTTO ATRAVÉS DO  
ENSAIO DE TRAÇÃO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso Engenharia Mecânica do Centro Universitário do Sul de Minas – Unis/MG, como pré-requisito para obtenção do grau de bacharel pela Banca Examinadora composta pelos membros:

Aprovado em     /     /

---

Prof. Me. Luiz Carlos Vieira Guedes

---

Prof. Mário Ribeiro Duarte

---

Sra. Patrícia Perini

OBS.:

## **Dedicatória**

Dedico este trabalho a todos os professores do UNIS que não mediram esforços para nos passar o conhecimento necessário para sua realização.

## **Agradecimento**

Agradeço primeiramente a Deus por ter me dado sabedoria e fé, a minha família que sempre me deu força para manter-me firme em meus estudos, aos meus colegas, professores, e ao professor Guedes pela contribuição na construção deste trabalho.

## **Resumo**

Este trabalho tem por objetivo expor os resultados de teste de tração em três parafusos aplicados em cabeçotes de motores de ciclo Otto expostos a diferentes situações de torque. A curiosidade sobre a questão se iniciou com a instrução de substituição a cada manutenção de tais parafusos, por parte das fabricantes, que justificaram a necessidade por haver mudanças nos valores de resistência de uma situação para o outra após o torque. O parafuso utilizado é da marca Taranto, bem avaliada e requisitada por profissionais da área de manutenção automotiva e o modelo em estudo é o B280600 instalados em motores 1.8 litro da General Motors, cujo bloco é universal (utilizado por outras marcas). O teste de tração foi escolhido por mostrar de maneira simples e objetiva as diferenças buscadas. O ensaio foi realizado no laboratório do Unis sob orientação do responsável do mesmo, Fabiano Farias de Oliveira.

### **Abstract**

This study has as objective the exposing the results in three screws applied in cylinder head in Otto cycle exposed to different situations torque. The curiosity about the question began with the replacement of instruction each maintenance of such screws, by the manufacturers, that justified the need by having changes in resistance values from a situation to the other after torque. The screw used is of Taranto mark, well evaluated and requested by professional automotive maintenance area and the model under study is the B280600 installed in engines 1.8 liter from General Motors, whose block is universal (used by others marks). The traction test was chosen for showing a simple and objective way the sought differences. The test was accomplished in the laboratory of Unis under the orientation of responsible of same, Fabiano Farias de Oliveira.



## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>10</b>
<b>2</b>	<b>MOTOR DE COMBUSTÃO INTERNA CICLO OTTO 4 TEMPOS.....</b>	<b>12</b>
<b>2.1</b>	<b>Conceitos operacionais.....</b>	<b>14</b>
2.1.1	Classificação dos motores.....	14
<b>2.2</b>	<b>Sistema de lubrificação.....</b>	<b>17</b>
<b>2.3</b>	<b>Sistema de arrefecimento.....</b>	<b>18</b>
<b>2.4</b>	<b>Manutenção preventiva relativa a motor.....</b>	<b>18</b>
2.4.1	Processo de manutenção corretiva em um motor.....	19
<b>3</b>	<b>AÇO 4140.....</b>	<b>21</b>
<b>4</b>	<b>PARAFUSOS.....</b>	<b>23</b>
<b>4.1</b>	<b>Como surgiu o parafuso.....</b>	<b>23</b>
<b>4.2</b>	<b>Características gerais.....</b>	<b>24</b>
4.2.1	Classificação pelo uso pretendido.....	24
4.2.2	Classificação pelo tipo de rosca.....	24
4.2.3	Classificação pelo estilo de cabeça.....	25
<b>4.3</b>	<b>Resistência de parafusos de máquinas.....</b>	<b>25</b>
<b>4.4</b>	<b>Métodos de aperto.....</b>	<b>27</b>
4.4.1	Aperto sem controle.....	27
4.4.2	Aperto controlado.....	27
<b>4.5</b>	<b>Torque de aperto.....</b>	<b>28</b>
4.5.1	Como o torque é medido?.....	28
4.5.2	Tensões induzidas em um parafuso.....	29
<b>4.6</b>	<b>Torques de aperto com controle de ângulo de giro.....</b>	<b>29</b>
<b>4.7</b>	<b>Comportamento dos parafusos.....</b>	<b>30</b>
<b>5</b>	<b>ENSAIO DE TRAÇÃO.....</b>	<b>32</b>
<b>5.1</b>	<b>O que é e como é medida a tensão de tração.....</b>	<b>33</b>
<b>5.2</b>	<b>Corpos de prova.....</b>	<b>33</b>
<b>5.3</b>	<b>Máquina de ensaio de tração.....</b>	<b>34</b>
<b>5.4</b>	<b>Componentes a serem observados no ensaio de tração.....</b>	<b>35</b>



5.4.1	Região de comportamento elástico.....	35
5.4.2	Região de deslizamento de discordâncias.....	35
5.4.3	Região de encruamento uniforme.....	36
5.4.4	Região de encruamento não uniforme.....	36
5.4.5	Limites de escoamento, resistência e ruptura.....	36
<b>5.5</b>	<b>Tipos de fratura.....</b>	<b>36</b>
<b>6</b>	<b>METODOLOGIA DE ESTUDO E ENSAIO.....</b>	<b>39</b>
<b>7</b>	<b>DISCUSSÃO DE RESULTADOS.....</b>	<b>45</b>
	<b>CONCLUSÃO.....</b>	<b>48</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>49</b>

## 1 Introdução

O tema deste estudo é a avaliação da resistência mecânica de parafusos de cabeçote do motor 1.8 litros da General Motors sob a ótica do ensaio de tração. A dúvida gerada acerca do assunto foi: “existe diferença entre os resultados de força máxima e força de ruptura entre dois parafusos que sofreram torque uma e outro duas vezes e também entre um terceiro que não sofreu torque algum?”.

Nossas hipóteses giram em torno de duas situações bem simples, a primeira é de que há mesmo uma diferença nos resultados e o material do parafuso sofreu influência com a força aplicada no torque. A segunda é que não houve diferenças e o sistema não foi afetado. Para que este teste fosse fiel foi necessário que as instruções no que diz respeito ao aperto desses parafusos fosse obedecida, desde o valor correto de torque e metodologia até a sequência de aperto.

O estudo inclui uma explanação sobre motores de ciclo Otto quatro tempos que é o ambiente onde estes parafusos trabalham habitualmente e para onde foram projetados. Sabendo disso é possível entender como a forma de funcionamento do motor afeta na construção e operação dos parafusos. Para se ter uma idéia, o sistema submete o parafuso no tempo de compressão a um esforço uniaxial (em escala diferente, é claro do ensaio de tração).

Como nosso parafuso de teste é construído a partir do aço 4140, é importante apresentar as principais características desse aço, fazendo uma breve comparação com o próprio aço, mas com os tratamentos que foram necessários para as características que a peça necessita apresentar. É justo também o trabalho apresentar uma explicação sobre o que é um parafuso e especificamente definir como é o modelo que estaremos utilizando.

De um modo geral demonstramos importantes características de um sistema de parafusos dando uma grande atenção ao torque de aperto dos mesmos que no nosso caso deve ser bem executado para que os resultados sejam justos.

O ensaio escolhido foi o de tração pela simplicidade e objetividade que os resultados conseguidos apresentam. Relembramos suas características, métodos e resultados possíveis e a serem considerados. Tudo isso foi seguido de uma metodologia específica para a situação explicada de maneira objetiva para que fosse bem entendido o porque do cuidado que tivemos com relação ao processo.

Tudo o que foi descrito nos rendeu resultados dos quais foram feitas discussões para que se chegasse a uma resposta. Deve ser observado que este teste sozinho não é o único em

sozinho não é o único em uma avaliação dessa natureza mas é o mais claro e simples para demonstrar o objetivo da análise.



## 2 MOTOR DE COMBUSTÃO INTERNA CICLO OTTO 4 TEMPOS

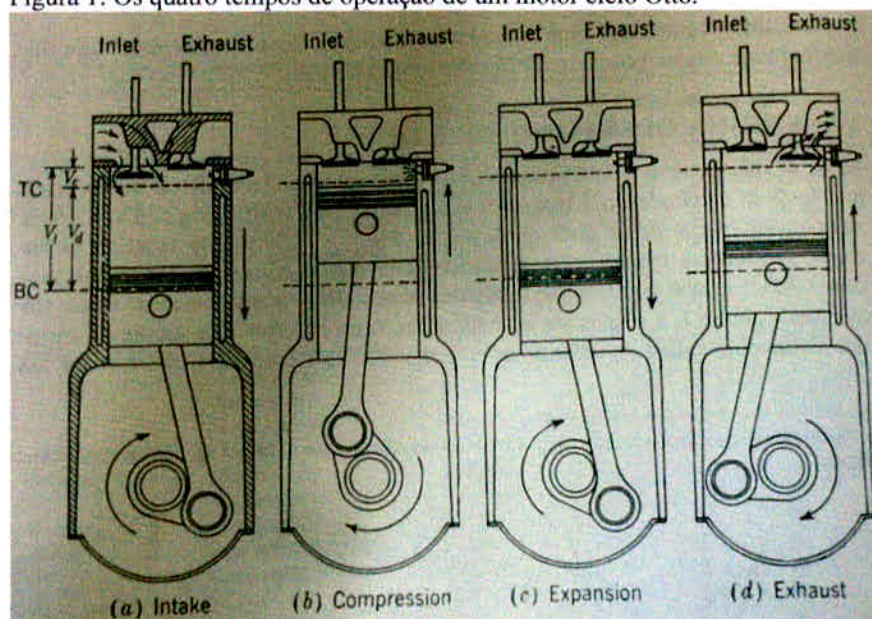
A proposta de um motor de combustão interna é a produção de energia mecânica de rotação através de energia química contida na reação que ocorre entre o combustível, o ar (oxigênio + nitrogênio) e a centelha, neste caso produzida por uma vela de ignição. Diferente do motor de combustão externa, esta queima ocorre dentro de cilindros fechados. A média de rendimento mais comum gira em torno de 40%, e óbvio, dificilmente esse rendimento melhora, pois ainda se tem muitas perdas (HEYWOOD, 1988).

Mas ainda sim utilizamos esses motores uma vez que mesmo com um rendimento como esse, para o uso que fazemos atualmente ele nos atende bem. E seu desenvolvimento não está parado, sempre há melhorias a se fazer e é o objetivo de todos os fabricantes. Sua aplicação atinge, desde a indústria automobilística até a geração de energia elétrica.

Os 4 tempos representam as fases de funcionamento do mesmo: admissão (entrada de ar e combustível no cilindro), compressão (compressão da mistura na câmara de combustão), combustão (pouco antes a centelha da vela é liberada, somando-se à alta pressão e calor causados pela compressão, a mistura entra em combustão) e por final a fase de escape (liberação dos gases formados pela combustão).

O sistema utiliza a pressão resultante da combustão da mistura para acelerar o movimento dos pistões. O movimento dos pistões é alternativo (PMS – Ponto Morto Superior – movimento ascendente até o PMI – Ponto Morto Inferior – movimento descendente).

Figura 1: Os quatro tempos de operação de um motor ciclo Otto.



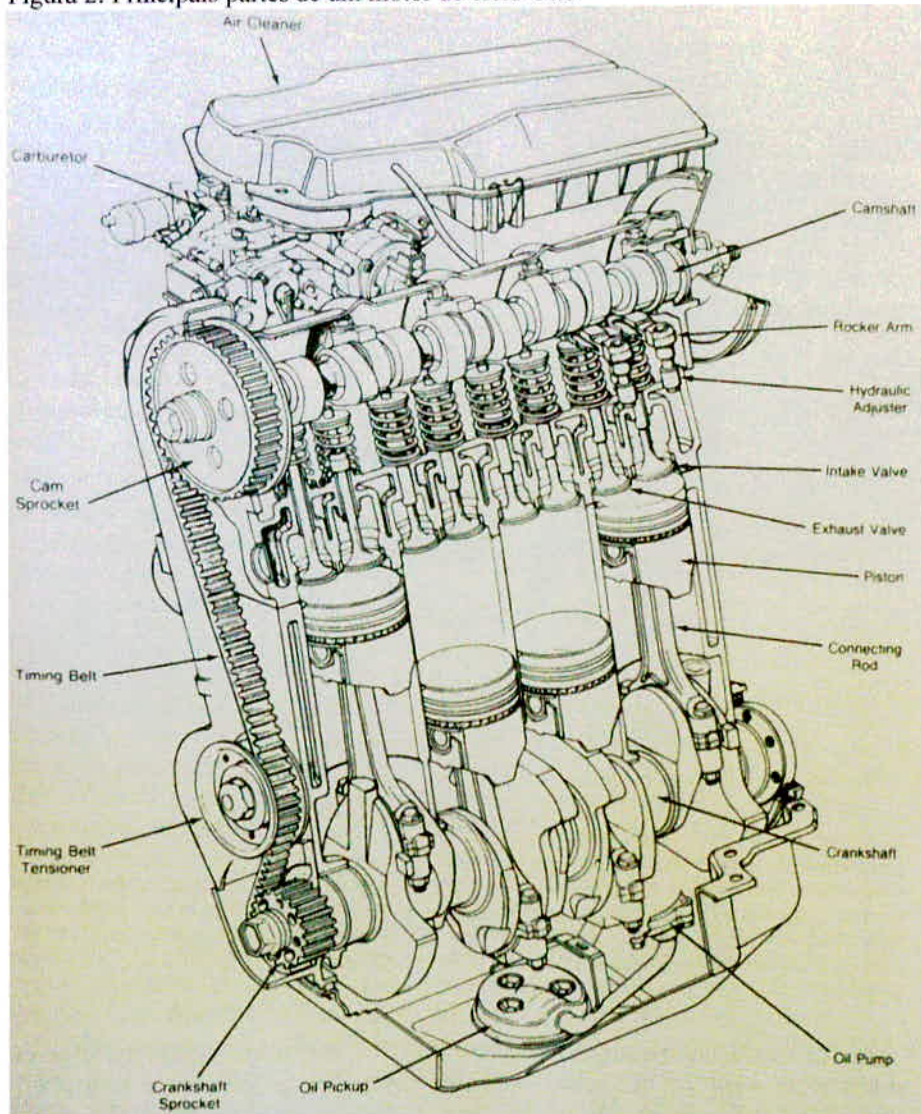
Fonte: Heywood, 1988.



O sistema ganha o nome de Ciclo Otto após seu inventor, Nicolaus Otto, construir o primeiro motor que operava com esses princípios em 1876. Um motor de 4 tempos, precisa de duas voltas no virabrequim para completar um ciclo completo como o descrito anteriormente. Falando de uma maneira geral, são muitos componentes necessários para executar esse trabalho.

O tipo de sistema a ser utilizado na alimentação varia desde o simples carburador, em que a mistura era feita de maneira mais mecânica até sistemas de injeção eletrônica de combustível que através de leituras de sensores, a central consegue mandar que atuadores executem a correção para melhores condições de consumo, dirigibilidade e principalmente emissões de poluentes.

Figura 2: Principais partes de um motor de ciclo Otto.



Fonte: Heywood, 1988.

Os pistões são construídos em alumínio podendo modificar seu material em função das exigências a que são impostos. Já o virabrequim pode ser forjado ou fundido, dependendo das condições de funcionamento. Um motor possui também subsistemas para auxiliar no seu trabalho como os sistemas de lubrificação e arrefecimento, que cuidam da conservação das peças em contato e a refrigeração do calor causado pelo atrito, respectivamente.

Para atender às mais variadas necessidades do atual estado de desenvolvimento tecnológico, os fabricantes constroem motores de todos os tipos. Assim, encontram-se motores movidos a gás, gasolina, óleo diesel, querosene, álcool ou com outras misturas dos vários combustíveis existentes. Para o motor em questão, por enquanto aplicam-se o gás, gasolina e o álcool. Se o sistema de injeção for do tipo FLEX, utilizamos ainda o álcool e a gasolina misturados em qualquer proporção, pois o sistema consegue ler e interpretar o que acontece com o sistema naquela hora.

## **2.1 Conceitos operacionais**

Os motores de combustão interna são a fonte mais utilizada em veículos automotores. Na formação interna da mistura ar/combustível, o combustível é injetado na câmara de combustão. Quanto mais tarde ocorrer a formação da mistura, mais a mistura ar/combustível será heterogênea, no momento em que a combustão for iniciada. Esse projeto então se baseia em uma centelha elétrica ou vela de ignição para iniciar a mistura.

### **2.1.1 Classificação dos motores**

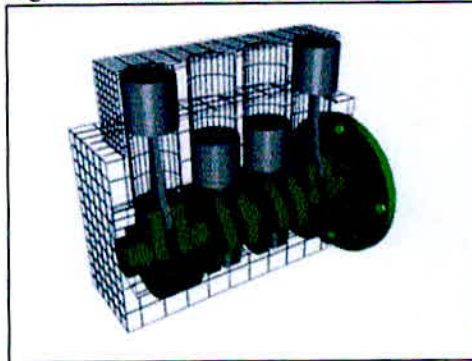
Os motores de combustão interna, de uma maneira geral, devem obedecer à algumas classificações.

- Disposição dos cilindros:

A- Motores em linha: mais aplicado, construção e manutenção mais simples.



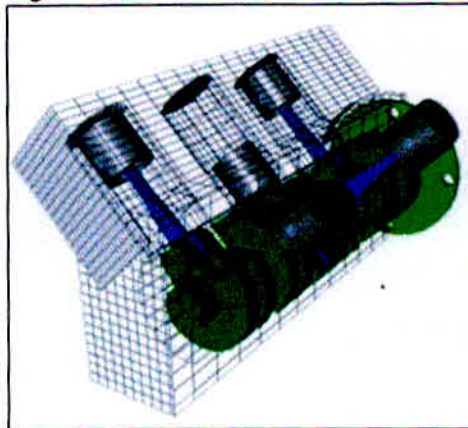
Figura 3: Motor em linha.



Fonte: FIAT, 2009.

B- Motor em "V": aplicado em sistemas onde se deseja maior desempenho.

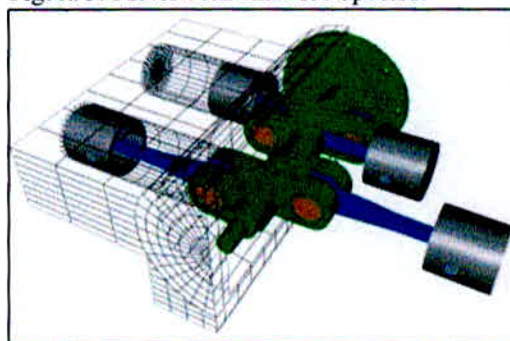
Figura 4: Motor em "V".



Fonte: FIAT, 2009.

C- Motor boxer: aplicado em veículos das marcas Volkswagen, Porsche e Subaru, por exemplo.

Figura 5: Motor com cilindros opostos.



Fonte: FIAT, 2009.

D- Motor radial: aplicado na aeronáutica.

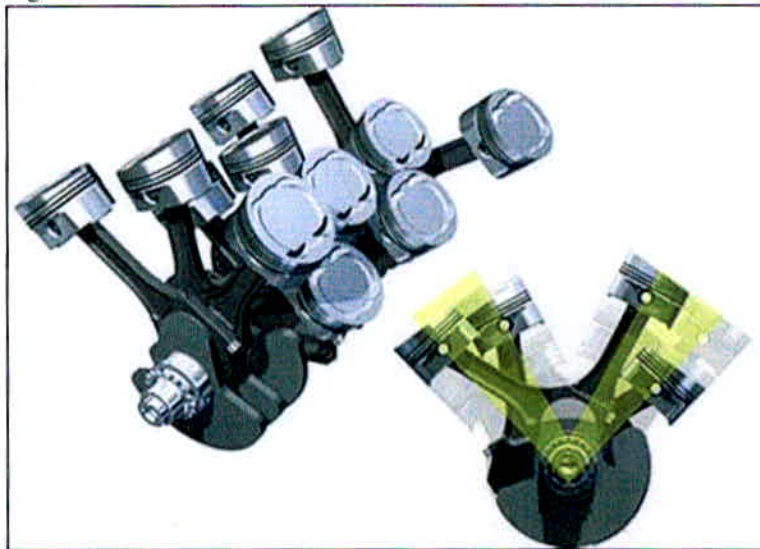
Figura 6: Motor radial.



Fonte: FIAT, 2009.

E- Motor "W": utilizado no Bugatti Veyron, um dos veículos mais rápidos do mundo.

Figura 7: Motor em "W".



Fonte: FIAT, 2009.

- Quantidade de cilindros: podem ter 1, 2, 3, 4, 5, 6, 8,10,12.
- Aplicação: automóveis, caminhões, locomotivas, aviões, navios, geração de energia.
- Ciclo de trabalho: Otto 4 tempos e 2 tempos, Diesel.
- Combustível utilizado.
- Método de ignição: por centelha ou ignição espontânea.
- Forma de arrefecimento: ar ou líquido.

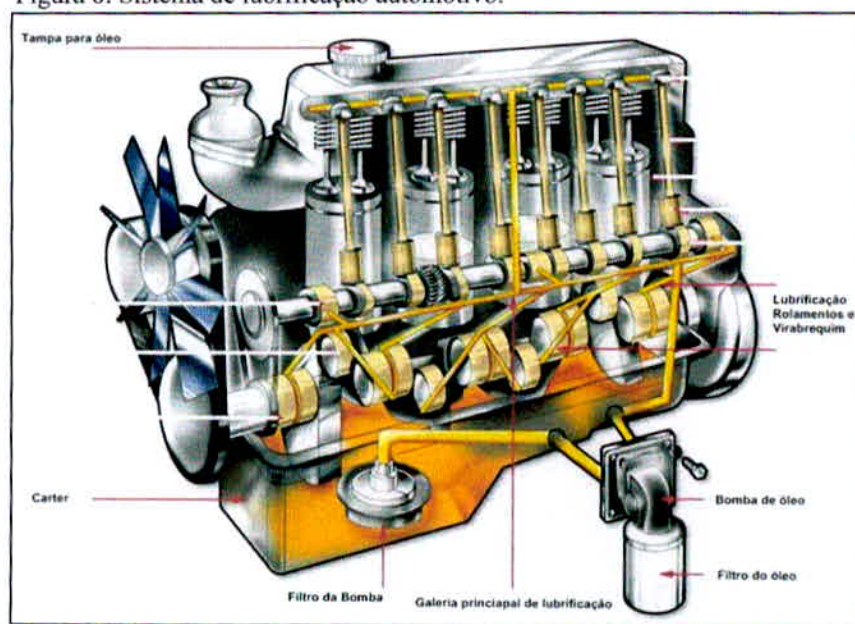
## 2.2 Sistema de lubrificação

O sistema de lubrificação é responsável por formar uma película de proteção entre duas superfícies que estão em atrito constante, o que no motor é muito comum. Esse óleo possui uma classificação específica que irá variar em função do trabalho. Sistemas que trabalham em regiões quentes e regiões frias possuem diferenças em sua composição para que possam trabalhar melhor e sem perda de eficiência. Essa perda de eficiência se deve a modificação da viscosidade do óleo se for muito alta, o óleo não consegue penetrar algumas folgas, se for muito baixa, a película é ineficiente. Sendo assim cada motor possui um projeto específico e uma das considerações é com relação à lubrificação.

O caminho do óleo se inicia no cárter, que é o componente responsável por reservar o óleo na quantidade específica do motor. Existe um pescador que puxa através da bomba de óleo para as canaletas e galerias que o conduzirão até as regiões que necessitam mais de lubrificação. A lubrificação com alimentação forçada e a por salpicos de óleo, são as mais utilizadas na lubrificação de motores de automóveis (BOSCH, 2005).

Esse óleo que é forçado passa por um filtro, que é responsável pela retirada de impurezas do mesmo, principalmente sólidos, provenientes do desgaste dos materiais. A vida útil do motor pode ser prolongada drasticamente se o óleo do sistema for mantido limpo. Isso é feito respeitando-se os intervalos de substituição dados pela montadora.

Figura 8: Sistema de lubrificação automotivo.



Fonte: FIAT, 2009.



## 2.3 Sistema de arrefecimento

O sistema de arrefecimento é responsável por refrigerar o motor, pois em condições de superaquecimento, o sistema entra em colapso. Esse colapso pode provocar a parada do motor. Existem basicamente dois tipos de sistema de arrefecimento: o por líquido e por ar.

O sistema de arrefecimento a ar funciona com o ar sendo direcionado por pressão dinâmica e/ou um ventilador em torno das paredes externas com aletas do forro do cilindro. O nível de emissão de ruído e a ineficiência para manter temperaturas consistentes do motor são considerados como desvantagens, comparando-se com os motores de arrefecimento por líquido. (BOSCH, 2005). Esse sistema já foi mais utilizado, agora a produção para automóveis é exclusiva por líquido. Um dos veículos que utiliza esse sistema é o Fusca; motocicletas de baixa cilindrada também estão nesse grupo.

O sistema de arrefecimento por líquido possui muitas vantagens em relação ao sistema a ar, e a principal é o fato de ele não depender da temperatura externa para manter seu bom funcionamento. Ele trabalha em um ciclo contínuo, mantido por uma peça chamada bomba d' água. Utiliza no lugar da água pura uma mistura de água desmineralizada e um aditivo que contém anticongelante e inibidores de corrosão. Existe também um elevador do ponto de ebulição, para que o sistema se garanta pelo menos até aproximadamente 120°C.

Basicamente funciona da seguinte forma: a bomba d' água acompanha a rotação do motor com o auxílio da correia de distribuição, assim mantém o sistema sob pressão e o líquido circulando. Esse líquido é mandado para o motor para retirada do calor presente nele, através de uma mangueira ele é enviado ao radiador que pela sua localização e construção executa a troca de calor com o ar que passa por ele devolvendo assim um líquido em baixa temperatura, sendo esse ciclo repetitivo enquanto o motor estiver funcionando.

O sistema conta com o auxílio de um componente que facilita o seu funcionamento: a válvula termostática. Essa válvula garante que, por exemplo, de manhã com o motor frio, o mesmo entre em sua temperatura ideal de funcionamento mais rápido. Isso porque ela se fecha e bloqueia a circulação do líquido até que o motor esteja em condições ideais de temperatura, quando ela irá se abrir.

## 2.4 Manutenção preventiva relativa a motor

No projeto de um motor, os engenheiros consideram também os procedimentos necessários para a manutenção, garantindo maior vida útil ao motor. A manutenção indicada

por todas as montadoras é a preventiva; nesse tipo de manutenção a substituição das peças ocorre antes que entre em colapso, isto é, não se espera que elas se danifiquem para serem substituídas.

Na manutenção do motor, em específico, observa-se tanto seus subsistemas quanto ele próprio. Se a manutenção é preventiva, é feita a principalmente a troca de óleo e o filtro. Quando por algum motivo, existe um problema maior ao ponto de se extrair o motor para desmontagem, o procedimento de manutenção é mais criterioso.

#### 2.4.1 Processo de manutenção corretiva em um motor

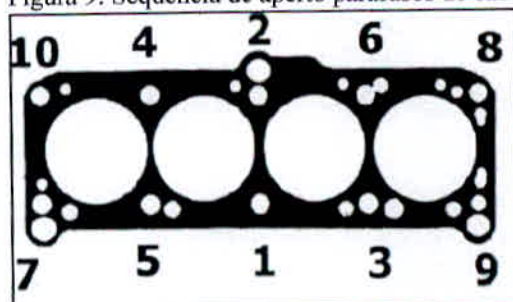
Para começar, é feito um esgotamento geral dos líquidos que funcionam integrados ao sistema: óleo do motor, líquido de arrefecimento e por precaução o óleo do câmbio também, a fim de evitar vazamentos. É importante que nenhum desses líquidos seja reaproveitado quando a montagem se iniciar, pois em contato com o recipiente de coleta já sofreram contaminação.

Iniciamos então a fase de extração, em que o motor é retirado do veículo e é montado em um cavalete próprio. Após esse processo, temos condição de desmontar o motor, começando pelos agregados, que são os acessórios do motor, seguimos para o cabeçote, cárter e por fim o bloco.

Existe uma observação muito importante no que se trata da desmontagem do cabeçote. Os parafusos utilizados nessa parte são exclusivos para trabalho em máquinas térmicas. Portanto, sofrem uma pré-carga, e logo após entram na fase de aperto angular, as séries variam de três a cinco apertos. Também há um sentido específico de aperto e desaperto, sendo que este último, o desaperto, é feito gradativamente.

Em média, os cabeçotes apresentam dez parafusos, e há uma sequência para aperto e uma para desaperto.

Figura 9: Sequência de aperto parafusos de cabeçote.



Fonte: FIAT, 2014.

Para o desaperto, segue – se a ordem inversa da descrita na imagem anterior, tomando, se o cuidado de desapertar gradativamente. É recomendável a substituição desses parafusos a cada manutenção.



### 3 AÇO 4140

O aço 4140 tem como características ser utilizado para beneficiamento e possuir alto grau de temperabilidade, má soldabilidade e usinabilidade razoável. Mas também é resistente a torção e a fadiga. É utilizado em peças que necessitam de elevada dureza, resistência e tenacidade. Portanto é muito utilizado em automóveis, aviões, virabrequins, bielas, eixos, engrenagens, armas, parafusos, equipamentos para a indústria petroleira, entre outros (GERDAU, 2003).

A utilização estudada nesta pesquisa será em parafusos elásticos, aplicados pela indústria automotiva em parafusos de cabeçotes de motores de combustão interna de ciclo Otto. Para esse tipo de uso em específico o aço 4140 precisou passar por diversos tipos de tratamento para complementar características que sozinhas não conseguiriam atender ao propósito.

Logicamente as características necessárias foram pensadas em função da forma como funciona o motor. Pelo calor, compressões que geram nos parafusos esforços parecidos com o de tração, em menor escala, é claro. Durante o processo de produção dos parafusos em questão, pode-se constatar que nosso aço 4140 passou por processos como estampagem a frio, rosqueamento por conformação, também foi temperado e revenido. Foi granalhado e teve aplicação de revestimento anti-corrosivo a base de zinco e alumínio.

Cada etapa modificou o aço 4140 na intenção de melhorar suas características e assim obter o produto perfeito. Comparando em uma tabela os valores normatizados para ele e os valores do aço tratado para construção dos parafusos obtêm-se o seguinte:

Tabela 1: Comparativo 4140 e 4140 do parafuso.

	Limite de resistência a tração (N/mm <sup>2</sup> )	Limite de escoamento (N/mm <sup>2</sup> )
<b>Aço 4140 sem tratamento</b>	1.020 N/mm <sup>2</sup>	655 N/mm <sup>2</sup>
<b>Aço 4140 do parafuso</b>	1.040 N/mm <sup>2</sup>	936 N/mm <sup>2</sup>

Fonte: Autor.

A partir da mudança dos valores, podemos notar que os tratamentos aplicados fazem a diferença no que diz respeito às propriedades adquiridas. Pelo sistema de codificação AISI/SAE, o prefixo 41xx indica o aço do tipo cromo-molibdênio com 0,50% ou 0,90% de Cr

e 0,12% ou 0,20% de Mo. De acordo com tabela a seguir esses dois componentes trazem características especiais para o aço em questão.

Figura 10: Efeitos dos elementos nas ligas.

ELEMENTOS DE LIGA	PROPRIEDADES MECÂNICAS										PROP. MAGNÉTICAS											
	DUREZA	RESIST. A TRAÇÃO	LIMITE DE ESCOAMENTO	ALONGAMENTO	ESTRICÇÃO	RESIST. AO IMPACTO	ELASTICIDADE	RES. MEC. A QUENTE	TEMPERABILIDADE	SOLDABILIDADE	FORMAÇÃO DE CARBONETOS	RESIS. AO DESGASTE	FORJABILIDADE	USINABILIDADE	OXIDAÇÃO SUPERFICIAL	RESISTÊNCIA A CORROSAO	NITREABILIDADE	HISTERESE	PERMEABILIDADE	COERCITIVIDADE	MAGNETISMO REMANESCENTE	PERDA NO FERRO (WATT)
Silício	↑	↑	↑↑	↓	-	↑	↑↑↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	-	↑↑	↑↑	↑↑	-	-	↑↑
Manganês em Aços Perlíticos	↑	↑	↑	-	-	-	-	-	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	-	-	-	-	-	-	-
Manganês em Aços Austeníticos	↑↑↑	↑	↑↑↑	-	-	-	-	-	↑↑	↑	-	-	↑↑↑↑↑	↑↑	↑↑	-	-	-	-	-	-	-
Cromo	↑↑	↑↑	↑↑	↓	↓	↑	↑	↑	↑↑↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑↑↑↑↑	↑↑	↑	↑	↑	↑	-
Níquel em Aços Perlíticos	↑	↑	↑	-	-	-	-	-	↑↑	↑	-	↑↑	↑↑	↑↑	↑	-	-	-	-	-	-	-
Níquel em Aços Austeníticos	↑↑	↑	↑↑↑	↑↑	↑↑↑	-	↑↑↑	↑↑	↑↑	-	-	↑↑↑↑↑	↑↑	↑↑	↑↑	-	-	-	-	-	-	-
Alumínio	-	-	-	↓	↓	-	-	-	-	↓	-	-	↑↑	↑↑	↑↑	↑↑	-	-	-	-	-	-
Tungstênio	↑	↑	↑	↓	↓	-	↑↑↑	↑↑	↑↑	↑↑	↑↑↑	↑↑	↑↑	↑↑	↑↑	↑↑	-	-	-	-	-	-
Vanádio	↑	↑	↑	-	-	↑	↑↑	↑↑	↑↑	↑↑	↑↑	↑↑	↑↑	↑↑	↑↑	↑↑	-	-	-	-	-	-
Cobalto	↑	↑	↑	↓	↓	-	↑↑	↑↑	↑↑	-	↑↑	↑↑	↑↑	↑↑	↑↑	-	-	-	-	-	-	-
Molibdênio	↑	↑	↑	↓	↓	-	↑↑	↑↑	↑↑	↑↑	↑↑	↑↑	↑↑	↑↑	↑↑	↑↑	-	-	-	-	-	-
Cobre	↑	↑	↑↑	-	-	-	-	-	-	-	-	-	↑↑↑	↑↑	↑↑	-	-	-	-	-	-	-
Enxofre	-	-	-	↓	↓	-	-	-	-	-	-	-	↑↑↑↑↑	↑↑	↑↑	↑↑	-	-	-	-	-	-
Fósforo	↑	↑	↑	↓	↓	↑↑↑	-	-	-	-	-	-	↑↑	↑↑	↑↑	↑↑	-	-	-	-	-	-

Aumenta (↑) Diminui (↓) Constante (-) Não Característico ou Desconhecido (-) Diversas Flechas = Efeito + Pronunciado

Fonte: Gerda, 2003.



## 4 PARAFUSOS

Os parafusos são fixadores que têm um poder de fixação maior do que os pregos e são mais funcionais, pois permitem a desmontagem das peças nas quais estão inseridos, assim como sua reutilização em muitos dos casos. Hoje, os parafusos são feitos em vários materiais, como aço inoxidável, titânio ou bronze, garantindo maior resistência ao tempo e à corrosão. E os plásticos como nylon ou teflon apresentam isolamento elétrico e até a porcelana pode ser moldada e usada para esta função. Há também variedade de tamanhos, formas e tipos de fixação ou movimentação — para cada um existe uma ferramenta específica de aperto, como chaves de fenda, fenda Philips, torx interno e externo, allen entre outras.

### 4.1 Como surgiu o parafuso

Alguns autores consideram que os parafusos foram inventados em torno do ano 400 a.C. por Archytas de Tarentum. De acordo com pesquisas, uma de suas primeiras aplicações foi em prensas, para a extração de óleo de azeitonas e produção de vinho. Por volta de 250 a.C, Arquimedes desenvolveu o princípio da rosca e utilizou na construção de dispositivos para a elevação de água na irrigação. Logo após, os romanos aplicaram o princípio de Arquimedes para a condução de materiais em minas.

Também existem evidências de que componentes parafusados foram aplicados em instrumentos cirúrgicos em 79 a.C. O primeiro documento impresso sobre parafusos consta de em um livro do começo do século XV. Parafusos de metal só apareceram na Europa a partir do ano de 1400 e Johann Gutenberg incluiu estes componentes entre os fixadores de sua impressora.

As máquinas para fabricar parafusos aparecem em vários desenhos nos cadernos de Leonardo Da Vinci, do fim do século XV e começo do século XVI, mas o primeiro equipamento concreto para este propósito foi inventado em 1568 por Jacques Besson, um matemático francês. No final do século XVII, os parafusos já eram componentes comuns nas armas de fogo. O britânico Henry Maudslay patenteou o parafuso de fenda em 1797. Um dispositivo similar foi patenteado por David Wilkinson nos Estados Unidos no ano seguinte. E hoje, os parafusos estão presentes em praticamente tudo no nosso dia-dia.

## 4.2 Características gerais

Existe uma grande variedade de tipos de parafusos no mercado, e alguns para aplicação específica. Os parafusos e roscas convencionais normalmente utilizam roscas padrão. Os parafusos podem ser classificados por meio do uso pretendido, pelo tipo de rosca, pelo tipo de cabeça e também pela resistência. Estão disponíveis em aço, aço inoxidável, alumínio, latão, bronze e plástico.

### 4.2.1 Classificação pelo uso pretendido

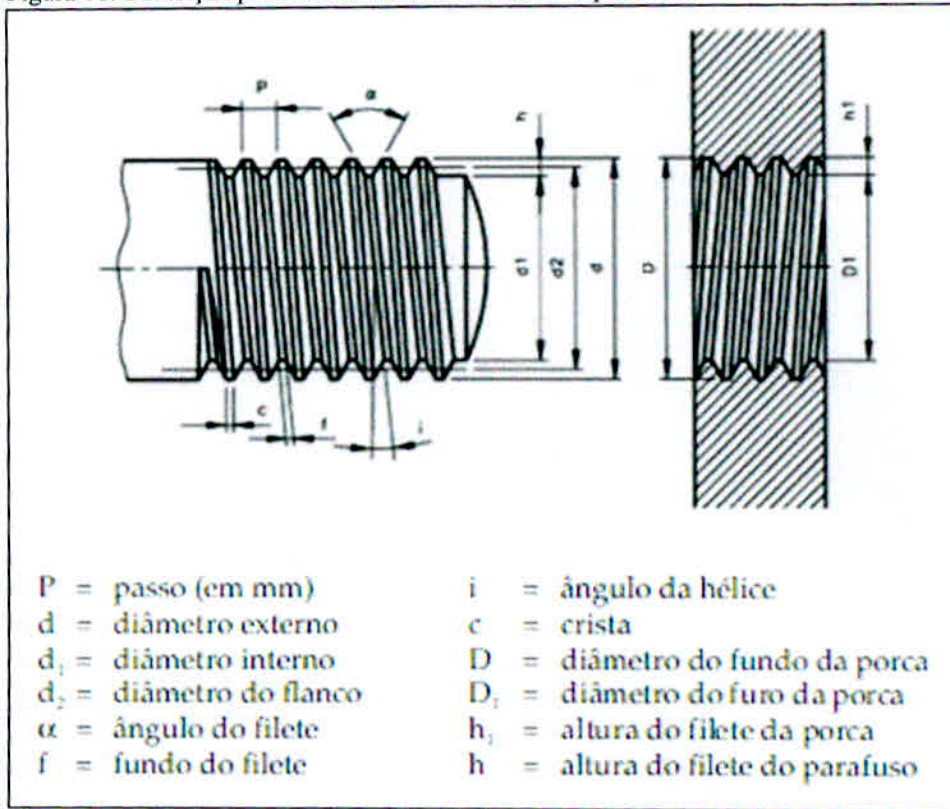
Diferenciamos os parafusos nessa classificação de duas formas, os que trabalham com porca e os que trabalham rosqueado no próprio furo onde se pretende instalá-lo. Existem também nessa classificação os prisioneiros, que são como parafusos sem cabeça, com roscas em ambas as extremidades, que se deseja usar de forma semipermanente como metade de uma junta (NORTON, 2013). Trataremos aqui sobre o uso em motores de combustão interna, e é importante acrescentar que alguns motores utilizam prisioneiros ao invés de parafusos.

### 4.2.2 Classificação pelo tipo de rosca

Nessa classificação são apresentados os parafusos de atarrachar, que fazem o próprio furo, abrindo caminho, ou fazem as próprias roscas. Já os parafusos autofurantes possuem uma forma de broca de furação na sua ponta para fazer o furo piloto, e também formam as roscas à medida que eles avançam.



Figura 11: Descrição partes de um sistema de rosca de parafuso.



Fonte: Cozaciuc, 2009.

#### 4.2.3 Classificação pelo estilo de cabeça

Basicamente os parafusos se classificam por terem cabeça comum (fenda reta, fenda Philips, hexagonal entre outras) e também os parafusos de cabeça com encaixe. Alguns tipos de cabeça limitam o torque máximo que o parafuso suporta. Não é o que ocorre com parafusos de cabeça hexagonal ou sextavada, que são muito utilizados em máquinas que exigem um valor de torque substancial, assim como ocorre com os parafusos de cabeça com encaixe (allen, torx interno, torx externo, entre outros) que são fabricados em aço de alta resistência, aço endurecido e inoxidável.




#### 4.3 Resistência de parafusos de máquina

Os parafusos para aplicações em máquinas, entre outras são escolhidos em função do seu valor de resistência de prova. A resistência de prova é definida como a tensão sob a qual o parafuso começa a apresentar deformação permanente; é próxima, porém inferior à resistência de escoamento do material em questão. As organizações como SAE, ASTM e ISSO definem

graus ou classes que especificam material, o tratamento e o próprio valor de resistência mínima de prova.

Parafusos que estão no sistema inglês possuem o grau ou classe indicado através de traços sobre a cabeça dos parafusos e o conjunto de traços representam os valores expostos na tabela em sequência.

Figura 12: Classe de resistência parafuso sistema inglês.

Cabeça de marcação	Grau e material	Faixa de tamanho nominal (polegadas)
 sem marca	<b>Grau 2</b> Aço de baixo ou médio carbono	de 1/4 até 3/4 de 3/4 até 1.1/2
 3 linhas radiais	<b>Grau 5</b> Aço carbono médio, temperado e revenido	1 / 4-1 de 1 até 1.1/2
 6 linhas radiais	<b>Grau 8</b> Liga de aço médio carbono, temperado e revenido	de 1/4 até 1.1/2

Fonte: Norton, 2013.

Parafusos do sistema métrico já apresentam o grau ou classe indicado por números e também pela tabela representativa para o mesmo.

Figura 13: Classe de resistência parafuso sistema métrico.

Cabeça de marcação	Classe e material	Faixa de tamanho nominal (milímetros)
 4,6/5,8	<b>Classe 4.6/5.8</b> Aço baixo carbono	Todos os tamanhos inferiores a 16mm.
 8,8	<b>Classe 8.8</b> Aço carbono médio, temperado e revenido	Todos os tamanhos inferiores a 16mm. 16mm - 72mm
 10,9	<b>Classe 10.9</b> Aço de liga, temperado e revenido.	5mm - 100mm
 12,9	<b>Classe 12.9</b> Aço de liga, temperado e revenido.	1,6mm - 100mm

Fonte: Norton, 2013.



## 4.4 Métodos de aperto

Existem duas formas principais de aperto de parafusos: “sem controle” e “controlado”.

### 4.4.1 Aperto sem controle

Utiliza equipamento e/ou procedimentos que não podem ser mensurados, o que muitas vezes resulta em uma junta unida incorretamente onde uns parafusos ficam sobrecarregados e outros com falta de torque. Nesse caso uma pré-carga é dada através de ferramentas de impacto (ENERPAC, 2013).

### 4.4.2 Aperto controlado

O aperto é dado através de instrumentos onde se consegue mensurar o valor de aperto. O equipamento é calibrado e dentro desse tipo de aperto, conta-se com duas técnicas em específico: aperto por torque (quando se usa uma ferramenta controlada) ou tensionamento de parafuso (quando se utiliza uma ferramenta de aperto, mas o mesmo não é feito de forma controlada).

Dentre as vantagens apresentadas pelo aperto controlado, destacam-se:

- As cargas são conhecidas, controladas e precisas no parafuso;
- Existe uma uniformidade de carga no parafuso;
- Elimina atividades perigosas do aperto manual por existirem procedimentos de operação;
- Resultados confiáveis e certos da primeira vez.

Figura 14: Pré carga correta e incorreta.



Fonte: Enerpac, 2013.

## 4.5 Torque de aperto

Para entender torque, primeiro devemos ter em mente o conceito de junta. De maneira simplificada, uma junta é composta por pelo menos dois elementos: o parafuso (rosca externa) e a contra peça (rosca interna). Obviamente quando os parafusos de uma junta são apertados, duas juntas são unidas.

O ângulo existente na rosca do parafuso converte a força aplicada em tensão (ou alongamento) no corpo do parafuso. A tensão criada no parafuso é crítica, por isso, quando um parafuso é tensionado corretamente, o mesmo trabalha na sua eficiência ideal e resistirá a deformação plástica (conceito que será explicado na sequência). Se a tensão for baixa, ocorre vibração e a junta poderá trabalhar solta. Mas se o parafuso for tensionado excessivamente o parafuso pode quebrar.

Cada parafuso tem um valor correto de torque/tensão para cada aplicação de fixação e o instrumento que cuida disso é o torquímetro.

### 4.5.1 Como o torque é medido?

O torque é o resultado da multiplicação da força ( $F$ ) aplicada pela distância ( $L$ ) do ponto de aplicação. Portanto o torque resultante ( $T$ ) pode ser obtido com uma força menor se a distância for aumentada (GEDORE, 2012). Exemplificando através da figura a seguir, temos duas situações:

$$T = F \times L$$

Situação A –

F= 20 Newtons      L= 1 metro

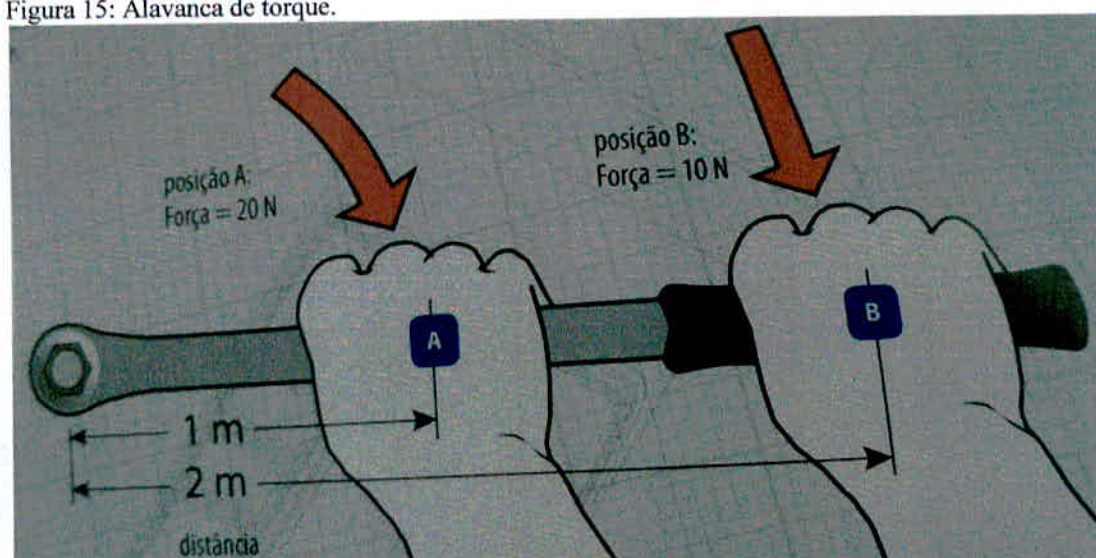
T= 20x1 = 20 N/m

Situação B –

F= 10 Newtons      L= 2 metros

T = 10x2 = 20 N/m

Figura 15: Alavanca de torque.



Fonte: Gedore, 2012.

#### 4.5.2 Tensões induzidas em um parafuso

Quando um parafuso é apertado, a haste e a rosca sustentam uma tensão direta (tração) devido ao fato de estar sendo esticado. E ainda existe também uma tensão torsional, induzida devido à ação do torque nas roscas.

#### 4.6 Torques de aperto com controle de ângulo de giro

Ao fim do pré-torque, dado com o torquímetro comum, o aperto dos parafusos de cabeçote podem ser seguidos de um aperto angular dados em fases. No sistema que está em estudo acontece exatamente isso, primeiramente é dado um torque de 25 N.m, logo na sequência o sistema exige mais três séries de 90° (para essa etapa é usado o goniômetro de aperto).



Nesse sistema temos um menor grau de erro no aperto, isso torna possível que este seja executado também na zona plástica do parafuso, sem risco de ocorrer a ruptura do mesmo. Esse método é capaz de fazer uso do máximo da capacidade de um parafuso.

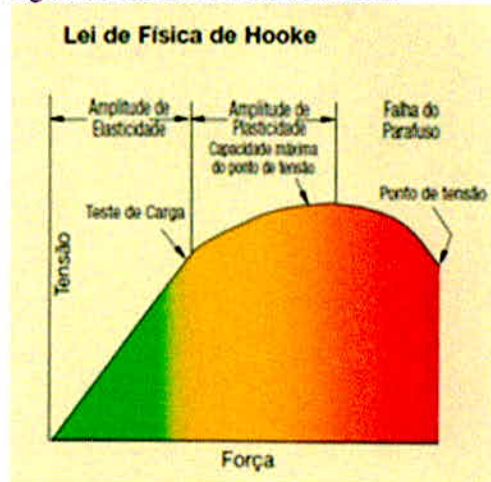
#### 4.7 Comportamento dos parafusos

O objetivo principal de um parafuso é, a partir de um torque aplicado, gerar uma força suficiente para manter a fixação unida durante o uso. Posto isto, faz-se necessário o estudo do comportamento mecânico de parafusos por conta das aplicações importantes no veículo, visando atender a requisitos ambientais, melhoria de qualidade, padronização e principalmente o atendimento e manutenção da força tensora necessária, segundo o projeto.

Uma das considerações que devemos fazer no estudo do comportamento de parafusos como o que abordaremos aqui é quanto à sua elasticidade. Elasticidade é definida pela Lei de Hooke. Por meio desta lei, podemos afirmar que a tensão em um parafuso é diretamente proporcional à sua força. Essa força de tensão gera uma amplitude tanto em zona de elasticidade, quanto na plasticidade; apenas na primeira a Lei de Hooke é válida. Isso se dá pois a característica que temos na zona elástica é a de o material retornar à condição anterior assim que a força é retirada. Não é o que acontece quando a peça entrou no regime plástico. Nessa fase já não há mais a possibilidade desta peça voltar ao que era antes, sendo esta uma deformação permanente.

Em um parafuso, podemos analisar essas condições por meio de seu alongamento. O momento em que ele se torna permanente é chamado de limitador de carga. A partir desse ponto a aplicação de mais carga levará o parafuso ao seu ponto de falha, chamado *Ultimate Tensile Strength* – UTS, que nada mais é do que a capacidade máxima do ponto de extensão. No ponto UTS, se a força adicional for aplicada, o parafuso continuará a se alongar até sua ruptura. Graficamente esse seria o ponto de tensão.

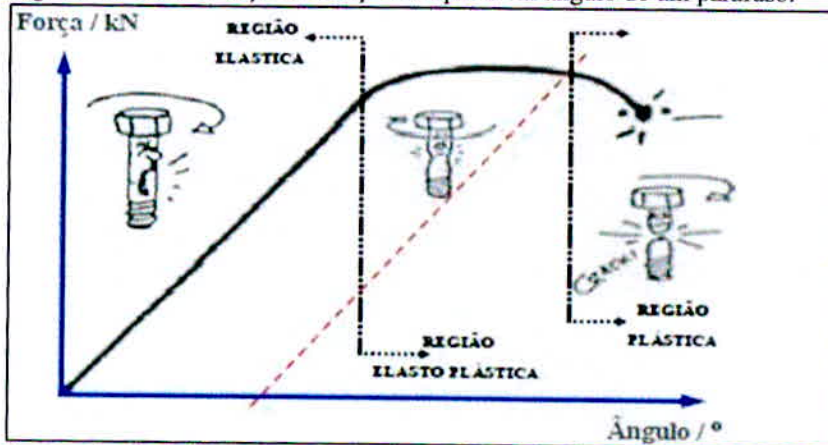
Figura 16: Gráfico da Lei de Hooke.



Fonte: Enerpac, 2013.

Ainda fazendo referência às regiões de deformação, temos uma situação intermediária que é a região elasto-plástica. Nessa zona a deformação ainda não é totalmente permanente. Ao desapertar um parafuso que atingiu essa zona, poderemos notar que seu comprimento linear será maior que o original, estando o parafuso próximo ao seu limite de ruptura, condição que é inaceitável para qualquer situação de aperto.

Figura 17: Gráfico força em relação ao aperto em ângulo de um parafuso.



Fonte: Garcia, 2007.

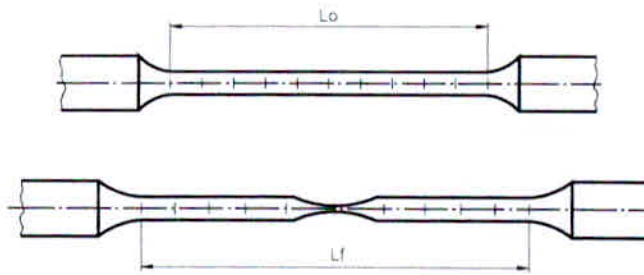
## 5 ENSAIO DE TRAÇÃO

No ensaio de tração um corpo de prova será submetido à uma força de tração uniaxial (no sentido de seu eixo) que tende a alongá-lo até sua ruptura, sendo medidas as forças de deformação em cada etapa que se aplicam a situação. Esse tipo de ensaio é destrutivo, ou seja, o corpo de prova é inutilizado.

O ensaio consiste em solicitar o corpo de prova com esforço de tração, geralmente até a ruptura, com o propósito de se determinar uma ou mais das propriedades mecânicas. O ensaio deve ser realizado a temperatura ambiente, entre 10°C e 35°C, salvo se especificado fora desses limites (NBR ISO6892, 2002).

O ensaio de tração apresenta algumas vantagens como a facilidade de sua aplicação, extensa flexibilidade do método e amplitude das informações recebidas. A deformação que ocorre que chamamos de alongamento pode ser vista como segue.

Figura 18: Comprimento do corpo de prova.



Fonte: Cozaciuc, 2009.

E pode ser calculada através da fórmula:

$$A = \frac{Lf - L0}{L0} \quad (1)$$

Sendo  $L0$  a representação do comprimento inicial (antes do teste) e  $Lf$  o comprimento final (pós teste) que pode ser visto pouco antes da ruptura com melhores considerações. Para obter o valor do alongamento em porcentagem, basta multiplicar o valor por 100.



## 5.1 O que é e como é medida a tensão de tração

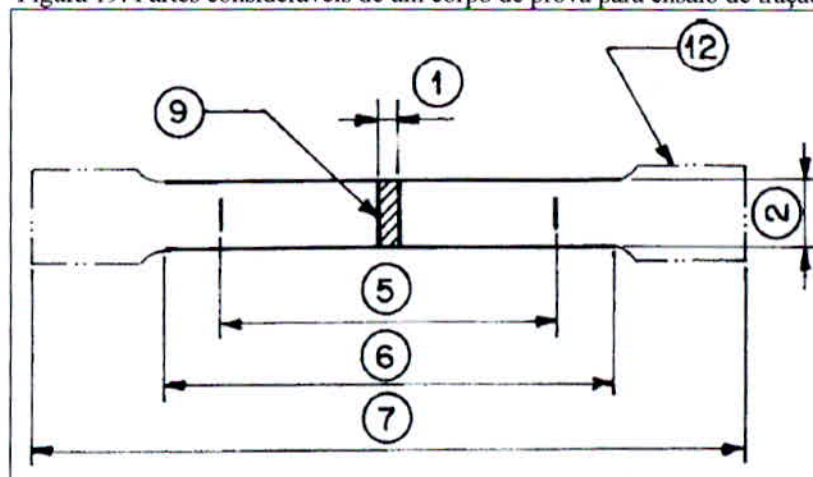
A força de tração atua sobre a área da seção transversal do material. Sendo assim obtemos uma relação entre essa força aplicada e a área do material que está sendo exigida, denominada tensão (COZACIUC, 2009). A unidade de medida no SI – Sistema Internacional de Unidades é o Newton. A tensão é obtida por:

$$T = \frac{F}{A} \quad (2)$$

## 5.2 Corpos de prova

As formas ou as dimensões dos corpos de prova dependem da forma e dimensões dos produtos metálicos dos quais os corpos de prova são retirados. O corpo de prova geralmente é usinado para obter a melhor forma para ensaio, mas pode-se utilizar também a própria peça a ser submetida a testes, desde que a mesma fique fixa corretamente nos dispositivos de fixação da máquina de ensaio. As seções transversais dos corpos de prova podem ser circulares, quadradas, retangulares, anelares ou em casos especiais de alguma outra forma.

Figura 19: Partes consideráveis de um corpo de prova para ensaio de tração.



Fonte: NBR ISO 6892, 2002.

Na figura anterior cada representação tem um significado específico conforme a norma NBR ISO 6892.

Tabela 2: Referências à figura anterior.

<b>Número de referência</b>	<b>Designação</b>
1	Espessura de um corpo de prova.
2	Largura do comprimento paralelo do corpo de prova.
5	Comprimento de medida original.
6	Comprimento paralelo.
7	Comprimento total do corpo de prova.
9	Área da seção transversal original do comprimento paralelo.
12	Extremidades do corpo de prova.

Fonte: Autor.

### 5.3 Máquina de ensaio de tração

A máquina que utilizamos nesse ensaio pertence ao Centro Universitário do Sul de Minas e é da marca Panambra, modelo VERSAT 10.000. Pelo que foi pesquisado essa marca atua na fabricação de outros dispositivos de ensaios.

Figura 20: Máquina de ensaio de tração utilizada.

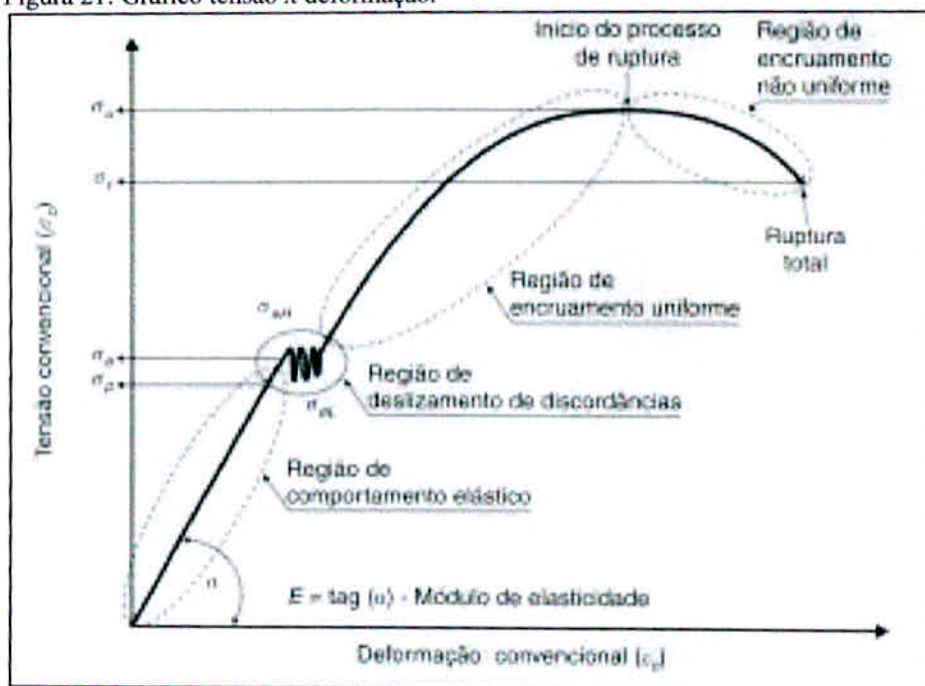


Fonte: Autor.

## 5.4 Componentes a serem observados no ensaio de tração

São parâmetros que conduzem uma pesquisa à sua conclusão. Neste trabalho o foco de análise e apresentação de resultados estará focado diretamente aos valores numéricos obtidos com os ensaios, o que para o objetivo já é suficiente. Mas com ajuda de um gráfico poderemos observar as diversas situações e regiões por onde passam os resultados dados em etapas.

Figura 21: Gráfico tensão x deformação.



Fonte: Garcia, 2012.

### 5.4.1 Região de comportamento elástico

Corresponde à primeira região de deformação do corpo de prova. Aqui é possível verificar o fenômeno do comportamento elástico, em que ao cessar a aplicação de carga, o corpo de prova retorna à sua dimensão original.

### 5.4.2 Região de deslizamento de discordâncias

Corresponde ao início da deformação plástica do material; nos estágios iniciais dessa deformação, a tensão pode sofrer oscilações que dependerão da acomodação das discordâncias no interior da rede cristalina do material (GARCIA, 2012).



### 5.4.3 Região de encruamento uniforme

À medida que os planos cristalinos escorregam entre si, estes são gradativamente freados ou travados pelas discordâncias que atingem os contornos dos grãos, exigindo cada vez mais tensão para que a deformação continue.

### 5.4.4 Região de encruamento não uniforme

Última região de deformação, já existe o processo de ruptura do corpo de prova. Considerando um material de alta capacidade de deformação permanente, o diâmetro do corpo de prova começa a decrescer quando se ultrapassa a tensão máxima. A carga necessária para a deformação continuar diminui.

### 5.4.5 Limites de escoamento, resistência e ruptura

São os três componentes de foco neste trabalho. Por meio do ensaio obtivemos os valores relacionados com essa grandeza que nos deu condições de avaliar a situação proposta. O limite de escoamento pode ser definido como a tensão que separa o comportamento elástico do plástico. Já o limite de resistência nos mostra a tensão máxima que o corpo de prova resiste. Aqui as tensões caem devido à estrição do corpo de prova. O limite de ruptura, que é a maior tensão nominal que o material pode suportar antes da ruptura é calculada dividindo a força máxima obtida no ensaio pela área inicial do corpo de prova.

Figura 22: Região de estrição de uma amostra de aço.



Fonte: Garcia, 2012.

## 5.5 Tipos de fratura

Podemos considerar que toda deformação é posta por um deslocamento de átomos. Analisando os dois tipos existentes temos a deformação elástica, que é homogênea e envolve

um pequeno e reversível deslocamento de átomos. Pode ser interpretada em termos de estruturas perfeitas.

A deformação plástica não é homogênea e envolve grandes e irreversíveis deslocamentos. Geralmente ocorre através de um mecanismo de escorregamento, nos quais os planos atômicos mais densamente compactados se movem sobre os outros. Para esse conjunto de planos. O escorregamento ocorrerá preferencialmente naqueles em que a tensão de cisalhamento é máxima, o que corresponde a uma direção de  $45^\circ$  do eixo de aplicação da tensão de tração (GARCIA, 2012).

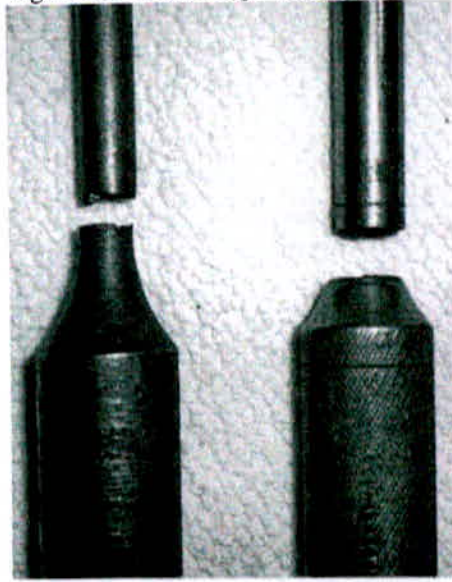
Definimos a fratura como a separação em duas ou mais partes de um corpo sólido, sob ação de uma tensão (no caso deste trabalho, tensão de tração). É analisada considerando dois fenômenos: nucleação de trincas e propagação de trincas.

Após a tensão máxima, todos os planos de deslizamento se encontrarão ancorados sem nenhuma mobilidade, e o material estará em seu estado máximo de encruamento. Com a elevação da tensão após este ponto, a deformação só será possível se os átomos iniciarem o processo de separação física com a quebra de suas ligações iniciando o primeiro estágio da fratura, com a formação dos núcleos de separação (GARCIA, 2012).

Na sequência esses núcleos crescem e se unem e o resultado é uma falha no material, a qual é associada ao efeito final da fratura. O tipo de núcleo de fratura formado pelo material que estamos estudando recebe o nome de *dimples*, e é comum em materiais dúcteis. Oposto do que ocorre em materiais frágeis cuja fratura se apresenta por pequenas regiões planas.

Dessa situação se originam os dois tipos de fratura, que são a fratura frágil e a fratura dúctil. A primeira se caracteriza pela rápida propagação da trinca, com nenhuma deformação macroscópica ou pouca deformação microscópica.

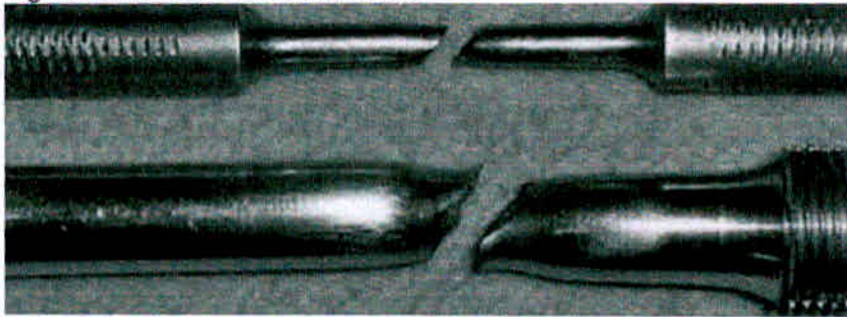
Figura 23: Fratura frágil em um metal.



Fonte: Garcia, 2012.

O segundo tipo de fratura, a dúctil se caracteriza pela ocorrência de uma apreciável deformação plástica antes e durante a propagação da trinca.

Figura 24: Fratura dúctil em um metal.



Fonte: Garcia, 2012.



## 6 METODOLOGIA DE ESTUDO E ENSAIO

O objetivo deste estudo é apresentar os resultados do ensaio de tração executado em parafusos que são os corpos de prova. O fabricante do modelo B280600, M 10 x 1,25 x 149, objeto do estudo, é a Taranto Comercial LTDA. Esta empresa é muito conhecida e bem avaliada pelos profissionais da área de manutenção automotiva. Estes parafusos são aplicados nos motores 1.8 da General Motors e foi nesse motor que os torques foram aplicados.



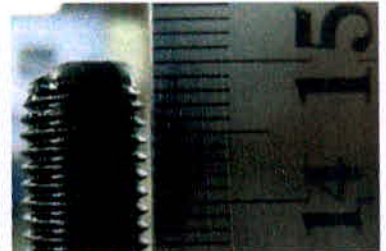
Figura 25: Conjunto de parafusos utilizados no estudo.



Fonte: Autor.

A condição adotada foi a de que três parafusos seriam avaliados quanto aos resultados de força máxima e força de ruptura. Cada um foi exposto a uma situação:

Tabela 3: Condições dos parafusos em estudo.

<b>PARAFUSO A</b>	Sem torque aplicado, em condições originais, sem deformação ocasionada pelo torque de aperto, cortado para ensaio com 130 mm. Comprimento inicial de 149 mm.	
<b>PARAFUSO B</b>	Torque aplicado 25 N.m+90°+90°+90° somente uma vez, deformação de aproximadamente 1 mm causada pelo torque de aperto, cortado para ensaio com 130 mm. Comprimento inicial de 149 mm.	
<b>PARAFUSO C</b>	Torque aplicado 25 N.m+90°+90°+90° duas vezes, deformação de 1 mm causada pelo torque de aperto, cortado para ensaio com 130 mm. Comprimento inicial de 149 mm.	

Fonte: Autor.

Antes da fase de torque desmontamos os agregados do motor para que ficasse exposto somente o cabeçote, contra peça onde os parafusos são fixados. Como o corpo de prova é um parafuso e a análise seria feita após o torque, antes da análise aplicamos o parafuso ao motor, obedecendo a metodologia, a ordem de aperto e a sequência correta, para que a pré-carga fosse dada de maneira uniforme. O primeiro passo para iniciar o torque é a lubrificação dos parafusos antes de rosqueá-los ao cabeçote (TARANTO, 2015). A instrução do fabricante pede um filete em toda a extensão da rosca do parafuso. Esse filete se espalha quando o parafuso é rosqueado.

Figura 26: Lubrificação da rosca antes de torqurear.



Fonte: Autor.

Após essa etapa, os parafusos são instalados no cabeçote e são rosqueados com a mão até o final inicialmente. Logo após, aplicamos a primeira fase de torque de 25 N.m. Esse aperto segue uma sequência adequada já descrita anteriormente. É importante lembrar que o torquímetro utilizado deve estar aferido para assegurar maior precisão no aperto. O modelo utilizado foi o de estalo.

Figura 27: Torque inicial 25 N.m.



Fonte: Autor.

Finalizando essa primeira fase, iniciamos os apertos angulares. São três séries de 90°. Deve ser feito com ferramenta adequada, um acessório para ferramentas de aperto que o mede em ângulo. Funciona como um transferidor, partimos de um zero até a quantidade em graus que se deseja que o aperto tenha. Esse dispositivo é composto e um disco que é travado através de um ímã a qualquer parte possível. Um ponteiro é que mostra a medida executada.



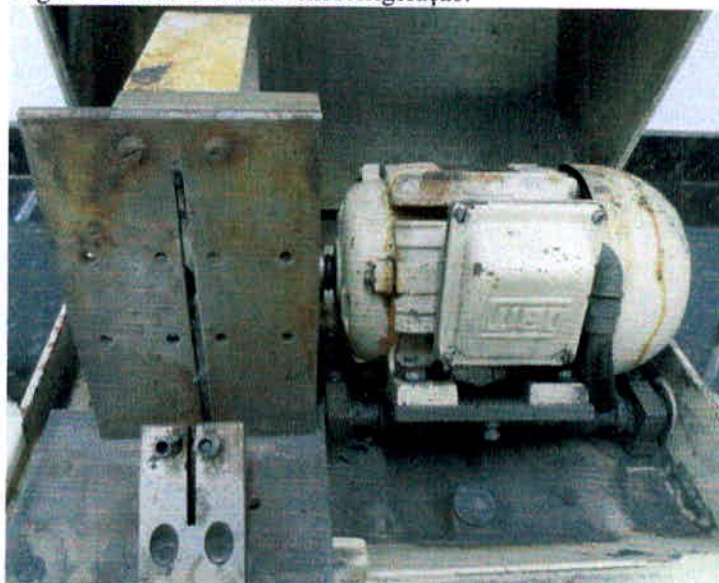
Figura 28: Torque angular.



Fonte: Autor.

Após a série completa de torque, os parafusos passaram por uma nova medição de seu comprimento linear e os resultados dos alongamentos foram descritos em tabela anterior. Na sequência, utilizando a serra corte do laboratório, executamos o corte com 80 mm a partir da cabeça, sobrando apenas o corpo roscado. Esse corte foi feito com refrigeração bem lentamente para que não houvesse alteração na estrutura do parafuso.

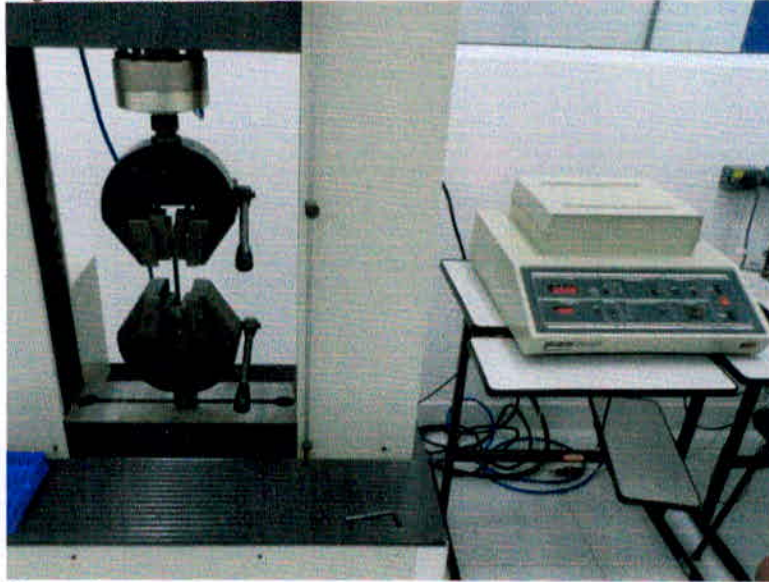
Figura 29: Serra circular com refrigeração.



Fonte: Autor.

Finalizada a fase de preparação do corpo de prova, o mesmo é levado ao laboratório de ensaios para a execução do teste de tração. Para o teste em questão a máquina de ensaio foi ajustada para uma velocidade de teste de 9 mm/min, que é a padrão de teste.

Figura 30: Início do ensaio.



Fonte: Autor.

O posicionamento do corpo de prova deve ser feito corretamente para que quando a máquina iniciar o movimento de tração não haja o risco de o corpo de prova escapar do dispositivo o que causaria a perda do teste.

Figura 31: Posicionamento do corpo de prova.



Fonte: Autor.

O ensaio foi executado com os mesmos parâmetros para os três corpos de prova, para evitar possíveis falsas informações. Obtivemos os três corpos de prova que foram tracionados até sua ruptura e o teste nos rendeu valores de força máxima e de força de ruptura, ambas em Kgf. Os resultados serão discutidos no próximo item.

Figura 32: Corpo de prova sem aperto.



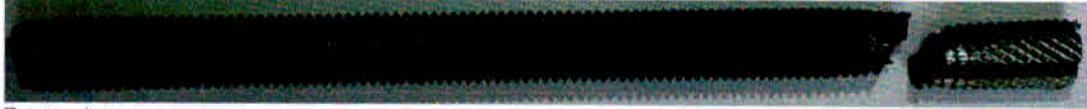
Fonte: Autor.

Figura 33: Corpo de prova com um torque executado.



Fonte: Autor.

Figura 34: Corpo de prova com dois torques executados.



Fonte: Autor.



## 7 DISCUSSÃO DE RESULTADOS

Com todos os dados coletados podemos dizer que os testes renderam resultados fiéis e de certa forma já esperados. Relembrando, utilizamos três parafusos de cabeçote e os mesmos foram expostos a situações diferentes conforme informado anteriormente. As próprias situações de torque ( $25 \text{ N.m} + 90^\circ + 90^\circ + 90^\circ$ ) geraram nos parafusos que foram apertados um fenômeno chamado encruamento.

O fenômeno de encruamento ocorre na região plástica do material e corresponde ao endurecimento (aumento da resistência) ocasionado pela própria deformação do corpo de prova, dada pela ação do torque de aperto. É claro que foi uma deformação mínima, mas foi o suficiente para que os valores fossem modificados.

Tabela 4: Resultados do teste de tração.

<b>CORPO DE PROVA</b>	<b>ÁREA</b> [mm <sup>2</sup> ]	<b>FORÇA MÁXIMA</b> [N]	<b>LIM. RESISTÊNCIA MÁX.</b> [Mpa]	<b>FORÇA DE RUPTURA</b> [N]	<b>LIM. RUPTURA</b> [Mpa]	<b>ALONGAMENTO</b> [mm]
<b>A</b>	56,745	66.008,56	1.163,24	55.211,43	972,97	3,25
<b>B</b>	56,745	70.009,67	1.233,75	55.848,87	984,20	9,00
<b>C</b>	56,745	73.667,55	1.298,22	61.095,42	1076,66	10,70

Fonte: Autor.

Os valores de força máxima e de ruptura foram obtidos durante o ensaio de tração. A partir daí os valores foram colocados em fórmulas de cálculo a partir de medições executadas no corpo dos parafusos.

$$\text{Calculando a área: } A = \frac{\pi \times D^2}{4} \quad (3)$$

$$A = \frac{\pi \times (8,5)^2}{4} = 56,745 \text{ mm}^2$$

$$\text{Calculando o limite de resist\^encia: } LR = \frac{F_{\text{m\^ax}}}{A} \quad (4)$$

$$\text{Parafuso A: } LR = \frac{66.008,56}{56,745} = \mathbf{1.163,24 MPa}$$

$$\text{Parafuso B: } LR = \frac{70.009,67}{56,745} = \mathbf{1.233,75 MPa}$$

$$\text{Parafuso C: } LR = \frac{73.667,55}{56,745} = \mathbf{1.298,22 MPa}$$

$$\text{Calculando o limite de ruptura: } LR_{\text{Rup}} = \frac{F_{\text{ruptura}}}{A} \quad (5)$$

$$\text{Parafuso A: } LR_{\text{Rup}} = \frac{55.211,43}{56,745} = \mathbf{972,97 MPa}$$

$$\text{Parafuso B: } LR_{\text{Rup}} = \frac{55.848,87}{56,745} = \mathbf{984,20 MPa}$$

$$\text{Parafuso C: } LR_{\text{Rup}} = \frac{61.095,42}{56,745} = \mathbf{1.076,66 MPa}$$

$$\text{Calculando o alongamento: } \Delta L = L_f - L_o \quad (6)$$

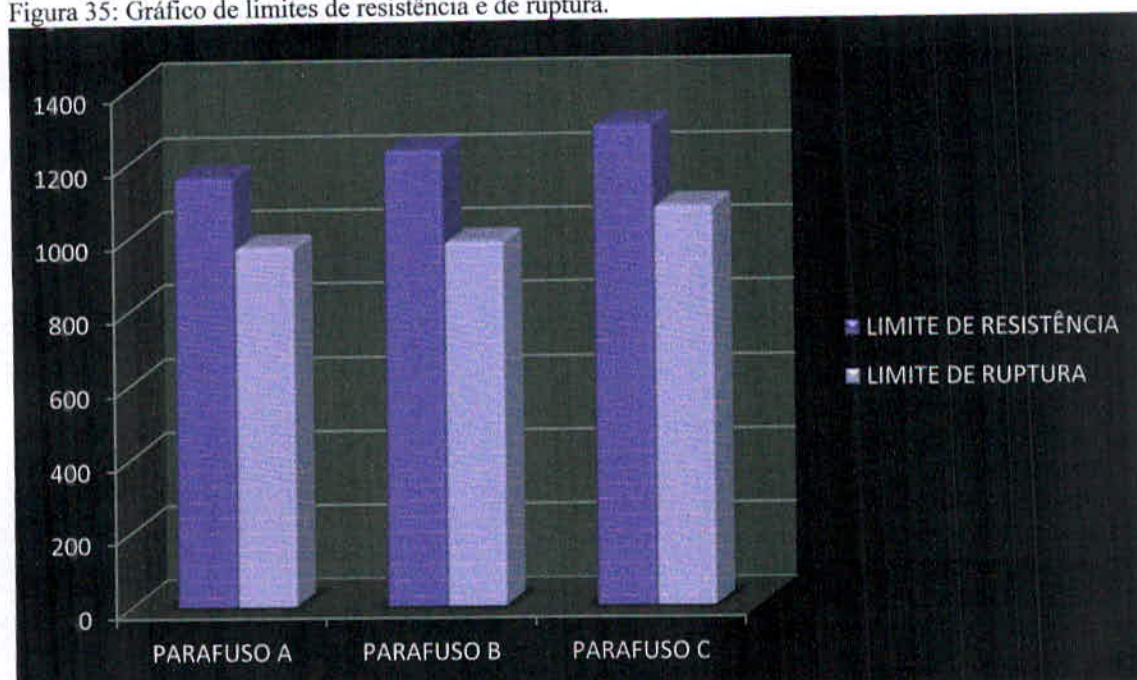
$$\text{Parafuso A: } \Delta L = 133,25 - 130,00 = \mathbf{3,25 mm}$$

$$\text{Parafuso B: } \Delta L = 139,00 - 130,00 = \mathbf{9,00 mm}$$

$$\text{Parafuso C: } \Delta L = 140,70 - 130,00 = \mathbf{10,70 mm}$$

Ent\^ao sabendo que no momento do aperto j\^a houve diferen\^cas nos valores de resist\^encia, pela tabela anterior comparando os valores podemos ver a situa\^ao de maneira mais clara. O parafuso que sofreu dois apertos n\^o s\^o alongou mais como teve seus valores de limite de resist\^encia e limite de ruptura aumentados se comparado a um parafuso que n\^o sofreu aperto algum. A seguir mostramos os valores de limite de resist\^encia e limite de ruptura comparados em um gr\^afico.

Figura 35: Gráfico de limites de resistência e de ruptura.



Fonte: Autor.

Podemos notar que o aperto do parafuso com o torquímetro somado à deformação provocada pela tração do corpo de prova realmente alterou os valores de resistência e de ruptura do material. Pelo gráfico é possível perceber que um parafuso torqueado duas vezes precisaria de uma força maior para provocar sua ruptura. O encruamento do material fez muita diferença nesse quesito.



## CONCLUSÃO

A partir desta pesquisa pude concluir quão importante é observarmos os métodos de trabalho e as instruções dos fabricantes. Foi possível notar uma diferença considerável nos valores das peças expostas a diferentes situações. Foi interessante participar e contribuir com este trabalho pois pude realizar estudos com uma variedade de materiais que contribuíram com as diferentes formas de se interpretar questões sobre o assunto.

Essa diferença de valores se deu em função de um fenômeno que ocorreu antes mesmo do ensaio acontecer. O encruamento trouxe um aumento da resistência dos corpos de prova e obviamente um parafuso que foi torquado mais de uma vez teria seus valores de resistência aumentados. Isso com certeza foi somado às características do aço 4140 utilizado na construção do parafuso que na fabricação passou por tratamentos para que suas propriedades fossem melhoradas. Com isso o parafuso foi adequado ao tipo de serviço prestado.

## REFERÊNCIAS

- ABNT. **Materiais metálicos: ensaio de tração a temperatura ambiente: norma técnica.** Rio de Janeiro, 2002. 34 p.
- BOSCH, Robert. **Manual de tecnologia automotiva: manual.** Rio de Janeiro, 2005. 1232 p.
- COZACIUC, Ivan. **Ensaio de materiais.** 1 ed. São Paulo: FIESP, 2009. 240 p.
- ENERPAC. **Teoria do aparafusamento: manual,** 2013. Disponível em: [http://www.enerpac.com/pt/teoria-de -aparafusamento](http://www.enerpac.com/pt/teoria-de-aparafusamento)>. Acesso em 31 de março de 2015
- FIAT. **Motores de combustão interna: manual.** Betim, 2009. 112 p.
- FIAT. **Dominando motores e-torq e 2.4 16 V: manual.** Betim, 2014. 120 p.
- GARCIA, Amauri. **Ensaio dos materiais.** 2 ed. Rio de Janeiro: LTC – Livros Técnicos e Científicos Editora, 2012. 378 p.
- GEDORE. **Catálogo GBr: líder pela qualidade: catálogo.** São Leopoldo, 2012. 498 p.
- GERDAU. **Manual de aços: catálogo.** São Paulo, 2003. 106 p.
- HEYWOOD, John B. **Internal Combustion Engine Fundamentals.** 2 ed. Cambridge: University of Michigan, 1988. 930 p.
- NORTON, Robert L. **Projeto de máquinas: uma abordagem integrada.** 4 ed. Porto Alegre: Bookman, 2013. 1.028 p.
- TARANTO. **Catalogo tornillos: catálogo.** Buenos Aires, 2015. 74 p.