

## **1. IMPORTÂNCIA DO PROJETO**

Nos últimos anos, devido à necessidade das empresas brasileiras competirem no mercado internacional e à entrada de novos competidores no mercado nacional, tornou-se fundamental para elas o aperfeiçoamento de seus processos produtivos. Com o objetivo de reduzir os custos e manter ou elevar o nível da qualidade de seus produtos finais, tornou-se necessária a implementação da maior produtividade possível em cada etapa do processo. Nas empresas mecânicas, uma das etapas mais comuns do processo é a montagem de elementos roscados. Estes elementos, como porcas e parafusos e demais elementos de fixação roscados, representam uma etapa do processo na montagem de sistemas, que mesmo sendo aparentemente pequenas em relação ao processo total, absorvem uma considerável parcela de tempo e de energia. A Volkswagen realiza diariamente cerca de quatro milhões de montagens deste tipo, em média duas mil por veículo. Considerando que cada uma representa cerca de R\$ 0,50 em custo, incluindo os equipamentos envolvidos e a mão-de-obra e a energia utilizadas, o um custo diário será de cerca de dois milhões de reais.

Um outro fator a ser considerado é a montagem adequada dos elementos de fixação roscados, que é importante para se evitar uma eventual falha deste tipo de componente. Em muitos casos, são necessárias uma operação de desmontagem e de montagem demoradas, que podem prejudicar a qualidade final do produto. Além disto, a modificação no fluxo do processo produtivo acarreta em custos elevados e riscos de acidentes [1,2].

## **2. OBJETIVOS**

Neste trabalho são propostas a medição e a análise de parâmetros mecânicos específicos em função do tipo e da espessura do revestimento superficial nos diversos tipos de elementos de fixação roscados utilizados na Volkswagen Ônibus e Caminhões. Este estudo deverá focalizar a variação dos parâmetros mecânicos de tensão de torque e do tempo de aperto, durante a etapa de montagem de sistemas previamente estabelecidos. Com os resultados obtidos pretende-se determinar as condições ótimas da etapa de montagem para cada especificação de tipo, espessura de camada superficial de revestimento e diâmetro destes elementos roscados. Os revestimentos selecionados para a realização deste estudo são denominados como bicromatização, *Dracomat* e zinco escuro.

## **3. INTRODUÇÃO**

Na indústria mecânica moderna existe uma grande variedade de elementos de fixação roscados, com uma grande variedade de dimensões, formatos, tolerâncias, materiais de fabricação, tratamentos térmicos e nos tratamentos superficiais, esses últimos são destinados a protegê-los contra a corrosão e definir seu coeficiente de atrito superficial. Atualmente, diversas empresas dispõem de processos exclusivos de fabricação, protegidos por patentes e por segredos industriais [1,2].

Um elemento de fixação pode ser descrito como um cilindro com um filete enrolado de maneira a formar um helicóide e, de forma equivalente, um outro elemento consistindo de um furo com um filete similar formando uma helicóide na parte interna. Estes dois elementos se encaixam por um movimento circular que faz com que os filetes se encaixem um ao outro formando união que se caracteriza pela possibilidade de ser desmontada. A forma mais conhecida deste tipo de conjunto é o parafuso e a porca é mostrada na Figura. 1.

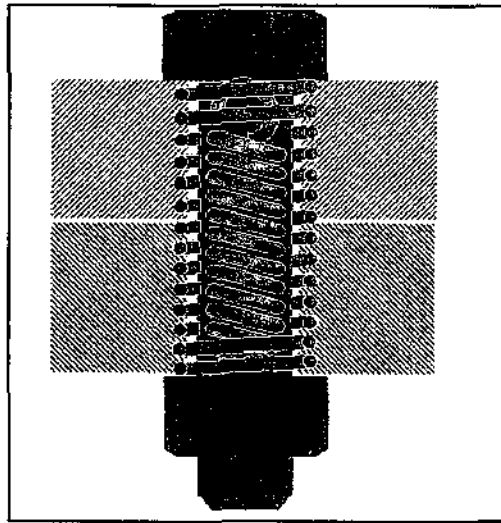


Figura.1 Ilustração mostrando uma montagem clássica, para promover junção de peças.

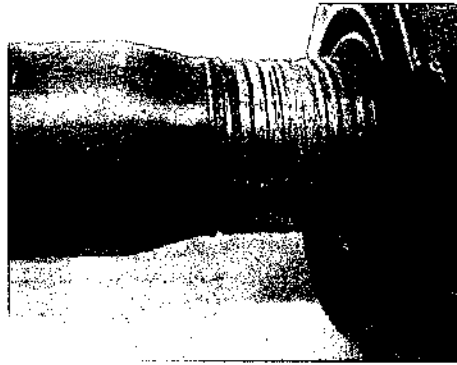
Este tipo de montagem funcionará prendendo um conjunto mecânico por meio da pressão gerada por um torque de aperto. Esse conjunto fica sujeito a um esforço de compressão enquanto o cilindro central do parafuso fica sujeito a um esforço tração (Fig.1). As superfícies dos filetes da rosca ficam sujeitas a um esforço de cisalhamento que será analisado mais adiante.

Em decorrência da necessidade de se ter velocidade máxima nos processos de montagem e de se garantir a segurança no aperto destes elementos, as suas superfícies necessitam ser submetidas a esforços próximos à sua resistência mecânica máxima. Se esse limite for excedido o material ficará sujeito a danos que poderão causar sua falha. Esta falha pode ser a ruptura mecânica do conjunto, a ruptura do revestimento superficial (expondo o elemento à corrosão) ou ainda uma variação no coeficiente de atrito das superfícies que poderá causar uma futura perda de aperto [3-5].

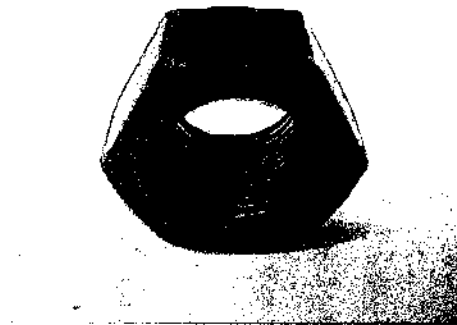
Nas Figuras 2a e 2b são mostrados exemplos de filetes danificados devido ao excesso de velocidade de aperto durante o processo de montagem. Trata-se de um conjunto parafuso-porca, com revestimento superficial de zinco escuro e nos quais a falha causou a destruição do filete, resultando em uma perda da funcionalidade do conjunto.

Para um adequado controle da qualidade destas montagens é necessário se estabelecer no processo um sistema de controle e monitoramento que garanta o contínuo sucesso desta operação, como técnicas de controle automático de parâmetros e coleta de dados. Para se obter uma condição ótima na montagem destes tipos de componentes é necessária considerar vários parâmetros que são [6-9]:

- Dimensões dos componentes
- Tratamento superficial
- Velocidade de aperto
- Torque aplicado
- Torque de travamento
- Proteção contra corrosão
- Lubrificação



a)



b)

Figura 2. Exemplos de danos decorrentes de parâmetros não otimizados durante o processo de montagem em: a) parafuso e b) porca.

### 3.1. DIMENSÕES DOS COMPONENTES

As dimensões dos elementos roscados são determinadas de acordo com: os esforços mecânicos que serão submetidos, o meio ambiente, os tipos de elementos que serão unidos, as características dos materiais que estarão em contato com o conjunto, o peso desejado, o custo, as normas de segurança e de legislação aplicáveis, a estética, a facilidade de manutenção e a necessidade de estanqueidade (quando aplicáveis) [6,10-13].

### 3.2. REVESTIMENTOS SUPERFICIAIS

Nos últimos anos, além da preocupação em garantir as melhores condições do processo de montagem e a proteção contra a corrosão, tem se procurado estabelecer uma série de especificações que vise a redução do impacto ambiental causado pelos processos de tratamentos termoquímicos e revestimentos superficiais, que envolvem a utilização de substâncias nocivas na composição química das superfícies. O uso de componente com revestimentos superficiais que contenham elementos químicos como o  $\text{Cr}^{6+}$  e os silicones têm sido eliminados dos projetos [3].

A seleção do tipo de camada superficial deve levar em consideração a resistência aos esforços mecânicos aplicados durante de processo de montagem, o tipo de utilização, as características elétricas desejadas, as condições ambientais no qual o componente irá atuar e o custo do componente [11].

Os processos de obtenção de alguns tipos de revestimentos superficiais são mantidos como segredos industriais dos seus fabricantes, não sendo possível conhecer com exatidão os parâmetros destes processos.

### 3.3. PROTEÇÃO CONTRA CORROSÃO

A sensibilidade à corrosão e a existência de falhas na superfície dos elementos de fixação roscados contribuem para o agravamento da falha destes componentes. Isto ocorre devido à presença de diferenças de potencial elétrico entre as regiões protegidas por um revestimento superficial intacto e as regiões onde existem ruptura ou desgaste no revestimento, o metal base é exposto ao ambiente corrosivo [3,16]. Um outro fator que agrava a corrosão neste tipo de componente é a existência de frestas entre os filetes e entre os elementos unidos. Estas frestas, mesmo que possuam tamanhos microscópicos, absorvem a umidade por capilaridade e outros elementos presentes na atmosfera como ácidos e sais, o que resulta na formação de pilhas galvânicas, acelerando o processo de corrosão.

### 3.4. LUBRIFICAÇÃO

Um dos parâmetros importantes na montagem de elementos de fixação roscados é o coeficiente de atrito das superfícies. Estes coeficientes definirão a magnitude do torque de travamento e exercerão uma grande influência na velocidade máxima de aparafusamento. Quanto maior for o coeficiente de atrito maior deverá ser a capacidade dos elementos de fixação roscados manterem o torque de travamento com um risco mínimo de se soltarem. No entanto, isto resultará em uma velocidade de aparafusamento menor sem gerar danos à superfície [17].

Além disto, deve ser considerado que o coeficiente de atrito diminui após cada montagem ou desmontagem.

### 3.5. TORQUE DE MONTAGEM E TORQUE DE TRAVAMENTO

Durante a montagem de uma união, o eixo do parafuso sofre uma tensão radial (Fig.3). Esta tensão é a resposta do conjunto à força de união que os elementos de fixação roscados estão exercendo na montagem e é proporcional ao torque aplicado. Este torque deve ser determinado levando-se em conta a classe do parafuso, suas dimensões e propriedades mecânicas. Um torque aplicado menor que o torque de travamento ideal poderá resultar em um afrouxamento do conjunto; se este torque for maior poderá ocasionar a ruptura do conjunto [6,8,9]. O torque de travamento é definido como o torque final que é aplicado na montagem. Devido à deformação elástica e ao coeficiente de atrito dos elementos envolvidos, o torque de travamento deverá manter o conjunto montado. Para a desmontagem esse torque necessita ser superado.

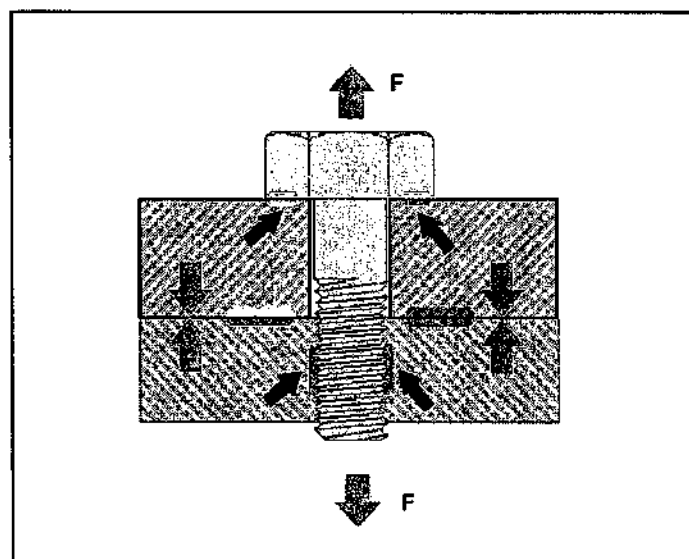


Figura.3 Diagrama mostrando a força de tração axial sobre o eixo do parafuso.

### 3.6. ANÁLISE DAS FORÇAS ATUANTES NOS ELEMENTOS ROSCADOS

Apesar de partir sempre do princípio do plano inclinado, os filetes dos elementos roscados possuem diversas formas possíveis cujas características e dimensões foram padronizadas por normas, existindo diversas opções de roscas como as roscas métricas ISO, roscas Whitworth, roscas tubulares Whitworth, roscas trapezoidais, roscas redondas, roscas de transmissão de potência e roscas Acme [18, 19].

Na Figura.4 são mostradas as denominações das várias partes componentes de um parafuso típico. De forma simplificada, um parafuso pode ser descrito como sendo um cilindro metálico no qual é enrolado um filete de forma helicoidal.

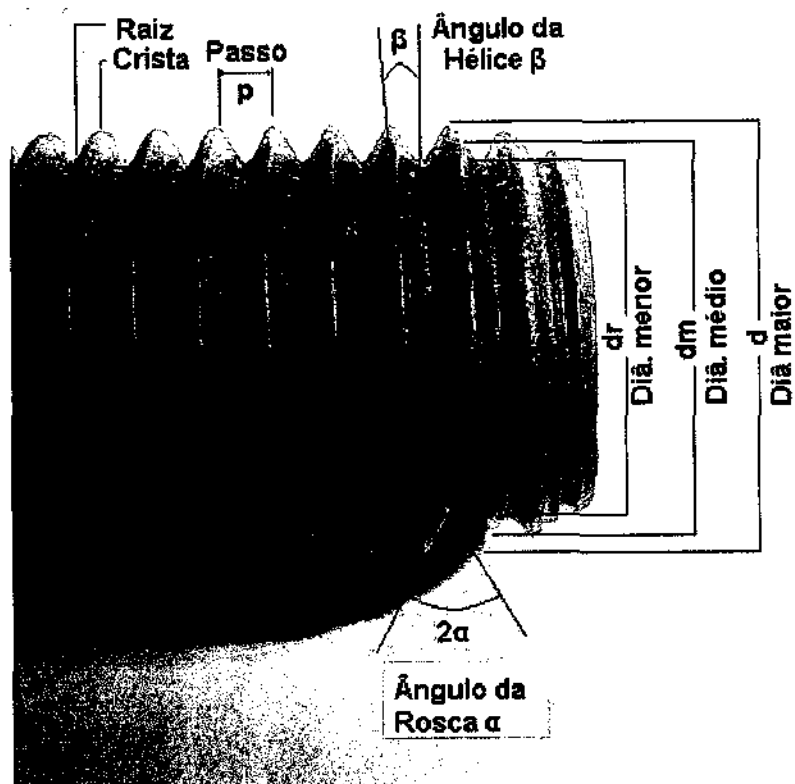


Figura.4 Denominações das partes componentes de um parafuso.

Considerando um filete que tenha sido enrolado em um comprimento exatamente igual a uma volta no parafuso, obtém-se uma figura similar a um triângulo retângulo como está sendo mostrado na Figura.5. Desta forma, o filete desenvolvido é a hipotenusa deste triângulo retângulo e a base é a circunferência retificada correspondente ao diâmetro médio da rosca ( $d_m$ ) e cuja altura é o avanço do parafuso (l). O avanço é a distância que a porca percorre paralelamente ao eixo do parafuso, quando girada de uma volta. e  $\beta$  é o ângulo de hélice da rosca. A somatória de todas as forças que agem na direção do eixo do parafuso é representada por F [1].

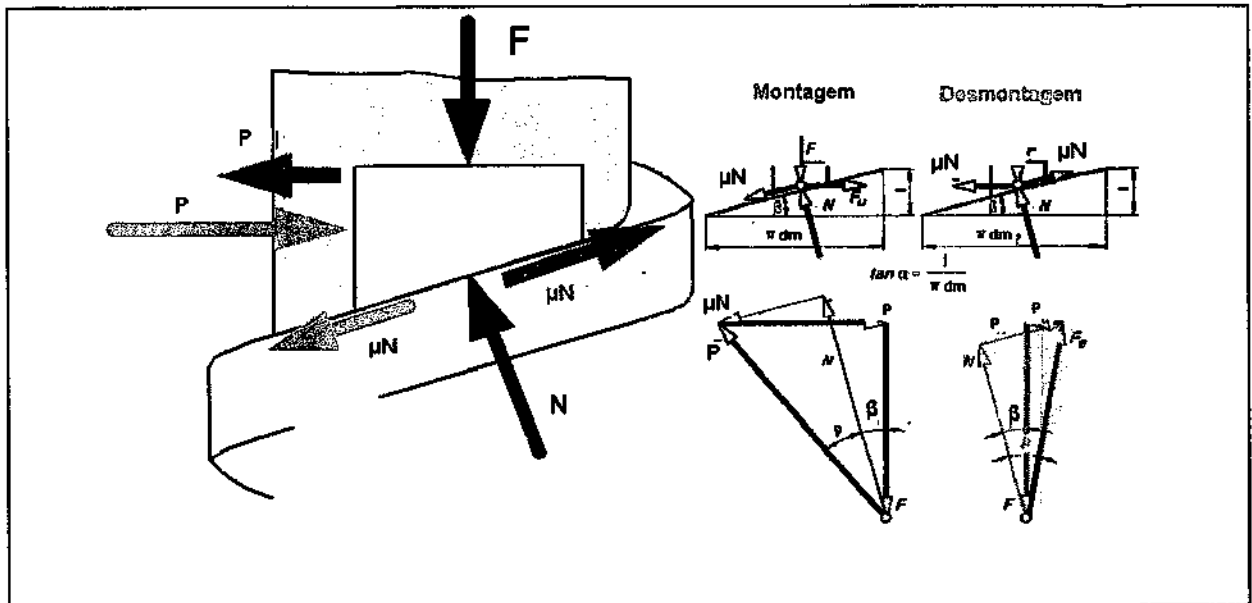


Figura.5 Decomposição de forças atuantes em um filete.

No equilíbrio mecânico, as forças que atuam na superfície nos sentidos horizontal (x) e vertical (v), tem-se:

Na montagem:

$$\sum F_v = F + \mu N \sin \beta - N \cos \beta = 0 \quad (1)$$

$$\sum F_x = P - N \sin \beta - \mu N \cos \beta = 0 \quad (2)$$

Na desmontagem:

$$\sum F_v = F - N \sin \beta + \mu N \cos \beta = 0 \quad (3)$$

$$\sum F_x = -P - N \sin \beta + \mu N \cos \beta = 0 \quad (4)$$

Onde:  $\mu$  = coeficiente de atrito da superfície  
 $F$  = força de tração sobre o parafuso  
 $N$  = força de reação do filete  
 $d_m$  = diâmetro médio do parafuso  
 $\beta$  = ângulo da hélice  
 $P$  = força de aperto

Resolvendo os sistemas de equações, tem-se:

Na montagem:

$$P = \frac{F(\sin \beta + \mu \cos \beta)}{\cos \beta - \mu \sin \beta} \quad (5)$$

Na desmontagem:

$$P = \frac{F(\mu \cos \beta - \sin \beta)}{\cos \beta + \mu \sin \beta} \quad (6)$$

Dividindo-se o numerador e o denominador por  $\cos \beta$  e considerando  $\tan \beta = l/\pi d_m$  conforme a Figura.9, tem-se:

Na montagem:

$$P = \frac{F[(l/\pi d_m) + \mu]}{1 - (\mu l/\pi d_m)} \quad (7)$$

Na desmontagem:

$$P = \frac{F[\mu - (l/\pi d_m)]}{1 + (\mu l/\pi d_m)} \quad (8)$$

Como o torque é o produto da força pelo raio médio  $d_m/2$ , tem-se:

Na montagem:

$$T = \frac{F d_m}{2} \left( \frac{l + \mu \pi d_m}{\pi d_m - \mu l} \right) \quad (9)$$

Na desmontagem:

$$T = \frac{F d_m}{2} \left( \frac{\mu \pi d_m - l}{\pi d_m + \mu l} \right) \quad (10)$$

Nas equações até aqui considerou-se uma rosca de perfil quadrado, na qual o ângulo  $\alpha$  é zero, no entanto nas aplicações de fixação este ângulo é diferente de zero e tem importante participação no valor do torque de travamento. (Fig.6).

Portanto, dividindo-se os termos de que contêm atrito pelo valor de  $\cos \alpha$ , tem-se

$$T = \frac{F d_m}{2} \left( \frac{l + \mu \pi d_m \sec \alpha}{\pi d_m - \mu l \sec \alpha} \right) \quad (11)$$

Assumindo que as forças sejam distribuídas uniformemente sobre a superfície do filete, quando montado em uma porca de altura  $h$ , pode-se determinar a tensão mecânica na superfície

dos filetes do conjunto, que será dada pela equação:

$$\sigma = \frac{-4pF}{\pi h(d_2 - d_{21})} \quad (12)$$

onde: p = comprimento da região de contato entre a porca e o parafuso  
d = diâmetro da montagem

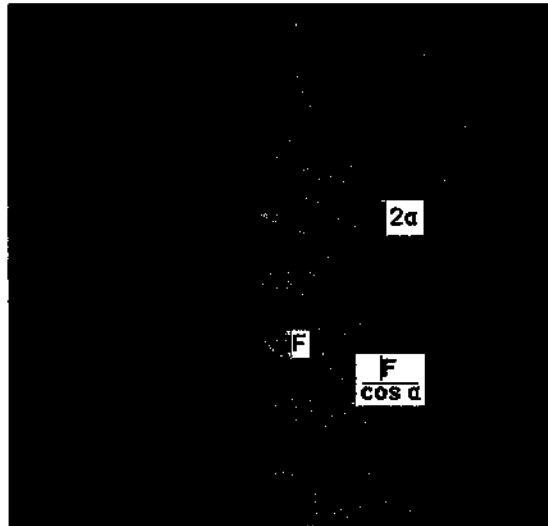


Figura.6 Posição do ângulo α em uma rosca métrica.

Na Figura.7 pode ser observado que o efeito do cisalhamento é semelhante tanto na superfície da porca e como do parafuso. De uma forma geral procura-se especificar o material do parafuso como sendo mais resistente que o da porca, uma vez que em caso de falha a porca é o componente mais fácil e barato de ser substituído.



Figura.7 Deformação devido às tensões na interface entre o parafuso e a porca. 100 ×



## 4. MATERIAIS E METODOLOGIA

### 4.1. MATERIAIS

Os elementos de fixação roscados que serão escolhidos para este trabalho, serão basicamente parafusos da classe 8.8 com revestimentos superficiais conhecidos comercialmente como: bicromatização, Dracomet e zinco negro.

As dimensões deverão variar dentro do range de uso em veículos comerciais e em função da capacidade de aperto dos equipamentos disponíveis.

#### 4.1.1. SUBSTRATO

A classe de parafusos 8.8 que será utilizada neste trabalho é de aço médio carbono cuja composição característica é dada por: 0,25 a 0,55 % de C, 0,035 % de P, 0,035 % de S e 0,003 % de B. Este aço é submetido aos tratamentos térmicos de têmpera e revenido em 425 °C, para que possuam os valores dos parâmetros de propriedades mecânicas mostrados na Tabela 1.

Tabela.1 Valores de parâmetros de propriedades mecânicas características para o substrato de aço médio carbono [21,22].

Diâmetro	Resistência à prova (MPa)	Resistência à tração (MPa)	Dureza (Bhn)
$1/4 \leq d \leq 3/4$	586	827	302
$3/4 < d \leq 1$	537	792	302
$1 < d \leq 1 1/2$	510	723	285

Nas tabelas 2 e 3 são mostrados os valores de torque de montagem e as forças de tração máximas e mínimas para elementos roscados de aço médio carbono. A Tabela 4 se refere às situações em que se torna necessário que a força F no eixo do parafuso atinja a região de deformação plástica do material que compõe o parafuso.

Tabela.2 Valores característicos de torque de montagem e de força de tração máximas e mínimas, esforços dentro da região elástica [4].

Rosca	Classes de resistência																		
	4.8			5.8			6.8			8.8			10.9			12.9 (**)			
	Valores mínimos de limite de alongamento ou 0.2 de limite de dilatação *** em N/mm <sup>2</sup>																		
	340			420			480			640/660			940			1100			
	M <sub>A</sub>	F <sub>M</sub>	F <sub>M</sub>	M <sub>A</sub>	F <sub>M</sub>	F <sub>M</sub>	M <sub>A</sub>	F <sub>M</sub>	F <sub>M</sub>	M <sub>A</sub>	F <sub>M</sub>	F <sub>M</sub>	M <sub>A</sub>	F <sub>M</sub>	F <sub>M</sub>	M <sub>A</sub>	F <sub>M</sub>	F <sub>M</sub>	
	min	max	min	min	max	min	min	max	min	max	min	max	min	max	min	min	max	min	max
M 4	1,2	1,1	2,3	1,5	1,4	2,9	1,7	1,6	3,3	2	1,9	3,9	3,5	3,3	6,8	4	3,8	7,8	
M 5	2,5	1,9	4,1	3	2,3	4,9	3,5	2,7	5,7	4,5	3,5	7,3	7	5,5	11	8	6,2	13	
M 6	5	2,9	5,9	6	3,5	7,2	6	3,8	7,9	8	5,1	11	12	7,6	16	14	8,9	19	
M 8	10	4,8	10	13	6,2	13	14	6,7	14	20	9,6	20	30	14	30	35	17	35	
M 10	20	7,7	16	25	9,6	20	30	12	24	40	15	32	55	21	44	65	25	52	
M 12	35	11	24	45	15	31	50	16	34	65	21	44	95	31	65	110	36	75	
M 12x1,5	35	11	24	45	15	31	50	16	34	65	23	44	95	33	65	110	39	75	
M 14x1,5	60	17	36	75	21	45	85	24	51	110	31	67	160	45	97	190	54	115	
M 16x1,5	90	23	48	110	28	59	130	33	70	170	43	91	240	60	129	290	73	156	
M 18x1,5	130	29	62	160	36	77	180	40	86	250	56	120	350	78	168	400	89	192	

Tabela.3 Valores de torque de montagem e de força de tração máximas e mínimas, acima da região elástica [6].

Rosca	Classe de resistência	Momento de torção de aperto prévio [Nm] + ângulo de rotação 90°	Força da tensão prévia [kN] (após montagem além do limite da elasticidade)		Momento de torção de aperto [Nm] (após montagem além do limite da elasticidade)	
			$F_M$ min	$F_M$ max	$M_A$ min	$M_A$ max
M 6	8.8	8	10,5	14,5	10,0	17
	10.9	10	15,5	20	14,5	23,5
	12.9		18,5	22,5	17,0	26,5
M 8	8.8	20	19,5	26	24,0	41
	10.9		29	36	35,5	57
	12.9		34	41,5	41,5	65
M 10	8.8	40	31	41,5	47,5	81
	10.9	50	45,5	57	70	110
	12.9		54	66	81	130
M 12 x 1,5	8.8	60	48	64	85	145
	10.9	90	71	88	125	200
	12.9		83	100	145	230
M 14 x 1,5	8.8	100	69	91	140	240
	10.9	150	100	125	205	335
	12.9		115	145	235	380
M 16 x 1,5	8.8	120	95	125	215	380
	10.9	180	135	170	310	510
	12.9		160	195	360	585
M 18 x 1,5	8.8	140	125	165	315	555
	10.9	210	175	220	450	745
	12.9		205	250	525	855

MX = referências ao diâmetro dos elementos e especificam que essas tabelas se referem a roscas métricas.

#### 4.1.2. REVESTIMENTO SUPERFICIAL

Os elementos roscados (parafusos e porcas) que serão objetos deste trabalho foram selecionados dentre aqueles atualmente utilizados no processo de montagem de partes dos caminhões produzidos pela Wolkswagen Caminhões. As características dos processos de revestimento destes componentes, constantes na literatura e fornecidas pelos fabricantes, são descritas abaixo:

##### a) ZINCO BICROMATIZADO

É um processo eletroquímico de deposição de um filme de zinco e níquel e outro de cromo sobre a superfície de um substrato de aço ou ferro (Fig.8). O filme de cromo deve possuir uma menor porosidade do que a primeira camada. Este tipo de revestimento apresenta uma resistência à corrosão elevada, condutividade elétrica adequada, o que viabiliza a sua utilização em situações onde houver a necessidade de uniões eletricamente condutoras.

Quando existir necessidades estéticas ou funcionais, podem ser adicionados às superfícies dos elementos roscados filmes adicionais de lubrificantes orgânicos ou esmaltes.

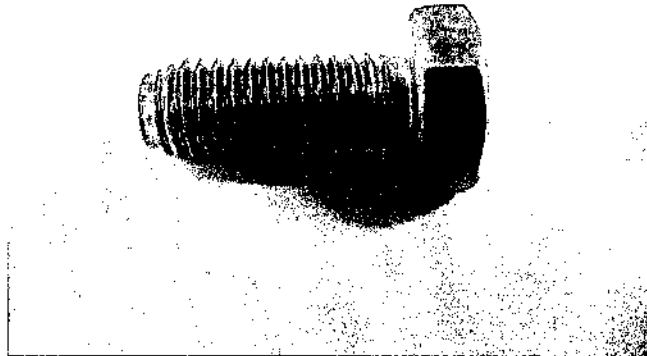


Figura. 8 Parafuso com superfície revestida por processo de bicromatização.

Este tipo de revestimento superficial é utilizado em substratos que possuem resistência à tração inferior a  $100 \text{ N/mm}^2$  e também a dureza inferior a  $370 \text{ Hv}$ .

A espessura típica do filme para este tipo de aplicação em elementos de junções rosqueadas deverá estar entre 8 e  $15 \mu\text{m}$ . Sua qualidade deve permitir uma resistência à corrosão de 120 a 240 h em ensaio em nevoa salina para a camada superficial e de 720 h para o substrato [23]

O material do substrato pode apresentar sensibilidade à fragilização por hidrogênio, uma vez que o processo de deposição do revestimento é eletroquímico e envolve hidrogênio. Neste caso, fazem-se necessários tratamentos térmicos para a eliminação do hidrogênio [24].

#### **b) DRACOMET**

Dracomet é um processo registrado pela Metal Coatings International, Inc., de Chardon, Ohio, que permite a aplicação de camadas através de um processo não eletroquímico e resulta na deposição de filmes compostos de zinco e de alumínio sobre substratos ferrosos [24,25]. Este processo consiste na aplicação dos metais na forma líquida por jateamento ou imersão, seguida de um aquecimento em  $320 \text{ }^\circ\text{C}$ . Sobre este revestimento é depositado um filme de cromatos, tendo como resultado final um revestimento superficial com resistência mecânica alta, aderência e resistência à corrosão elevadas. A espessura deste revestimento pode variar entre 8 e  $18 \mu\text{m}$  (Fig.9).

É conhecido que esse tipo de revestimento permite uma proteção elevada do metal base em decorrência de quatro fatores combinados:

- As microestruturas do zinco e do alumínio, que compõem o revestimento, protegem o substrato das ações agressivas do meio ambiente, tanto do ponto de vista químico como mecânico.
- O zinco atua como eletrodo de sacrifício e sofre corrosão para proteger o aço, através de um efeito eletro-químico no qual o Zn atua como anodo.
- Os óxidos metálicos presentes no revestimento e na matriz do substrato reduzem as reações de corrosão do zinco e do aço.
- As áreas danificadas no revestimento são protegidas pelos óxidos de zinco e cromatos.

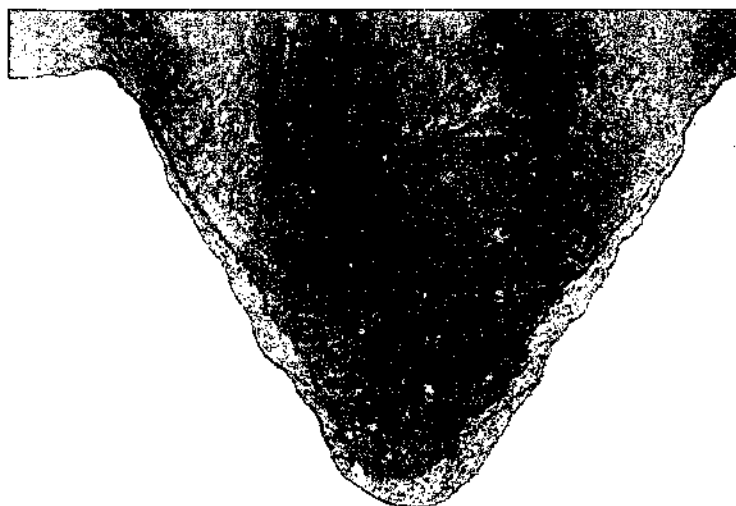


Figura 9. Seção transversal do filete de um parafuso com um revestimento do tipo Dracomet. 200 ×

Na Tabela 1 são mostrados resultados relacionando a espessura de dois tipos de revestimentos com o tempo de manutenção da resistência mecânica em ensaios em câmara de nevoa salina.

Tabela 1. Comparação de espessura de revestimento e tempo até o início de perda da resistência mecânica em câmara de nevoa salina [14].

Tipo de revestimento	Espessura de camada ( $\mu\text{m}$ )	Tempo de perda da resistência mecânica (h)
DACROMET	5	600
	10	1000
Zinco bicromatizado	5	200
	10	400

Tem sido registrado na literatura que o coeficiente de atrito da superfície com revestimento do tipo Dracomet é de 0,24. Segundo a empresa francesa Chemicolors S/A, uma versão comercial deste processo, na qual um filme adicional de lubrificante orgânico é aplicado por jateamento ou imersão, resulta na redução do coeficiente de atrito para 0,12 a 0,18. O revestimento do tipo Dracomet apresenta uma aparência cinza prateada, sendo que é possível adicionar ao lubrificante orgânico pigmentações com diversas cores (Fig. 10). Não é recomendável para aplicações que necessitem de boa condutividade elétrica, pois as camadas de óxidos metálicos e de lubrificante atuam como dielétricos [14].

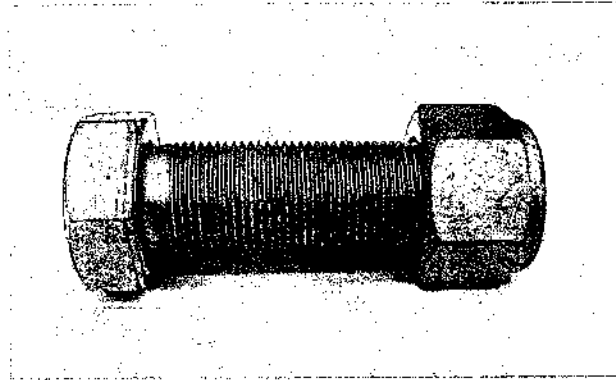


Figura.10 Conjunto de elementos roscados (parafuso e porca) com revestimento de Dracomet e lubrificante com coloração verde-azulada, utilizado na Wolkswagen Caminhões (Resende, SP).

#### c) ZINCO ESCURO

Este tipo de revestimento é obtido pela aplicação de zinco e de alumínio sobre um substrato de aço ou ferro através de *spray*, por jateamento eletrostático ou por processo de spin. É considerado eficiente para o revestimento de componentes com dimensões pequenas e de formas complexas [15]. O revestimento resultante apresenta uma coloração negra (Fig.11), com aderência ao substrato e dureza superficial altas. Devido às suas propriedades mecânicas ótimas é indicado para ser aplicado sobre substratos com resistência à tração superior a  $100\text{N/mm}^2$  e dureza superior a 320 HV.

Deve ter espessura de camada variando entre  $10\mu\text{m}$  e  $25\mu\text{m}$ , podendo resistir a 720h no ensaio em câmara de nevoa salina[14].

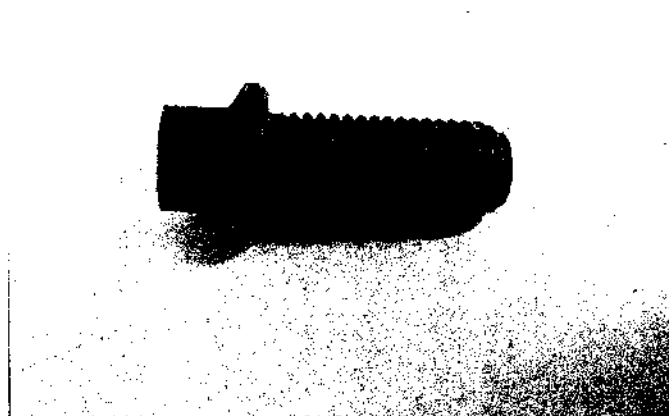


Figura.11 Parafuso com revestimento de zinco escuro.

## 4.2. METODOLOGIA

Na Figura 12 é mostrado o fluxograma dos procedimentos que deverão ser adotados neste trabalho.

Os estudos serão realizados em amostras de mesmo um lote para cada tipo de revestimento superficial selecionado. Uma amostragem de cada lote será caracterizada por

microscopia ótica, estereografia, microscopia eletrônica de varredura (MEV) de sua superfície externa e da seção transversal e espectroscopia por energia de raios X dispersiva (EDX) de sua seção transversal, para as análises mostradas na Figura 12. As análises das superfícies e interfaces serão realizadas em amostras sem e com ataque químico superficial à base de ácidos e desengraxantes específicos para os materiais envolvidos. Nas superfícies sem ataque químico serão observadas as presenças de defeitos como poros, trincas, falhas na aderência do revestimento e análises químicas por EDX. As superfícies submetidas aos ataques químicos específicos serão observadas quanto à sua microestrutura de grãos.

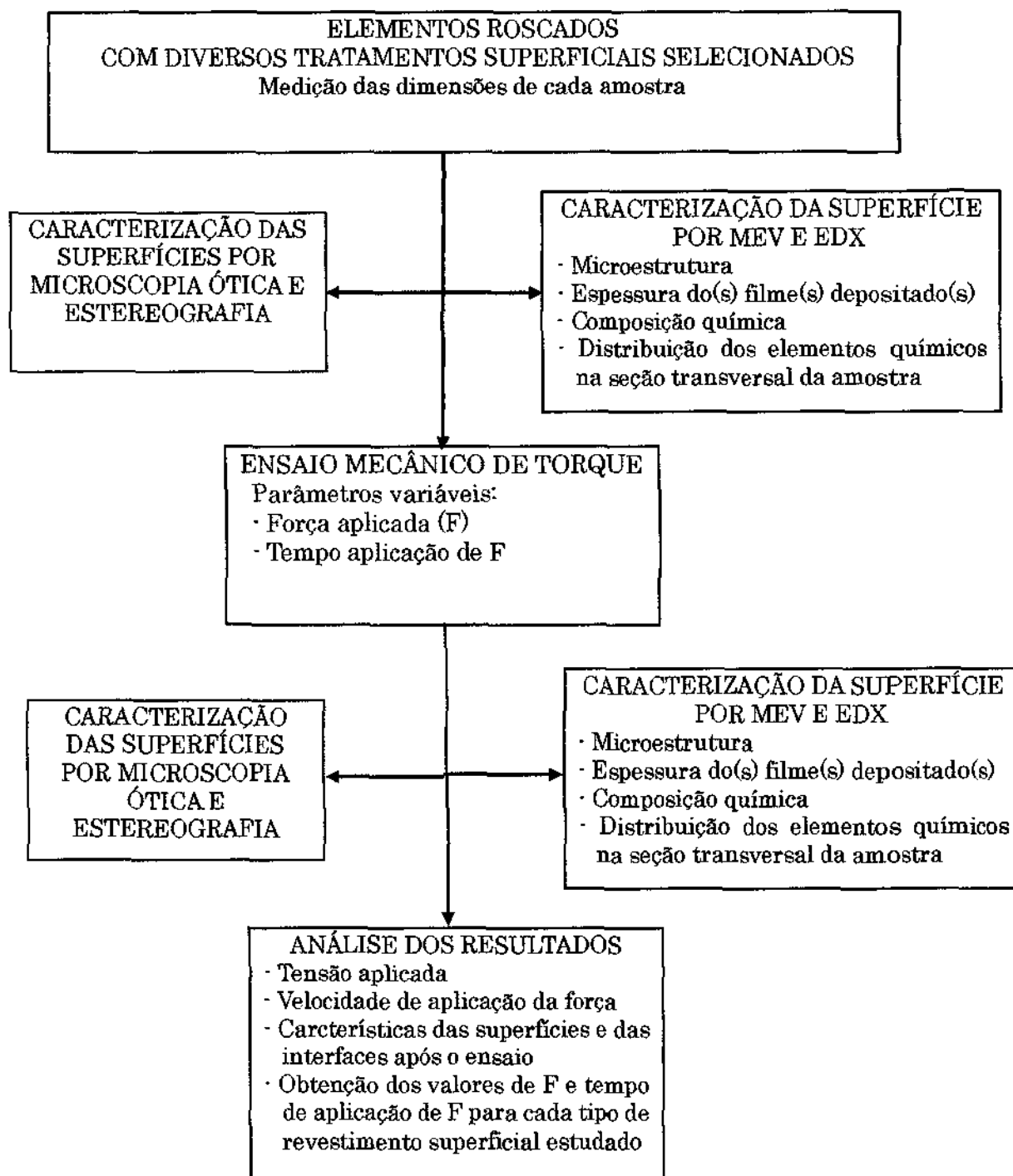


Figura.12 Fluxograma mostrando os procedimentos que serão adotados neste projeto.

Para a obtenção de imagens para a observação de defeitos e da microestrutura será utilizado MEV por elétrons secundários e para as medições das espessuras dos filmes de revestimento serão feitas pelo uso de MEV por elétrons retroespalhados.

As análises químicas por EDX serão feitas em imagens e por escaneamento em linha, conforme descritas por Vieira [26].

As demais amostras serão submetidas a diversos parâmetros de processo e então submetidas às caracterizações semelhantes àquelas utilizadas para as amostras não ensaiadas.

Na Figura 13a é apresentado um diagrama esquemático do equipamento de montagem com parâmetros ajustáveis da marca Atlas Copco Focus S2000 e na Figura 13b é mostrado um exemplo do registro gráfico do comportamento da união rosqueada na forma de uma curva de torque aplicada em função do tempo de sua aplicação.

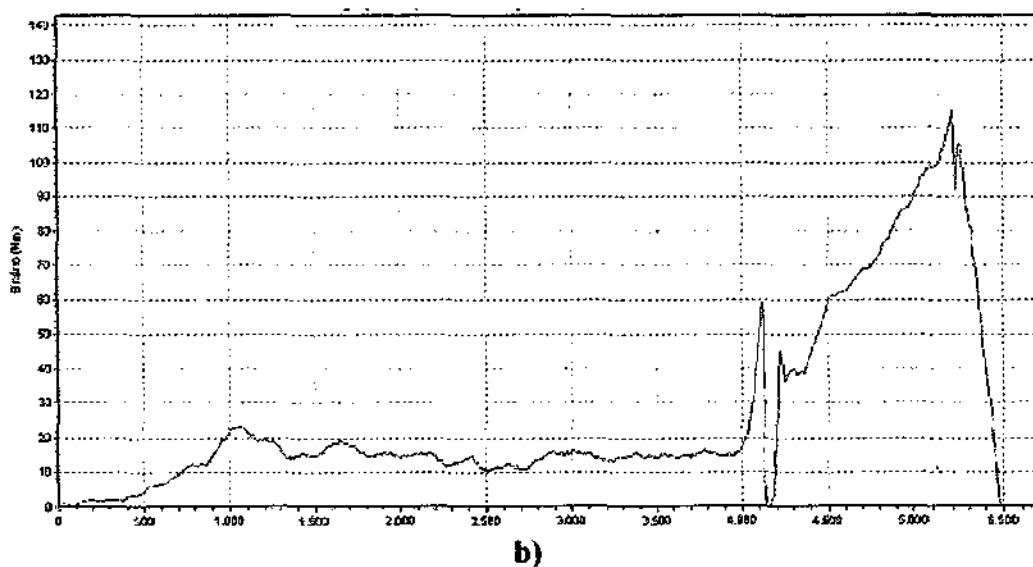
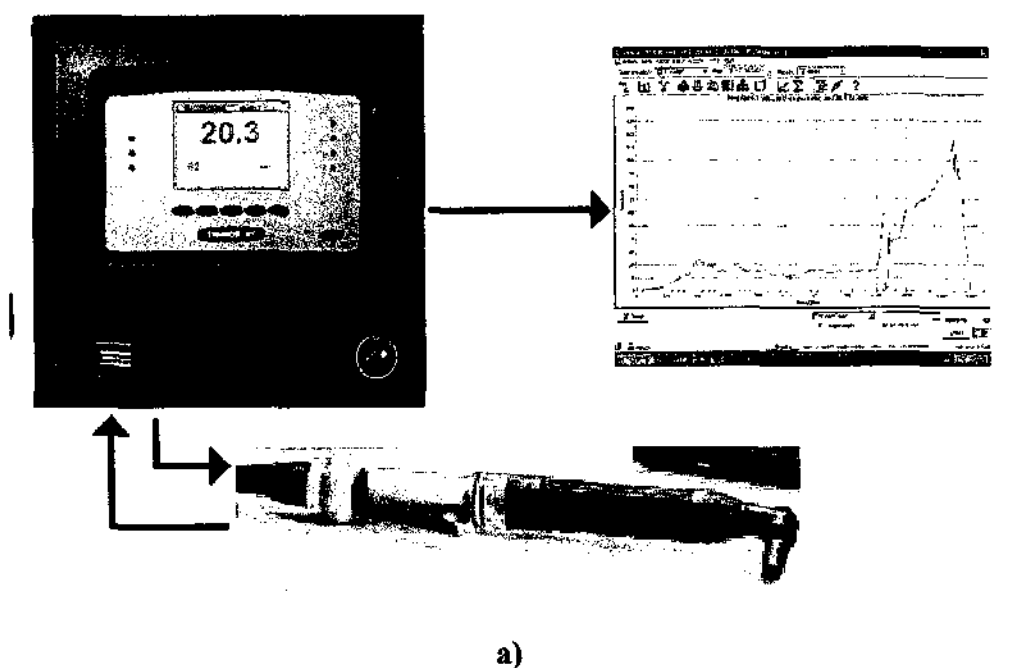


Figura. 13 a) Diagrama esquemático do equipamento Atlas Copco para ensaio de torque e b) exemplo do registro gráfico do comportamento mecânico da união rosqueada

## 5. EQUIPAMENTOS A SEREM UTILIZADOS NESTE PROJETO

Para a execução deste projeto de trabalho deverão ser utilizados os seguintes equipamentos:

- Equipamentos para aplicação de torque controlado - Atlas Copco Focus 2000 modelo ETV S9 600 e Atlas Copco Focus S2000 modelo ETP S9 600 - (GS Machines Ltda.)
- Microscópio Ótico - Olympus PME-3, 5X10X20X50X100- (Volkswagen Ônibus e Caminhões)
- Esteroscópio Digimess, 20X40 – (Volkswagen Ônibus e Caminhões)
- Estereoscópio Digital - Olympus MIC D, 0,7 a 250 X – (Volkswagen Ônibus e Caminhões).
- Microdurometro - Shimadzu, Modelo HMV 2– (Volkswagen Ônibus e Caminhões)
- Microscópio Eletrônico de Varredura, da marca JEOL, modelo JSM-5310, produzido no Japão com EDX acoplado (LAS/CTE/INPE)

## 6. RESULTADOS ESPERADOS

Os principais resultados esperados deste trabalho para cada tipo de elemento roscado serão:

- Estudo da influência da tensão aplicada e do tempo de sua aplicação nas características microestruturais das superfícies e interfaces em função do tipo de revestimento superficial,
- Estabelecimento dos parâmetros ótimos de montagem destes elementos roscados (tensão máxima e tempo mínimo) para serem adotados na linha de montagem industrial.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFICAS

- [1] COLENCI Jr., A. **Um estudo de sistematização da tecnologia de fixação por parafusos de alta resistência, no caso brasileiro.** Tese de doutorado. Escola de Engenharia de São Carlos (EESC), Universidade de São Paulo (USP), São Carlos, SP, 1992.
- [2] BEZERRA, A. A. **Estudo do desgaste no rosqueamento com alta velocidade em ferro fundido.** Tese de doutorado. Escola de Engenharia de São Carlos (EESC), Universidade de São Paulo (USP), São Carlos, SP, 2003.
- [3] European Norm Konzern. **EN 26 157 – Elementos de união – Defeitos de superfície, parafusos para requisitos especiais - Parte 1.** (ISO 6157-3: 1988), 1991.
- [4] European Norm Konzern. **EN 26 157 – Elementos de união – Defeitos de superfície, parafusos para requisitos especiais - Parte 3.** (ISO 6157-3: 1988), 1991.
- [5] Volkswagen AG. **VW 602-50 – Parafusos de alta resistência e elementos roscados similares – Condições técnicas de fornecimento,** 1982.
- [6] European Norm Konzern. **EN 898-1 Propriedades mecânica de elementos de união de aço carbono e aço liga – Parte 1, Parafusos.** (ISO 989-1: 1999), 1999.
- [7] European Norm Konzern. **EN ISO 898-6 – Propriedades mecânicas de elementos de união. Parte 6: Porcas com forças de ensaios definidas – Rosca fina.** (EM ISO 898-6:1995),1996.
- [8] Volkswagen AG. **VW 601 89 – Parafuso sextavado – Com flange e ponta ressaltada para alimentação automática,** 1991.
- [9] Volkswagen AG. **VW 601 88 – Parafuso sextavado – Com flange e ponta ressaltada para alimentação automática,** 1991.
- [10] European Norm Konzern. **EN ISO 4759-1 – Tolerâncias para elementos de união. Parte 1: parafusos e porcas – Classe de produtos A, B, C.** (ISO 4759-1:2000), 2001.
- [11] Volkswagen AG. **VW 011 10 – Uniões aparafusadas - Projeto, montagem e garantia de processos,** 2001.



- [12] Volkswagen AG. VW 011 26 -1 – Técnica de Uniões Roscadas – Torques de aperto para uniões por parafusos, 1999.
- [13] Deutsche Industrie Norm Konzern. DIN 267 – Elementos mecânicos de ligação – condições técnicas de fornecimento. Categorias de resistência para parafusos de aços com e sem liga. Modificação das categorias de resistência, 1983.
- [14] Volkswagen AG. Technische Leitline. TL 245 – Revestimentos lamelares de zinco aplicados por processo não eletrolíticos – Requisitos para a proteção das superfícies, 2002.
- [15] Volkswagen AG. Technische Leitline. TL 217 – Revestimento de zinco – Requisitos para a proteção de superfícies, 2002.
- [16] Volkswagen AG. VW 137-50 – Tratamentos superficiais para peças metálicas – Tipos de proteção, códigos de identificação e requisitos, 1999.
- [17] BURAKOWSKI, T.; WIERZCHÓN, T. Surface engineering of metals, CRC Press, USA, 1998, p.576.
- [18] DUBBEL, E. - Manual do engenheiro mecânico - 13ª Edição – Hemus Livraria e Editora Ltda - 1979. v.3, p. 687– 696.
- [19] Volkswagen AG. VW 011 26 – 2 – Técnica de uniões roscadas – Momento de torção de aperto para montagem de parafusos, além do limite de elasticidades. 1999.
- [20] Volkswagen AG. Technische Leitline. TL 195 – Elementos mecânicos de fixação – parafusos de aço com camada para vedação requisitos do material, 1996.
- [21] Volkswagen AG. VW 011 27 – Torques de perfil de rosca para uniões roscadas de chapas, 1999.
- [22] Deutsche Industrie Norm Konzern. DIN 7975 – Parafusos auto-atarraxantes - aplicação e valores de referencia por diâmetros, 1989.
- [23] Volkswagen AG. Technische Leitline. TL 244 – Revestimentos com ligas de zinco/níquel – Requisitos para proteção de superfícies, 2002.
- [24] J. R. N. de Lima (PG), M. A. da Silva (IC), P. de Lima-Neto (PQ)- Monitoramento da corrosão de revestimentos de Zn-Ni em atmosfera de agressividade marinha- Universidade Federal do Ceará, Departamento de Química Analítica e Físico-Química, C. P. 6035, 60451-970 Fortaleza, Ce, 1999.
- [25] Volkswagen AG. Technische Leitline. TL 233 – Non-electrolytically applied zinc flake coatings with top coating-requirements for surface protection, 2003.
- [26] VIEIRA, R. A.- Tese de Mestrado, Estudo de modificações de superfícies de aço inoxidável 304 com filmes poliméricos e de titânio para melhorar a aderência de filmes de diamantes CVD. Departamento de Engenharia de Materiais (DEMAR), Faculdade de Engenharia Química de Lorena (FAENQUIL), Lorena, SP, 2002.

### 8. CRONOGRAMA DE ATIVIDADES

ATIVIDADES	2002	2003	2004			2005
			1º	2º	3º	
1. Disciplinas de pós-graduação	XXX	XXX	X			
2. Revisão bibliográfica e elaboração do projeto de dissertação			X	X		
3. Seleção dos componentes a serem analisados				X		
4. Levantamento junto aos fornecedores dos processos e parâmetros utilizados	XXX			X		
5. Caracterização das superfícies das amostras não ensaiadas				X	X	
6. Ensaio mecânico de torque					X	X
7. Caracterização das superfícies das amostras após os ensaios					X	X
8. Análise dos resultados				X	X	X
9. Redação e defesa da dissertação ou tese						X

X = 1 trimestre

OBS.: Início em setembro de 2004 e término em abril 2005.