

**UNIVERSIDADE DE CAXIAS DO SUL  
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLOGIA  
CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA**

**RICHER GARCIA PEREIRA**

**ESTUDO PARA SUBSTITUIÇÃO DE PORCAS SOLDADAS  
POR PORCAS AUTOCRAVANTES**

**CAXIAS DO SUL**

**2014**

**RICHER GARCIA PEREIRA**

**ESTUDO PARA SUBSTITUIÇÃO DE PORCAS SOLDADAS  
POR PORCAS AUTOCRAVANTES**

Relatório final da disciplina de Estágio II  
MEC0258 do Curso de Engenharia  
Mecânica.

Orientador: Prof. Dr. Eng. Eduardo  
Nabinger

**CAXIAS DO SUL**

**2014**

**RICHER GARCIA PEREIRA**

**ESTUDO PARA SUBSTITUIÇÃO DE PORCAS SOLDADAS  
POR PORCAS AUTOCRAVANTES**

Trabalho de conclusão de curso de graduação,  
apresentado como requisito final para obtenção  
do título de Bacharel em Engenharia Mecânica  
pela Universidade de Caxias do Sul.

**Aprovado em 23/06/2014**

**Banca Examinadora**



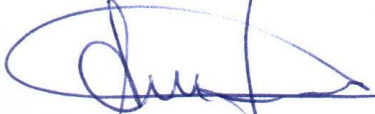
---

Prof. Eduardo Nabinger, Dr. Eng.  
Universidade de Caxias do Sul - UCS



---

Prof. Marcos Alexandre Luciano, Dr. Eng.  
Universidade de Caxias do Sul - UCS



---

Prof. Albano Luiz Weber, M. Eng.  
Universidade de Caxias do Sul - UCS

## RESUMO

A alta competitividade na indústria exige a busca constante por processos mais eficientes, ou seja, os desperdícios devem ser eliminados. Otimização de área produtiva, redução de estoques e eliminação de retrabalho decidem a permanência no mercado e o crescimento das empresas. Este estudo visa a substituição de porcas atualmente soldadas, por porcas autocravantes especialmente desenvolvidas para promover uma rosca fêmea. Para viabilizar o projeto foi avaliada a junta parafusada, realizado o estudo de geometria, processo de fabricação e interferência entre o furo e a porca autocravante para garantir a resistência as cargas de aplicação do produto e os demais requisitos do projeto. Além dos estudos estatísticos utilizados como referência para definição dos processos, foram realizados estudos com base no referencial teórico e testes de extração e torque das porcas cravadas em placa metálica. Para permitir a medição dos dados foram confeccionados dispositivos apropriados e utilizados os equipamentos específicos. Busca-se atingir uma significativa redução de custos e estoque em processo eliminando e melhorando operações otimizando o processo de produção da Torre da suspensão de cabine onde atualmente as porcas são soldadas.

**Palavras-chave:** Porca autocravante. Cravamento. Interferência

**Área de conhecimento:** Engenharia Mecânica, Junta parafusada e Montagem com Interferência. Estatística

## **ABSTRACT**

The high competitiveness in the industry requires constant search for more efficient processes, waste should be disposed. Optimization of production space, inventory reduction and elimination of rework decide to stay in the market and business growth. This study aims to replace currently welded nuts for nuts fixed self specially developed to promote a female thread. To make the project evaluated the screw joint, conducted the study of geometry, manufacturing process and interference between the hole and the nut to ensure fixed self resistance loads of product application and other design requirements. Besides the statistical studies used as a reference for defining the processes, studies based on the theoretical framework and the extraction torque of the nuts and carved in metal plate tests were performed. To allow the measurement data suitable devices were manufactured and the specific equipment used. We seek to achieve a significant reduction in process costs and improving operations and eliminating optimizing the production process of the suspension tower cabin where now the nuts are welded.

**Keywords:** Nut fixed self. Crimping. Interference.

**Areas of expertise:** Mechanical Engineering. Screw joint and Mounting interference. Statistics

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Torre da suspensão de cabine.....	12
Figura 2 – Junta parafusada.....	14
Figura 3 – Formas de rosca padrão UNS e ISO.....	15
Figura 4 – Junta parafusada em tração.....	18
Figura 5 – Zona afetada pela tensão de compressão.....	18
Figura 6 – Carga-deflexão no parafuso e material sujeitado.....	19
Figura 7 – Ajuste com interferência.....	20
Figura 8 – Posição dos campos de tolerâncias.....	22
Figura 9 – Esquematização do processo de corte por jato de água com abrasivo.....	24
Figura 10 – Esquematização do processo de corte por feixe de laser.....	25
Figura 11 – Campos de aplicação de diferentes processos de corte.....	25
Figura 12 – Fluxograma estrutural das etapas do trabalho.....	29
Figura 13 – Porca autocravante.....	30
Figura 14 – Guia para escolha de pressão de cravamento.....	31
Figura 15 – Torquímetro de relógio e digital.....	32
Figura 16 – Dispositivo para extração de porcas.....	32
Figura 17 – Análise dimensional de amostras corte laser.....	34
Figura 18 – Distribuição furação corte laser.....	35
Figura 19 – Parâmetros estatísticos corte laser.....	36
Figura 20 – Exemplo definição do número de amostras utilizando o gráfico.....	37
Figura 21 – Análise dimensional de amostras furação por estampagem.....	38
Figura 22 – Distribuição furação por estampagem.....	38
Figura 23 – Parâmetros estatísticos furação por estampagem.....	39
Figura 24 – Torque furação corte laser.....	40
Figura 25 – Torque furação por estampagem.....	41
Figura 26 – Medição da força de extração.....	42
Figura 27 – Medição da força de extração furação corte laser.....	43
Figura 28 – Medição da força de extração furação por estampagem.....	43
Figura 29 – Deslocamento da pintura em furos menores que 10,20 mm.....	44

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Coeficiente de torque $K$ .....	16
--	----

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

$\mu$	Coeficiente de atrito [adimensional]
$\mu_g$	Coeficiente de atrito no corpo do parafuso [adimensional]
$\mu_k$	Coeficiente de atrito na cabeça do parafuso [adimensional]
$2\Delta r$	Interferência diametral [mm]
A	Área [mm <sup>2</sup> ]
a	Distância da linha de ação da carga $F_A$ [mm]
$A_b$	Área total de seção transversal [mm <sup>2</sup> ]
ABMA	Acoplamentos Flexíveis – Ajustes sem Chavetas
AGMA	American Gear Manufacturers Association
$A_t$	Área sob tensão de tração [mm <sup>2</sup> ]
d	Diâmetro externo [mm]
$D_A$	Diâmetro exterior da base [mm]
$D_{A, Gr}$	Máximo diâmetro do cone de deformação [mm]
$d_p$	Diâmetro primitivo [mm]
$d_r$	Diâmetro de raiz [mm]
E	Módulo de elasticidade [GPa]
$E_b$	Módulo de elasticidade do parafuso [GPa]
F	Força [N]
$F_A$	Carga axial [N]
$F_i$	Pré carga [N]
K	Coeficiente de torque [adimensional]
k	Constante de mola [adimensional]
$k_b$	Constante de mola do parafuso [adimensional]
$k_m$	Constante de mola do material [adimensional]
l	Comprimento de rosca [mm]
$l_s$	Comprimento sem rosca [mm]
$l_t$	Comprimento de rosca carregada axialmente [mm]
N	Número de filetes por polegada
$N$	Força normal [N]
p	Passo [mm]
$p$	Pressão criada pelo ajuste [MPa]



$P/2$	Metade da força aplicada [N]
$r$	Raio nominal [mm]
$r_i$	Raio interno [mm]
$r_o$	Raio externo [mm]
$T$	Torque [N]
UNS	Unified National
$\nu$	Coefficiente de Poisson [adimensional]
$\delta$	Resiliência [Pa]
$\delta_b$	Resiliência do parafuso [Pa]
$\delta_m$	Resiliência do material [Pa]
$\Delta r$	Diferença de raio entre o furo e o eixo [mm]

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>12</b>
1.1	JUSTIFICATIVA .....	13
1.2	OBJETIVOS .....	13
<b>1.2.1</b>	<b>Objetivo Geral.....</b>	<b>13</b>
<b>1.2.2</b>	<b>Objetivos Específicos .....</b>	<b>13</b>
<b>2</b>	<b>FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA .....</b>	<b>14</b>
2.1	JUNTAS PARAFUSADAS.....	14
<b>2.1.1</b>	<b>Dimensionamento de Juntas Parafusadas .....</b>	<b>15</b>
<b>2.1.2</b>	<b>Atrito na Junta Parafusada .....</b>	<b>19</b>
2.2	MONTAGEM COM INTERFERÊNCIA .....	20
<b>2.2.1</b>	<b>Criação de Junta Apertada.....</b>	<b>21</b>
<b>2.2.2</b>	<b>Tensões nos Ajustes de Interferência .....</b>	<b>22</b>
2.3	FURAÇÃO .....	23
<b>2.3.1</b>	<b>Corte por Jato de Água .....</b>	<b>23</b>
<b>2.3.2</b>	<b>Furação por Corte Laser.....</b>	<b>24</b>
2.4	ESTATÍSTICA BÁSICA .....	26
<b>3</b>	<b>DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO.....</b>	<b>27</b>
3.1	CARACTERIZAÇÃO DO PRODUTO .....	27
3.2	REQUISITOS DO PROJETO .....	28
3.3	METODOLOGIA.....	28
3.4	PLANEJAMENTO DOS TESTES.....	29
<b>3.4.1</b>	<b>Avaliação da Pintura .....</b>	<b>29</b>
<b>3.4.2</b>	<b>Cravamento das Porcas.....</b>	<b>30</b>
<b>3.4.3</b>	<b>Medição do Torque.....</b>	<b>31</b>
<b>3.4.4</b>	<b>Medição da Força de Extração .....</b>	<b>32</b>
<b>4</b>	<b>ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS.....</b>	<b>34</b>
4.1	ESTUDO ESTATÍSTICO .....	34
<b>4.1.1</b>	<b>Estudo Estatístico Corte Laser .....</b>	<b>34</b>
<b>4.1.2</b>	<b>Estudo Estatístico Furação por Estampagem .....</b>	<b>37</b>
4.2	ANÁLISE DO TORQUE .....	40
4.3	ANÁLISE DA FORÇA DE EXTRAÇÃO .....	42
4.4	INTEGRIDADE DA PINTURA .....	44

<b>5</b>	<b>CONCLUSÃO.....</b>	<b>45</b>
	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>46</b>
	<b>Apêndice 1 .....</b>	<b>48</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A empresa JOST Brasil Sistemas Automotivos LTDA, sediada em Caxias do Sul-RS, é resultado de uma *joint-venture* entre a empresa brasileira Randon S/A Implementos e Participações e a empresa alemã JOST-Werke. Fundada em 31 de agosto de 1995, a JOST produz sistemas e componentes aplicados a veículos para transporte de carga e implementos rodoviários, dentre os principais produtos estão Quinta-Roda, Pino-Rei, Aparelho de Levantamento, Suspensor Pneumático, Suspensão de Cabine, Engates Esférico e Automático e Porta Estepe. Certificada nas normas ISO 9001 e ISO/TS 16949 a JOST fornece para as principais implementadoras rodoviárias e montadoras de caminhões com sede no Brasil, sendo a líder nacional no mercado em que atua.

Um dos produtos fornecidos para uma montadora de caminhões são as Torres da suspensão de cabine, ilustrada na Figura 1. Neste produto são soldadas as quatro porcas objeto deste estudo. A função destas porcas é realizar a união móvel da barra de sustentação do paralamas do veículo a sua suspensão de cabine.

Figura 1 – Torre da suspensão de cabine



Fonte: Site JOST (2013)

O propósito da junta parafusada é manter duas ou mais peças unidas através de uma união móvel, esta união deve resistir aos esforços de aplicação do veículo. Para não afrouxar, a porca deve oferecer uma tensão ao parafuso. Essa tensão no parafuso permanecerá como a pré carga ou a força de retenção.

Para substituição da porca atualmente fixada na Torre pelo processo de solda o cravamento da porca na Torre deve suportar esta pré carga, sendo assim necessário o estudo de interferência, processo de furação e força de aplicação no cravamento.

## 1.1 JUSTIFICATIVA

No atual processo de produção da JOST as porcas das torres da suspensão de cabine, são soldadas antes do processo de pintura. Para atender o volume diário de 120 conjuntos, são necessários dois turnos de solda e também de montagem, pois a rosca das porcas deve estar isenta de pintura, para isto elas são repassadas no processo de montagem.

A substituição das porcas soldadas por porcas autocravantes na montagem elimina o processo de solda, que representa 7,70 % do custo total do produto. Com a eliminação do custo de soldagem e o volume diário estima-se uma significativa redução de custo. Além da extinção do retrabalho de repasse das roscas, pois o cravamento nas Torres deverá ser realizado após a pintura.

## 1.2 OBJETIVOS

### 1.2.1 Objetivo Geral

O objetivo deste trabalho é realizar o estudo e análise para substituição de porcas soldadas por porcas autocravantes, nas Torres da suspensão de cabine de caminhão.

### 1.2.2 Objetivos Específicos

- a) estudar os conceitos e aplicação do elemento de fixação e junta parafusada;
- b) estudar a interferência necessária, entre o furo e a porca, para suportar as cargas de torque e tração exigidos no produto;
- c) determinar processo ideal de furação que atenda as exigências do cravamento;
- d) verificar a força para realização do cravamento das porcas;
- e) medir a resistência da porca autocravante aos esforços de torque e tração;
- f) realizar avaliação econômica do projeto;
- g) verificar a influência do cravamento das porcas na integridade da pintura.

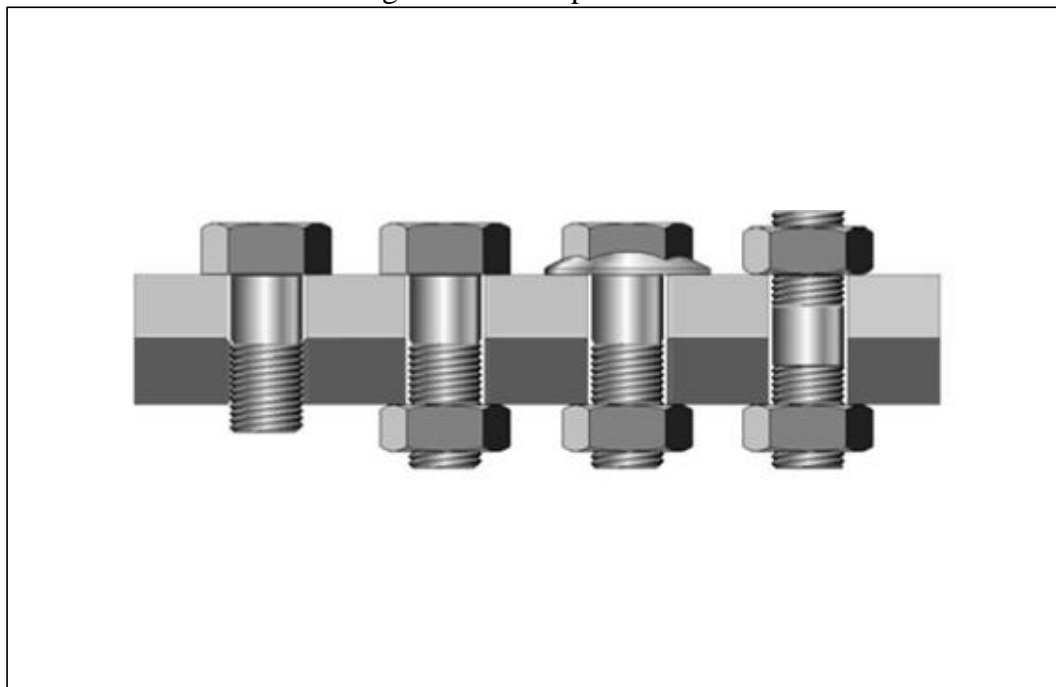
## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Este capítulo apresenta a fundamentação teórica envolvida neste estudo que visa a substituição das porcas soldadas por porcas autocravantes. Para isso, serão abordados assuntos ligados as variáveis do processo como o estudo de junta parafusada, montagem com interferência e o processo de furação. Será apresentada uma breve descrição do dimensionamento de junta parafusada, montagem com interferência, furação e análise estatística.

### 2.1 JUNTAS PARAFUSADAS

São consideradas juntas parafusadas um conjunto de duas ou mais placas unidas por um ou mais parafusos, podendo ser utilizadas porcas e arruelas como componentes da junta parafusada. A Figura 2 mostra as mais frequentes formas de junta parafusada, sendo ela apenas com parafuso, parafuso e porca, utilizando arruela na cabeça do parafuso ou duas porcas para fixação do parafuso. Os parafusos devem ser projetados para unir as placas de forma que permaneçam rigidamente fixadas, mesmo sob forças de trabalho (METALAC, 2009).

Figura 2 – Junta parafusada

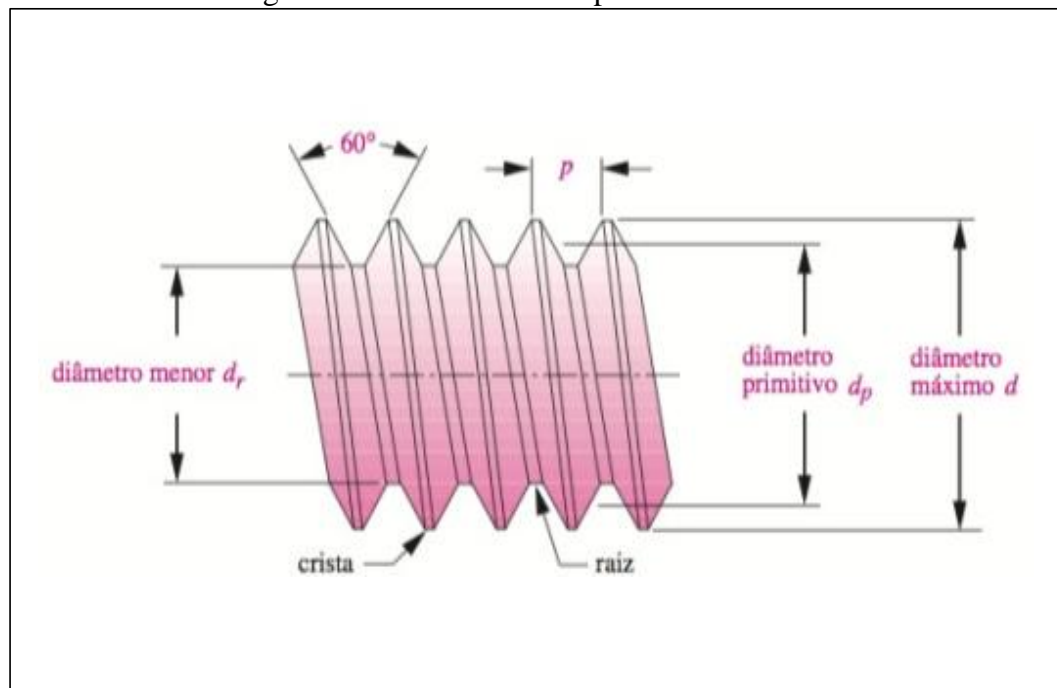


Fonte: Adaptado de Muniz, (2007)

A união por elementos roscados permite a montagem e a desmontagem dos componentes quando necessário. Estão disponíveis diversos tipos de fixadores roscados, porém todos possuem um elemento em comum, a rosca. Em termos gerais, a rosca é uma hélice que faz com que o parafuso avance sobre o material ou porca quando rotacionado. As roscas podem ser externas (parafuso atarrachante) ou internas (porcas ou furo rosqueado) (NORTON, 2007).

Após a Segunda Guerra Mundial as formas de roscas foram padronizadas entre os países fabricantes e possuem essencialmente a mesma forma de seção transversal, porém o sistema ISO utiliza dimensões métricas e o sistema UNS (Unified National) dimensões em polegadas, sendo assim os sistemas não são intercambiáveis. As formas de roscas padrão ISO e UNS estão representadas na Figura 3.

Figura 3 – Formas de rosca padrão UNS e ISO



Fonte: Norton, (2007)

### 2.1.1 Dimensionamento de Juntas Parafusadas

Os cálculos de uma junta rigidamente fixada, ou seja, todos os componentes estão em completo contato, possibilitam a determinação das dimensões do parafuso em função: da força de trabalho, resistência do parafuso, redução na força de montagem, dispersão da força de montagem durante o parafusamento e tensão de fadiga sob carga alternada (METALAC, 2009), sendo a área sob tração é definida pela equação 1.

$$A_t = \frac{\pi}{4} \left( \frac{d_p + d_r}{2} \right)^2 \quad (1)$$

Onde, para roscas UNS

$$d_p = d - 0,649519/N \quad (1.1a)$$

$$d_r = d - 1,299038/N \quad (1.1b)$$

e para roscas ISO

$$d_p = d - 0,649519p \quad (1.2a)$$

$$d_r = d - 1,299038p \quad (1.2b)$$

Esses cálculos são basicamente estruturados no conceito de que a dimensão do parafuso deve ser escolhida em função de uma pré-carga, a qual é entendida como múltipla de uma força de trabalho (METALAC, 2009).

Para a utilização do parafuso pela pré-carga, a tensão torcional desenvolvida pelo aperto é reconhecida usualmente pela utilização da hipótese de energia de deformação. A energia aplicada por torque ao sistema composto de um ou mais parafusos é dividida em duas parcelas. Uma das parcelas gera a força de montagem, ou força tensora, como citada por alguns autores. Outra parcela é consumida pelo sistema na forma de deformações e atrito entre as superfícies em contato, na rosca e nas faces das “cabeças” dos parafusos (MUNIZ, 2007).

A força tensora (pré carga) que realmente interessa para junção pode ser facilmente calcula pela equação 2 que relaciona o torque com a pré-carga nos parafusos. Porém dificilmente pode ser medida no ato da montagem, pois não se dispõe de sensores para medi-la (METALAC, 2009). A Tabela 1 apresenta os coeficientes de torque para as diferentes condições do parafuso.

$$T = K \cdot F_i \cdot d \quad (2)$$

Tabela 1 – Coeficiente de torque *K*

<b>Condição do parafuso de porca</b>	<b>K</b>
<b>Não metalizado (chapeado), acabamento negro</b>	0,30
<b>Chapeado de zinco (zincado)</b>	0,20
<b>Lubrificado</b>	0,18
<b>Chapeado de cádmio</b>	0,16

Fonte: Shigley, (2005)



A utilização da pré-carga na junta parafusada cria cargas de tração que se aproximam a resistência máxima tornando assim pouco provável que os parafusos rompam em serviço. O conhecimento da resiliência, tanto do parafuso como das peças fixadas por estes, é essencial para a determinação do parafuso a ser usado, através da equação 3 pode se calcular esta resiliência. Qualquer que seja o material sujeitado, este terá uma constante de mola e irá comprimir-se quando for apertado pelo parafuso que irá se estender quando apertado, conforme equação 4.

$$\delta = \frac{F \cdot l}{E \cdot A} \quad (3)$$

$$k = \frac{F}{\delta} = \frac{A \cdot E}{l} \quad (4)$$

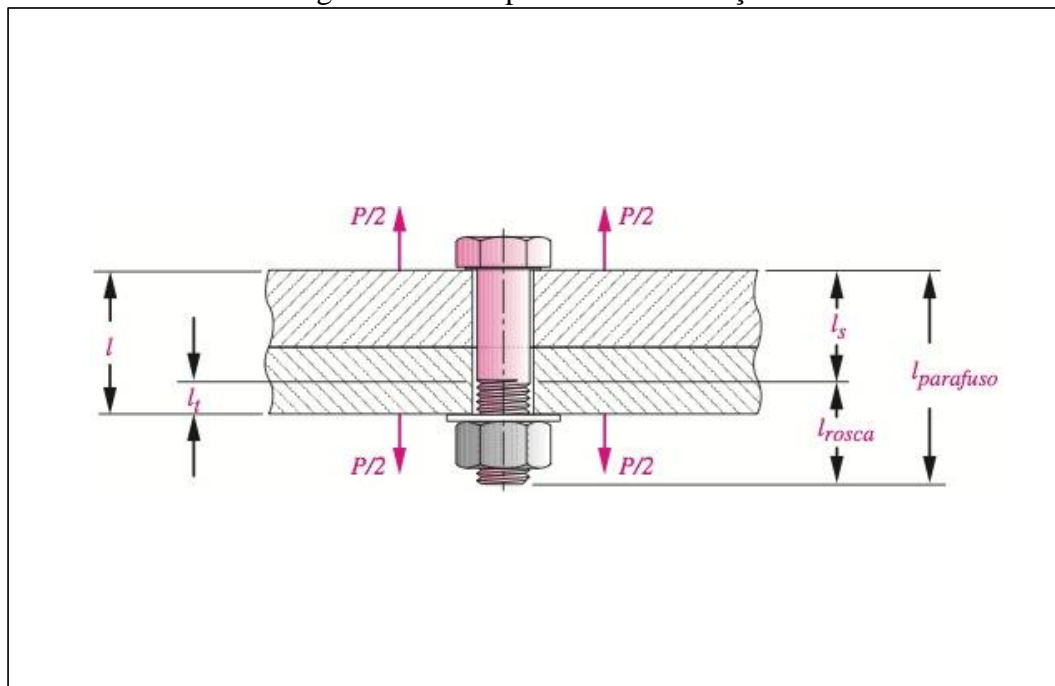
A junta parafusada contém, de modo geral, duas ou mais peças e estas podem ser de diferentes materiais e cada material tem suas propriedades que devem ser consideradas. Além disso, um parafuso extenso terá roscas sobre uma porção apenas de seu comprimento e, portanto, apresentará duas áreas de seção transversal. Essas seções de diferente rigidez atuam como molas que se combinam de acordo com a equação 5 (NORTON, 2007).

$$\frac{1}{k_{total}} = \frac{1}{k_1} + \frac{1}{k_2} + \frac{1}{k_3} + \dots + \frac{1}{k_n} \quad (5)$$

Segundo Norton (2007), para um parafuso redondo de diâmetro  $d$  e comprimento de rosca carregada axialmente  $l_t$ , dentro do comprimento de zona sujeitada  $l$ , como mostrado na Figura 4 a constante de mola é:

$$\frac{1}{k_b} = \frac{l_t}{A_t E_b} + \frac{l - l_t}{A_b E_b} = \frac{l_t}{A_t E_b} + \frac{l_s}{A_b E_b} \quad (6)$$

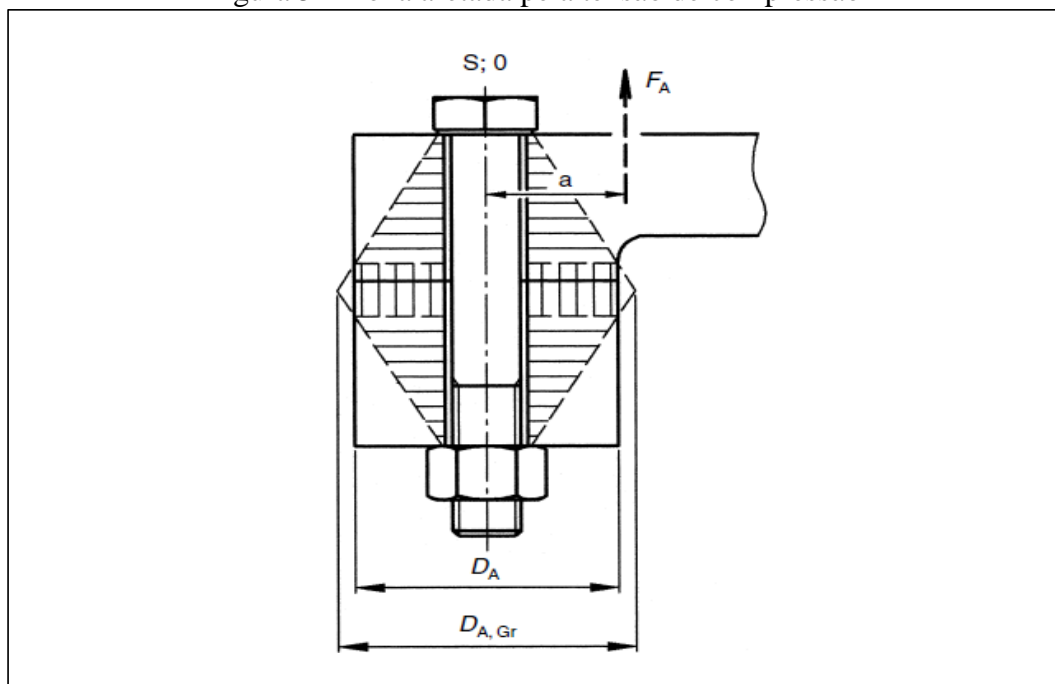
Figura 4 – Junta parafusada em tração



Fonte: Norton, (2007)

A região tensionada forma um cone a partir da cabeça do parafuso e/ou porca, conforme Figura 5, dando-nos de forma simplificada a zona afetada pela tensão de compressão, a qual cresce linearmente, a partir da cabeça do parafuso para a interface (METALAC, 2009).

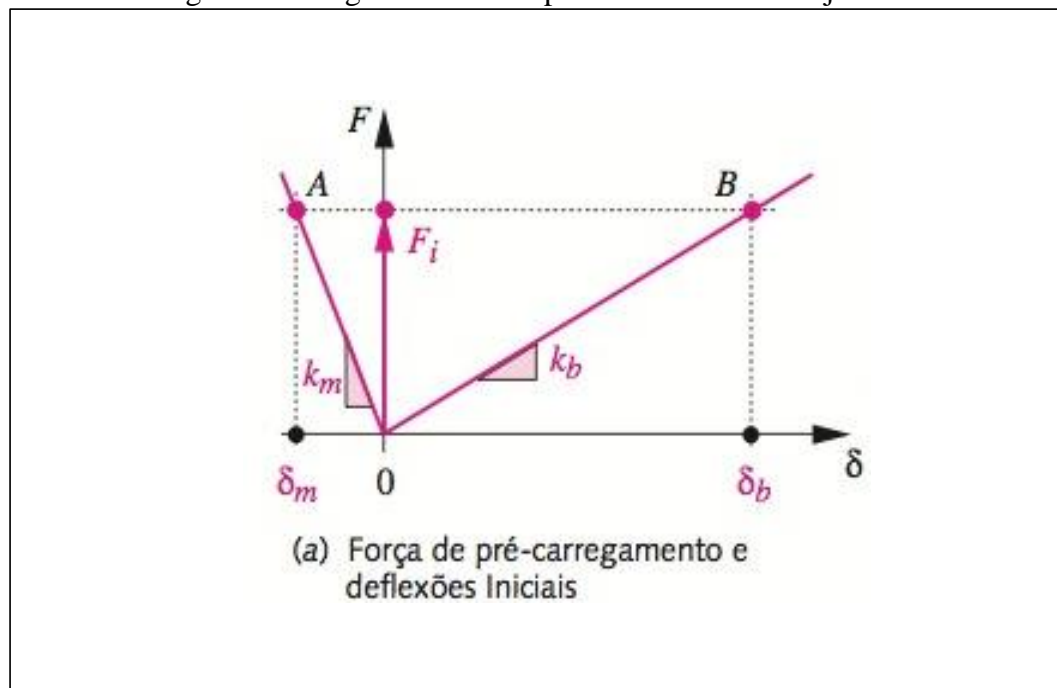
Figura 5 – Zona afetada pela tensão de compressão



Fonte: VDI 2230, (2003)

A Figura 6 apresenta um gráfico do comportamento carga-deflexão de ambos o parafuso e o material sujeitado em eixos comuns com o comprimento inicial tomado como deflexão  $\delta$  zero. A inclinação da linha correspondente ao parafuso é positiva porque seu comprimento aumenta com o aumento da força. A inclinação da linha correspondente ao material é negativa, uma vez que o seu comprimento diminui com o aumento da força. O material é mostrado mais rígido que o parafuso, uma vez que a sua área é, em geral, maior e estamos assumindo que o parafuso tem o mesmo material.

Figura 6 – Carga-deflexão no parafuso e material sujeitado



Fonte: Norton, (2007)

Porém para obter a força de montagem no aparafusamento desejado a parcela de energia consumida pelo sistema na forma de deformações e atrito entre as superfícies de contato torna-se um ponto crítico.

### 2.1.2 Atrito na Junta Parafusada

O coeficiente de atrito é definido como: “A relação entre a força que oferece resistência ao movimento tangencial entre dois corpos e à força normal pressionando estes corpos.” (BLAU, 1995).

$$\mu = \frac{F}{N} \quad (7)$$

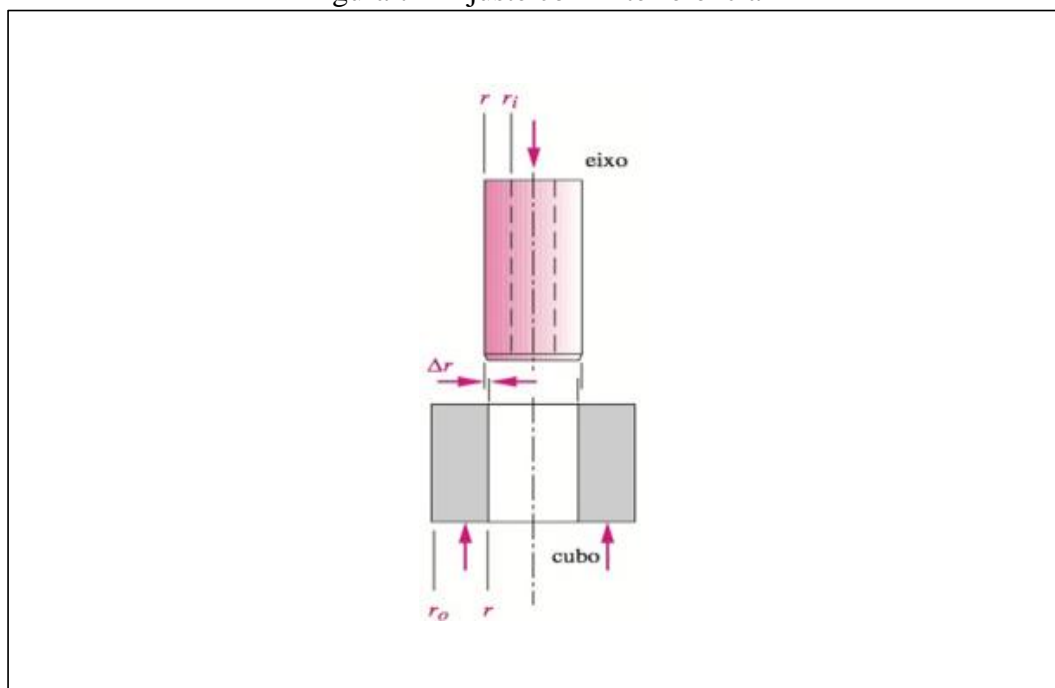
O coeficiente de atrito é uma grandeza adimensional. Sua interpretação é realizada de duas maneiras, coeficiente de atrito Dinâmico e Estático. O coeficiente de atrito dinâmico é utilizado numericamente nos cálculos de juntas parafusadas, porém o travamento final da junta é feito pelo coeficiente de atrito estático este é o responsável pelo torque final de desaperto da junta (MUNIZ, 2007).

Para reduzir o atrito e o desgaste entre as superfícies é utilizada lubrificação, seu uso vai se restringir a diminuir o atrito dinâmico durante a aplicação do torque, até o ponto onde a força axial gerada seja a força de montagem aplicada por torque ao sistema (MUNIZ, 2007).

## 2.2 MONTAGEM COM INTERFERÊNCIA

A montagem com interferência permite a transmissão de torque e a resistência a cargas axiais. A quantidade de interferência necessária para criar uma junta apertada varia com o diâmetro de eixo ou furo. Um ajuste é obtido fazendo o furo ligeiramente menor que o eixo como mostrado na Figura 7.

Figura 7 – Ajuste com interferência



Fonte: Norton, (2007)

As duas partes são, forçadas lentamente em uma prensa de preferência com óleo lubrificante aplicado à junta. A deflexão elástica do eixo e do cubo atua no sentido de criar grandes forças normais e de atrito entre as partes. A força de atrito transmite o torque do eixo ao cubo e resiste igualmente a movimentos axiais. A American Gear Manufacturers Association (AGMA) publica uma padronização ABMA 9003-A91, Acoplamentos Flexíveis – Ajustes sem Chavetas (Flexible Couplings – Keyless Fits) que define fórmulas para o cálculo de ajustes de interferência (NORTON, 2007).

Outras técnicas também podem ser utilizadas para montagem com interferência como o ajuste por encolhimento, onde a peça furada é aquecida para expandir seu diâmetro interno, ou ajuste por expansão resfriando o eixo para reduzir seu diâmetro e quando a peça furada e o eixo entrarem em equilíbrio com a temperatura ambiente, suas variações dimensionais vão criar a interferência desejada. Outro método é expandir hidraulicamente a peça furada com óleo pressurizado por condutos no eixo ou na peça furada. Essa técnica também pode ser usada para remover um cubo.

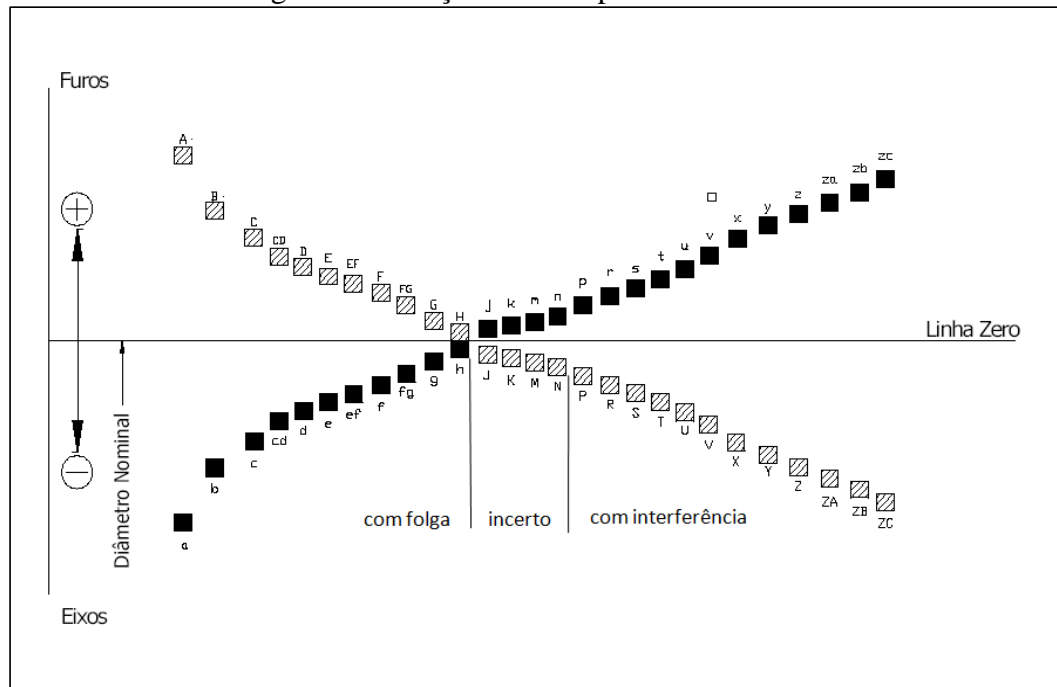
### **2.2.1 Criação de Junta Apertada**

A quantidade de interferência necessária para criar uma junta apertada varia com o diâmetro do eixo. O típico é aproximadamente 0,001 a 0,002 unidades de interferência diametral por unidade de diâmetro do eixo, técnica conhecida como A regra dos Milésimos, por exemplo, a interferência para um diâmetro de 25,4 mm seria cerca de 0,1016 mm, mas um diâmetro de 203,2 mm receberia somente cerca de 0,2286 a 0,254 mm de interferência (NORTON, 2007).

Outra regra mais simples para criação de uma junta apertada é usar 0,0254 mm de interferência para diâmetros até 25,4 mm e 0,0508 mm e para diâmetros de 25,4 até 101,6 mm (NORTON, 2007).

A Figura 8 representa esquematicamente as posições dos campos de tolerâncias para eixos e furos, onde a letra traduz a posição no campo de tolerância e o número a qualidade de trabalho, sendo de 01 a 04 para calibradores, 04 a 11 para acoplamentos e de 11 a 16 para execuções grosseiras. Este sistema de campos de tolerância é tipicamente utilizado para cotar furos e eixos em desenhos técnicos, substituindo as especificações de tolerância numérica e padronizando os documentos.

Figura 8 – Posição dos campos de tolerâncias



Fonte: Braga, (2013)

### 2.2.2 Tensões nos Ajustes de Interferência

Um ajuste de interferência cria o mesmo estado de tensão no eixo que uma pressão uniforme externa criaria na sua superfície. A peça furada experimenta as mesmas tensões que um cilindro de parede grossa sujeito à pressão interna. A pressão  $p$  criada pelo ajuste à pressão pode ser encontrada pela deformação dos materiais causada pela interferência, conforme a equação 8 (NORTON, 2007).

$$p = \frac{0,5 \cdot (2\Delta r)}{\frac{r}{E_0} \left( \frac{r_0^2 + r^2}{r_0^2 - r^2} + \nu_0 \right) + \frac{r}{E_i} \left( \frac{r^2 + r_i^2}{r^2 - r_i^2} - \nu_i \right)} \quad (8)$$

O torque que pode ser transmitido por ajuste de interferência e pode ser definido em termos da pressão  $p$  na interface, o que cria de atrito no raio do eixo (NORTON, 2007).

$$T = 2\pi r^2 \mu p l \quad (9)$$

A padronização da AGMA (2003 *apud* NORTON, 2007) sugere um valor de  $0,12 \leq \mu \leq 0,15$  para cubos expandidos hidraulicamente e  $0,15 \leq \mu \leq 0,20$  para cubos de ajuste por encolhimento ou pressão. A AGMA supõe um acabamento superficial de  $1,6 \mu\text{m Ra}$ , o que requer um acabamento polido em ambos os diâmetros (NORTON, 2007).

## 2.3 FURAÇÃO

Serão estudados dois processos de furação buscando verificar o que melhor atende as exigências para cravamento da porca. Uma descrição resumida dos princípios básicos e uma análise das principais vantagens e desvantagens serão realizadas. Dentre os processos estudados estão o corte a laser e o corte por jato de água.

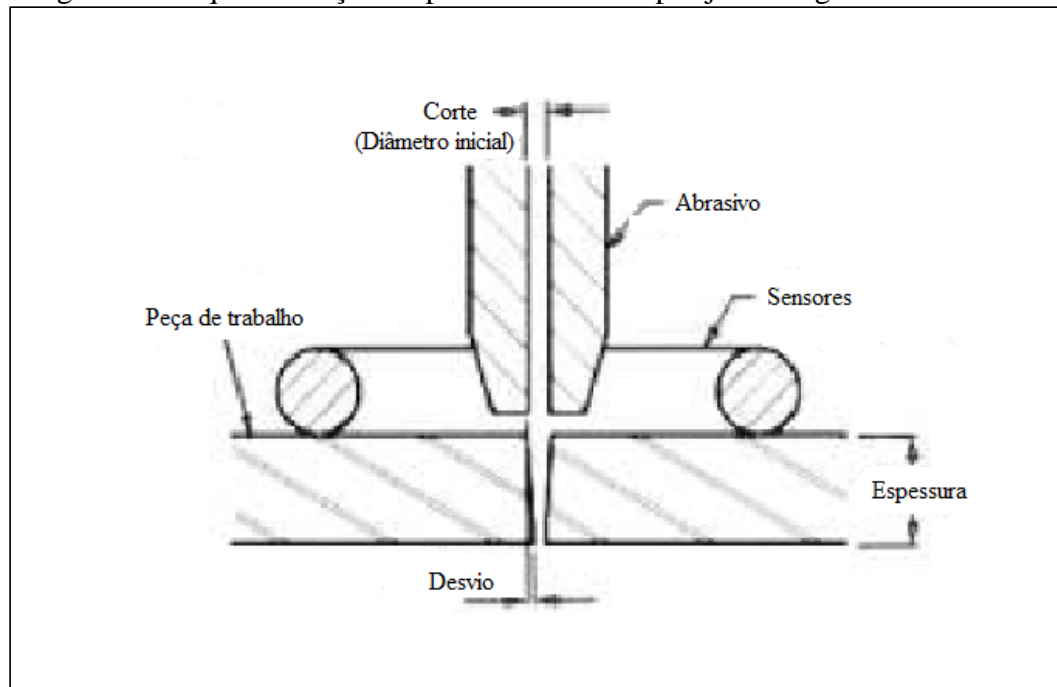
### 2.3.1 Corte por Jato de Água

No corte por jato de água utiliza-se água pura, comprimida num grupo de motobombas que acionam um multiplicador de pressão. A água, a pressão elevada (300 MPa a 600 MPa) é armazenada num acumulador que regulariza o débito de saída do fluido. Por intermédio de tubos de alta pressão, ligações flexíveis e serpentinas, o líquido é propulsionado através de um bocal usualmente em metal duro ou safira que assegura a coerência e o diâmetro do jato (SANTOS; QUINTINO; MIRANDA, 1993).

O corte é realizado pelo jato de água com abrasivo, a alta velocidade, ao sair do orifício do bocal, o jato corta por desgaste e abrasão. As substâncias abrasivas existem na forma de partículas (sílica) e, mais recentemente, sob a forma de gel. O mecanismo de corte provoca uma deformação na superfície cortada e o ângulo das estrias depende da relação de velocidade de translação da peça e a potência de corte, conforme Figura 9.

As vantagens do corte por jato de água são: a possibilidade de cortar formas tridimensionais, ausência de contato entre a ferramenta e a peça, inexistência de efeitos térmicos, inexistência de distorções, possibilidade de cortar multicamadas sem redução da qualidade de corte e corta com facilidade materiais difíceis de cortar por laser, como alumínio e aço inox. Conforme Gordo, dependendo da composição do aço pode ser economicamente viável para espessuras entre 1 e 50 mm para Porém além do custo do equipamento sua largura de corte, velocidade e rugosidade são desvantagens em comparação ao corte laser. A precisão de corte é de aproximadamente 0,1 mm e tolerância de 0,2 mm para espessuras baixas.

Figura 9 – Esquemática do processo de corte por jato de água com abrasivo



Fonte: Gordo; Carvalho (2006)

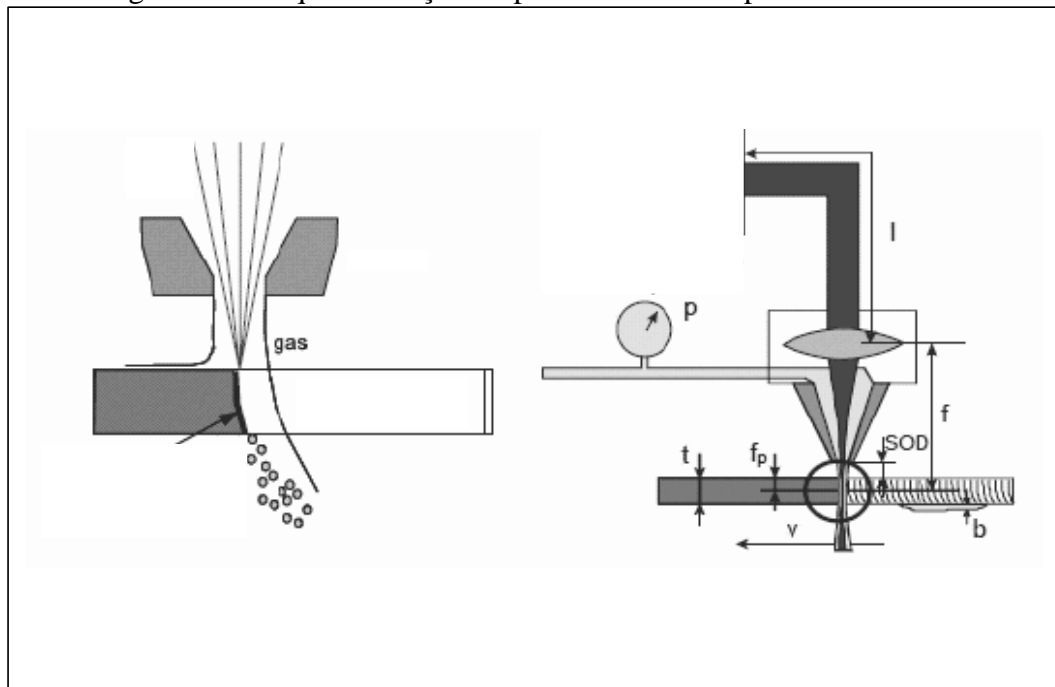
### 2.3.2 Furação por Corte Laser

Os lasers têm sido usados com sucesso para cortar, soldar e perfurar uma grande diversidade de materiais. O princípio do corte por laser, pode ser resumido do seguinte modo: um feixe laser é focado na superfície do material a cortar, por meio de um sistema óptico, até atingir uma mancha de diâmetro 0,1 mm a 0,2 mm, conseguindo assim um feixe com potência de saída de 100 W, uma densidade de energia de  $10^5 \text{ Wmm}^{-2}$ . Este feixe de elevada densidade de energia funde o material no ponto de interação. A injeção sob pressão de um jato de gás, coaxial com o feixe, faz a remoção do material fundido, obtendo-se assim a separação das duas partes, conforme esquematização Figura 9 (SANTOS; QUINTINO; MIRANDA, 1993).

Entre as vantagens do corte laser estão: a variedade enorme de materiais que pode ser processado, incluindo materiais não metálicos, possibilidade de utilizar o equipamento para outros fins como soldadura e tratamentos térmicos, possibilidade de cortar formas tridimensionais, estreita zona termicamente afetada, larguras de corte pequenas, ausência de contato físico entre a “ferramenta de corte” e o material, processo silencioso e rápido, flexibilidade e rapidez na mudança de projeto, excelente acabamento com precisão de 0,025 mm e tolerância de 0,05 mm. São consideradas desvantagens o custo do processo e a espessura de corte não muito elevada.



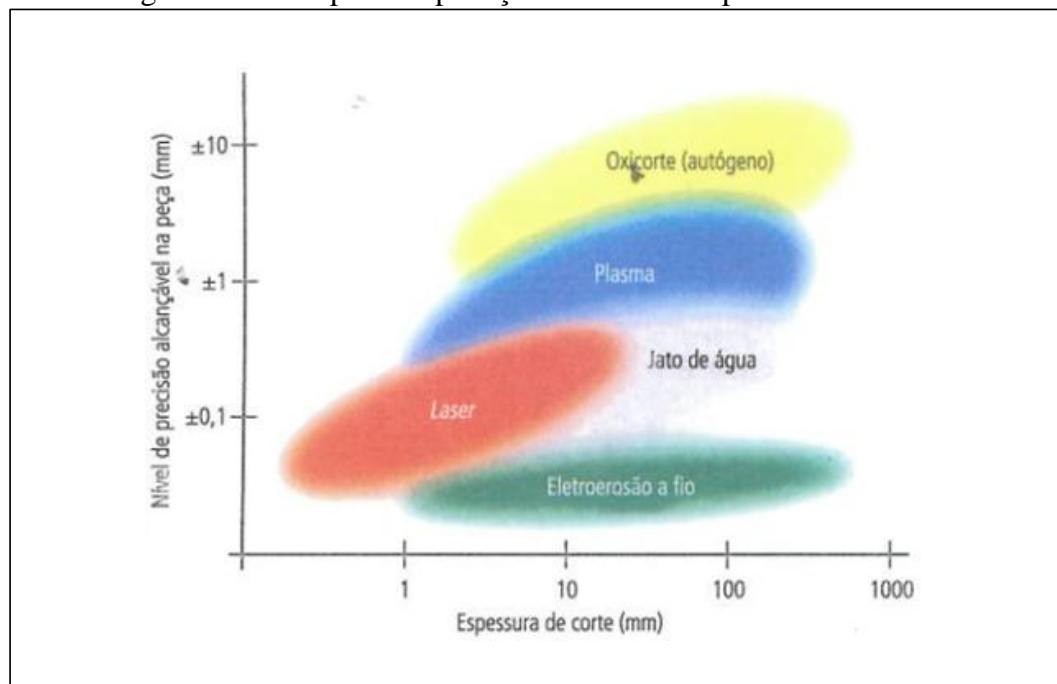
Figura 10 – Esquemática do processo de corte por feixe de laser



Fonte: Gordo; Carvalho (2006)

A Figura 11 apresenta o comparativo entre os processos, em função da espessura e o nível de precisão. Cada processo abrange regiões no campo multidimensional se sobrepondo de maneira parcial. Nestes casos, além do custo, a escolha deve levar em consideração o respectivo caso de aplicação, de acordo com os recursos tecnológicos disponíveis.

Figura 11 – Campos de aplicação de diferentes processos de corte



Fonte: Corte & Conformação de Metais (2011)

## 2.4 ESTATÍSTICA BÁSICA

Conforme Bruni (2008) a estatística pode ser definida como a ciência que tem como objetivo a coleção, a análise e a interpretação de dados quantitativos ou qualitativos a respeito de fenômenos coletivos ou de massa. Este capítulo apresenta o estudo de alguns conceitos básicos de estatística que serão utilizados na análise do desenvolvimento do trabalho.

As medidas de tendência central caracterizam os grupos como um todo, a média provavelmente é a medida mais empregada em estatística, ela corresponde ao centro geométrico de um conjunto de dados exibindo um valor único utiliza todos os dados para o seu cálculo. A média aritmética é definida pelo somatório de todos os dados e dividido pela quantidade de números da série. Quando são analisados todos os dados, diz-se tratar de uma média populacional, quando não são analisados todos os dados de uma população esta sendo utilizada uma média amostral (BRUNI, 2008).

O desvio padrão é classificado como uma medida de dispersão que completa a informação contida nas medidas de ponto central, revelando o afastamento relativo ou absoluto dos dados. O desvio padrão ajuda a entender como os valores individuais dentro de um conjunto de dados variam em torno da média. Ele corresponde a raiz quadrada da variância, ou a raiz quadrada do somatório do quadrado da diferença entre os elementos de um conjunto e sua média aritmética, posteriormente dividindo pela quantidade de números do conjunto. Quanto maior a dispersão, menor a informação contida no ponto central (BRUNI, 2008).

Quando se toma uma amostra de tamanho  $n$  de uma população qualquer e se deseja estimar a sua média populacional  $\mu$ , mediante cálculo da média amostral incorre-se um certo erro. O erro de estimativa é definido pela diferença entre a média amostral e a verdadeira média populacional. Porém como não sabemos o verdadeiro valor da média da população, estimamos que ela seja a média amostral, mais ou menos um valor de erro calculado pela equação 10 (LUCHESA, 2011).

$$e = z \cdot \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \quad (10)$$

### 3 DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO

Este capítulo apresenta o desenvolvimento do trabalho para substituição da porca soldada por uma porca autocravante na Torre da suspensão de cabine, envolvendo aspectos como o detalhamento do produto e requisitos do projeto, metodologia de trabalho além do planejamento das medições.

#### 3.1 CARACTERIZAÇÃO DO PRODUTO

As Torres da suspensão de cabine são fabricadas em chapas de aço LN-RAND 380, equivalente a LN 38, com 8 mm de espessura, cortadas a laser e estampadas em ferramenta com três estágios. No atual processo de produção da JOST as porcas das Torres da suspensão de cabine, são soldadas antes do processo de pintura. Para atender o volume diário de 120 conjuntos, são necessários dois turnos de solda e também de montagem, pois a rosca das porcas deve estar isenta de pintura, para isto elas são repassadas no processo de montagem onde também é realizado o cravamento dos parafusos, por prensa hidráulica utilizando ferramental específico e as inspeções necessárias antes da embalagem do produto.

Para alta proteção anticorrosiva e tratamento estético as Torres passam por dois processos de pintura. O processo de eletrodeposição, também conhecido como electrocoat, elpo, e-coat ou eletropintura protege o componente da corrosão. Baseado no princípio de atração elétrica entre cargas opostas, o processo em questão gera uma diferença de potencial entre a peça e o banho de pintura, proporcionando a migração das partículas sólidas deste banho para a superfície a ser recoberta. No processo de eletrodeposição catódica a peça recebe cargas negativas, proporcionando a atração das partículas sólidas positivamente carregadas, sendo este encerrado apenas quando a superfície metálica estiver isolada eletricamente, ou seja, quando toda ela apresentar cobertura do filme de tinta. O processo de pintura líquida top-coat é o responsável pelo acabamento da pintura sua espessura varia entre 60 e 120  $\mu\text{m}$ .

A junta parafusada é composta por duas chapas metálicas sendo uma delas a barra de sustentação do paralama do veículo e a outra a Torre da suspensão de cabine, fixadas por porca e parafuso M8 classe 12.9. No material base (Torre) com 8 mm de espessura, estima-se o diâmetro do furo para cravamento da porca, com base no referencial teórico, de 10,2 mm contendo pintura e-coat e top-coat. A porca possui 10,44 mm de diâmetro e 2,21 de altura na região de cravamento além de um rebaixo existem estrias que auxiliarão na completa fixação

da porca ao material base após o cravamento. O parafuso será montado pelo cliente na montadora de caminhões utilizando parafusadeira pneumática.

### 3.2 REQUISITOS DO PROJETO

Para obter uma significativa redução de custo, tempo de operação e leadtime do item, além de otimizar o fluxo de produção, reduzir estoques e melhorar o aproveitamento da área produtiva. Na substituição da porca soldada por porca autocravante na Torre da suspensão de cabine, a porca deve suportar um torque de 50 Nm e 1,5 KN de tração aplicada.

Para atender as solicitações de carga na porca o diâmetro de montagem deve ser determinado de modo que proporcione a interferência mínima necessária bem como o processo de furação e a força de montagem da porca, para que esta não danifique a pintura durante o seu cravamento, sendo este realizado após a pintura eliminando o retrabalho de repasse das roscas na montagem e a operação de solda.

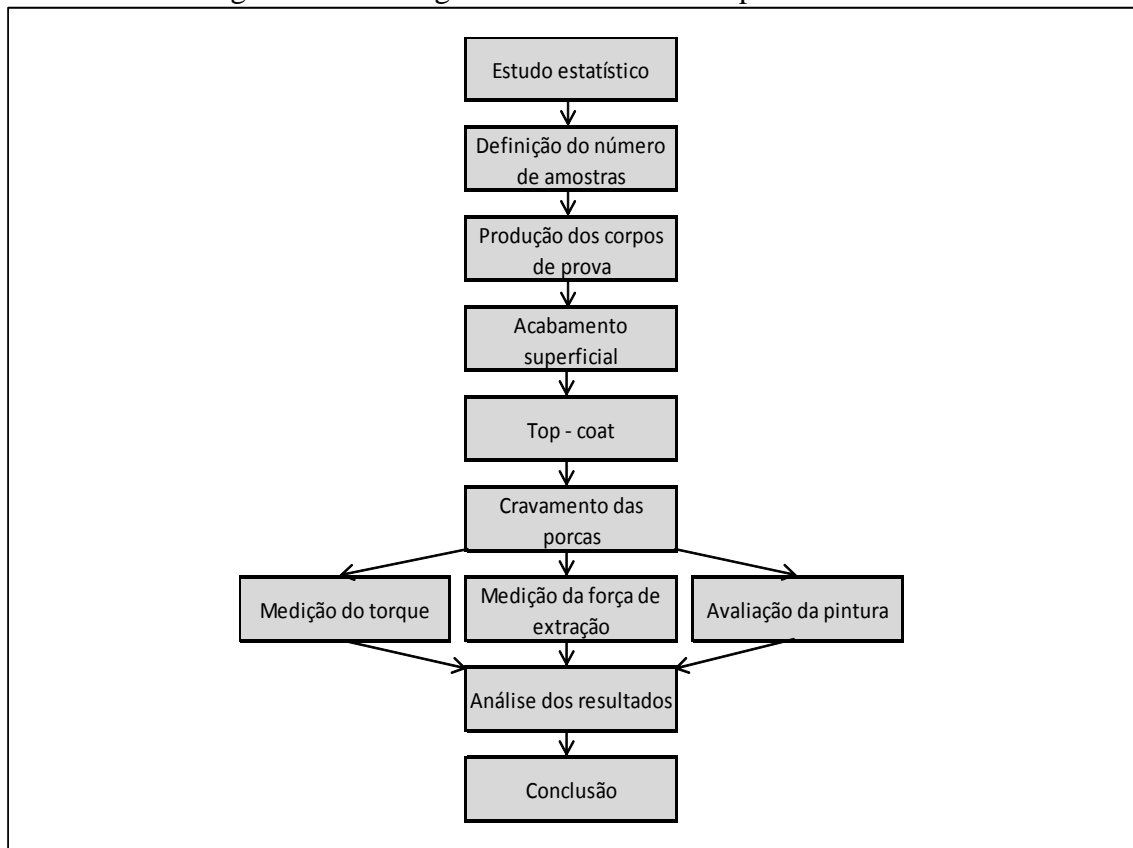
### 3.3 METODOLOGIA

Para utilização de porcas autocravantes atender aos requisitos do projeto de trabalho é necessária verificação e análise de dados e testes validando o projeto. A viabilidade econômica também precisa ser avaliada afim de atender a expectativa de redução de custo do produto.

A junta parafusada deve suportar as cargas solicitadas, sendo validada no teste de torque, onde todos os componentes da junta devem suportar o torque aplicado. Os corpos de prova devem ser fabricados conforme planejamento e análise estatística assim como os testes e medições do torque e da força de extração a serem realizadas com os equipamentos adequados. Os resultados devem ser comparados aos requisitos do projeto e validados após análise e discussão dos resultados.

Substituindo as porcas soldadas por porcas cravadas na montagem, o processo de solda é eliminado assim como o retrabalho de repasse das roscas, pois o cravamento nas Torres deve ser realizado após a pintura. As etapas do procedimento de trabalho devem ser seguidas conforme o fluxograma estrutural Figura 12.

Figura 12 – Fluxograma estrutural das etapas do trabalho



Fonte: Autor (2013)

### 3.4 PLANEJAMENTO DOS TESTES

O planejamento será detalhado para execução dos testes de torque e força de extração os corpos de prova serão produzidos conforme análise estatística realizada, porém limitados em função do custo e da quantidade de porcas disponibilizadas aos testes. Os testes contemplam a medição do torque e da força de extração em porcas cravadas em furos fabricados através de corte laser e furação por estampagem, também será realizada avaliação qualitativa do tratamento superficial.

Através do ensaio de cravamento serão avaliadas as tolerâncias no desempenho da extração e torque. A geometria dos diversos diâmetros de furos foi pré determinada com base no referencial bibliográfico.

#### 3.4.1 Avaliação da Pintura

Os corpos de prova receberão tratamento superficial de pintura e-coat e top-coat conforme requisito do cliente. A integridade da pintura deve ser preservada, portanto os

corpos de prova devem ser avaliados constantemente em cada etapa dos procedimentos experimentais.

A avaliação será realizada de forma qualitativa, verificando visualmente a ocorrência de danos, como por exemplo deslocamento ou trincas na pintura. Também deve ser observado em quais momentos ocorrem danos e suas eventuais causas, registrando as falhas através de fotos.

### 3.4.2 Cravamento das Porcas

As porcas autocravantes são desenvolvidas especialmente para promover uma rosca fêmea (sem necessidade de parafuso) de alta resistência mecânica capaz de suportar cargas em chapas com espessura a partir de 0,8 mm, podem ser fabricadas em aço carbono com endurecimento superficial (geralmente carbonitretação e em alguns casos cementação e revenimento) ou aço INOX AISI 303 ou 304, conforme Figura 13.

Figura 13 – Porca autocravante



Fonte: Rudolph (2013)

O ensaio de cravamento será realizado, em placas metálicas com espessura de 8 mm, onde será aplicado o processo de pintura e-coat e top-coat, contendo diversos furos com diferentes diâmetros, conforme a carga ideal indicada pelo fabricante Figura 14. A quantidade de furos necessária para validação dos testes foi determinada pelo estudo estatístico realizado.

Figura 14 – Guia para escolha de pressão de cravamento

Rosca	Para Chapas Fabricadas em		
	Aço	“Alumínio e suas Ligas”	“Cobre e suas Ligas”
M2	0,50 a 1,00 ton	0,20 a 0,70 ton	0,70 a 1,30 ton
M2,5	0,50 a 1,00 ton	0,20 a 0,70 ton	0,70 a 1,30 ton
M3	0,50 a 1,50 ton	0,50 a 1,00 ton	1,00 a 1,70 ton
M3,5	0,60 a 1,50 ton	0,50 a 1,00 ton	1,20 a 1,70 ton
M4	0,70 a 1,50 ton	0,50 a 1,00 ton	1,50 a 2,00 ton
M5	0,70 a 1,50 ton	0,70 a 1,50 ton	1,50 a 2,50 ton
M6	1,50 a 2,50 ton	1,00 a 2,50 ton	2,50 a 3,70 ton
M8	1,70 a 3,00 ton	1,50 a 3,00 ton	3,00 a 4,00 ton
M10	2,00 a 3,50 ton	2,00 a 4,00 ton	3,50 a 5,00 ton
M12	2,50 a 4,00 ton	2,30 a 4,50 ton	4,00 a 5,50 ton

Fonte: Rudolph (2013)

### 3.4.3 Medição do Torque

O ensaio de torque será realizado simulando a situação real de aplicação do produto, onde duas chapas de mesma espessura são fixadas pela junta parafusada de parafuso M8 classe 12.9 devendo suportar um torque de 50 Nm. As medições de torque serão feitas utilizando torquímeter digital de 0 Nm até 50 Nm e de relógio para torques acima de 50 Nm conforme Figura 15. A incerteza de medição dos torquímetros digital e de relógio é de mais ou menos 0,2 e 0,86 Nm respectivamente. Os registros dos torques medidos serão tabulados em gráficos, que representarão o comportamento do torque em função do diâmetro do furo.

Conforme especificação do projeto a junta deve suportar um torque de 50 Nm, onde nenhum componente da junta deve ser danificado, validando assim a resistência da junta especificada.

Figura 15 – Torquímetro de relógio e digital

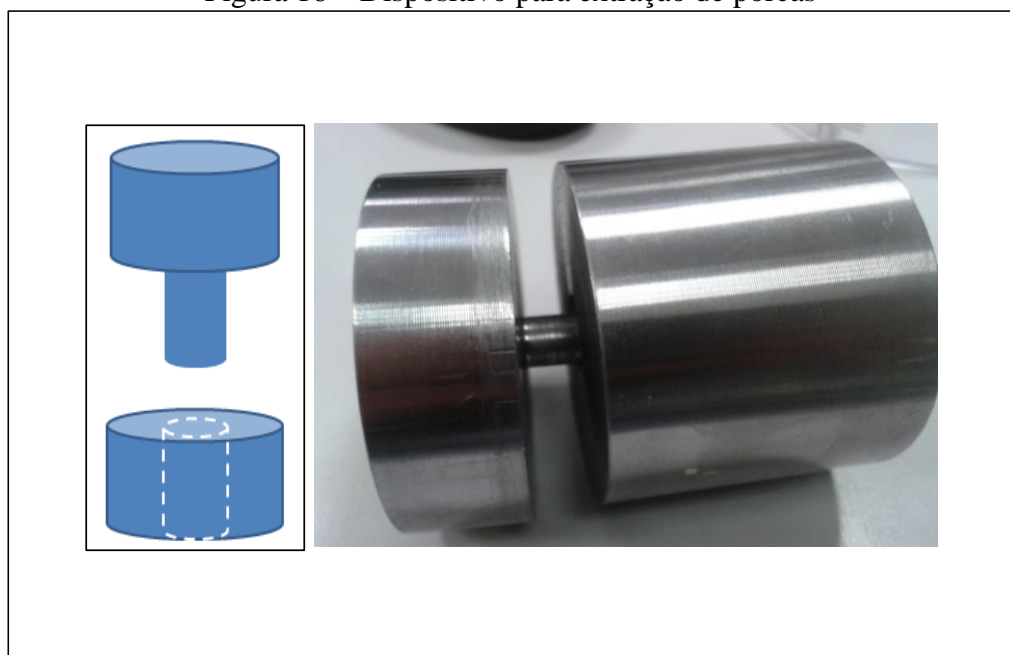


Fonte: Autor (2014)

#### 3.4.4 Medição da Força de Extração

Para extração das porcas cravadas foi elaborado e confeccionado o dispositivo de extração apresentado na Figura 16, ele possui um pino dimensionado para transmitir a força aplicada somente a porca que será extraída pelo furo da base inferior.

Figura 16 – Dispositivo para extração de porcas



Fonte: Autor (2014)



O dispositivo será montado no equipamento calibrado conforme a norma NBR ISO/IEC 17025 que realizará a medição da força necessária para extração da porca em função do tempo. As porcas cravadas devem suportar 1,5 kN de tração aplicada, convertendo para N o cravamento deve suportar 1500 N.

Os registros da força de extração medida serão tabulados em gráficos, que representarão o comportamento da força em função do tempo e do diâmetro de cada furo. A análise dos dados tabulados possibilitará a validação da resistência da porca autocravante a extração, que na aplicação do produto pode ocorrer no momento em que o parafuso estiver sendo montados, devido a utilização de parafusadeira.

## 4 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Juntamente com o estudo estatístico dos processos de furação, neste capítulo são apresentados os dados extraídos dos experimentos realizados com discussão e análise dos resultados obtidos. As medições dos dados seguem o planejamento realizado no capítulo 3.

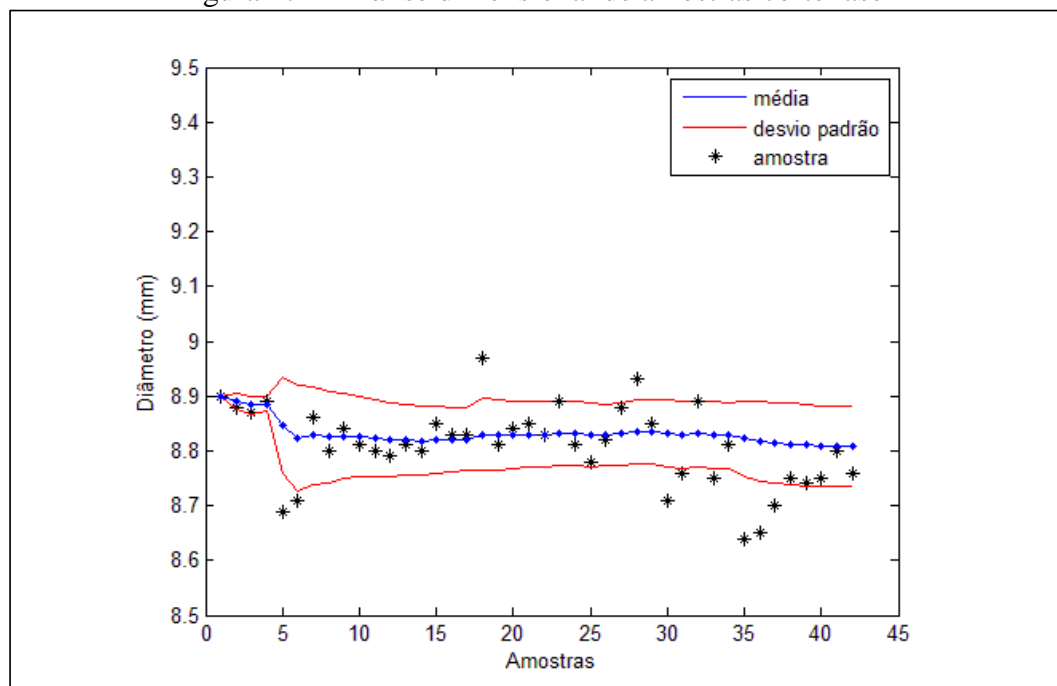
### 4.1 ESTUDO ESTATÍSTICO

O estudo estatístico foi realizado para definição do tamanho da amostra, ou seja, quantos elementos ou quantas observações da variável de interesse deve-se tomar da população ou do universo amostrado. Como instrumento de cálculo foi utilizado o software matemático MATLAB® (APÊNDICE 1). Além da definição do tamanho da amostra os dados estatísticos foram utilizados para análise dos processos de furação. As medições foram realizadas com paquímetro digital 150 mm com incerteza de medição de 0,01 mm.

#### 4.1.1 Estudo Estatístico Corte Laser

Os gráficos das Figuras 17, 18, 19 e 20 ilustram a análise estatística realizada na furação utilizando corte laser. O equipamento utilizado para este estudo foi a máquina corte laser instalada na JOST com 4000 W de potência.

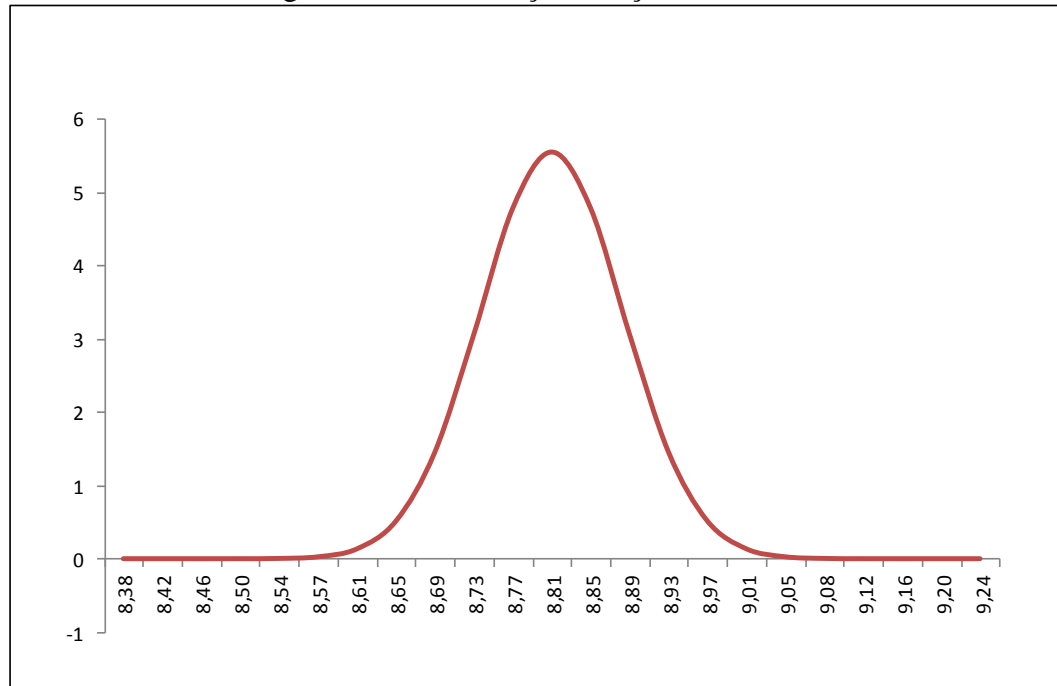
Figura 17 – Análise dimensional de amostras corte laser



Fonte: Autor (2013)

O gráfico acima apresenta o diâmetro das amostras, a média e o desvio padrão. Analisando os dados pode se constatar que a média se estabiliza como um número maior de amostras. A grande maioria das medições realizadas encontra-se dentro do desvio padrão, em vermelho, este também se mantém constante com o aumento do número de amostras. A Figura 18 representa a distribuição do processo de furação corte laser.

Figura 18 – Distribuição furação corte laser

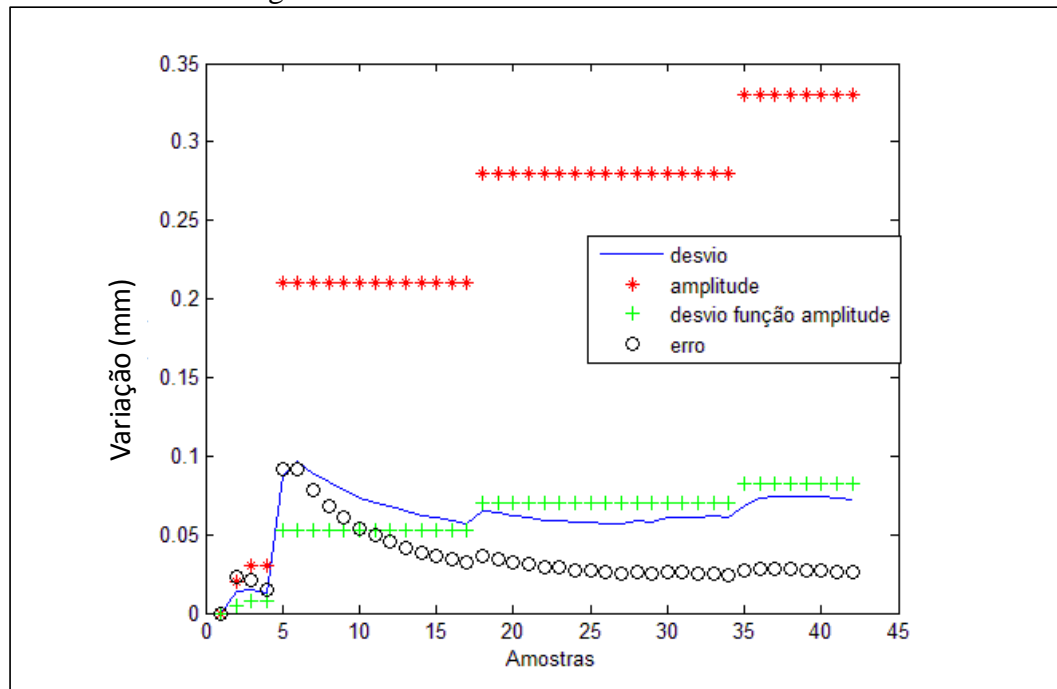


Fonte: Autor (2014)

O valor máximo e mínimo dos diâmetros são 8,97 mm e 8,64 mm respectivamente tendo como média 8,81 mm. O desvio padrão, que mostra o quanto há de dispersão dos valores medidos em relação a sua média, neste caso é de 0,072 mm. Portanto dentro de dois desvios, ou seja, 0,144 mm, encontram-se 95% das amostras. Com base no desvio padrão obtido pode-se afirmar que o diâmetro de 95% das amostras estão entre 8,66 mm e 8,95 mm.

O gráfico da Figura 19 apresenta a amplitude das amostras em vermelho, o erro amostral em preto, o desvio padrão em função da amplitude em verde e o desvio calculado com base na média amostral em azul. Com um maior número de amostras a amplitude tende a aumentar, ou seja, a diferença entre o maior e o menor diâmetro medido esta aumentando. Os desvios padrão tanto o calculado em função da amplitude (verde) quanto o calculado em função da média amostral (azul) tem comportamento estável a partir da décima quinta amostra.

Figura 19 – Parâmetros estatísticos corte laser



Fonte: Autor (2014)

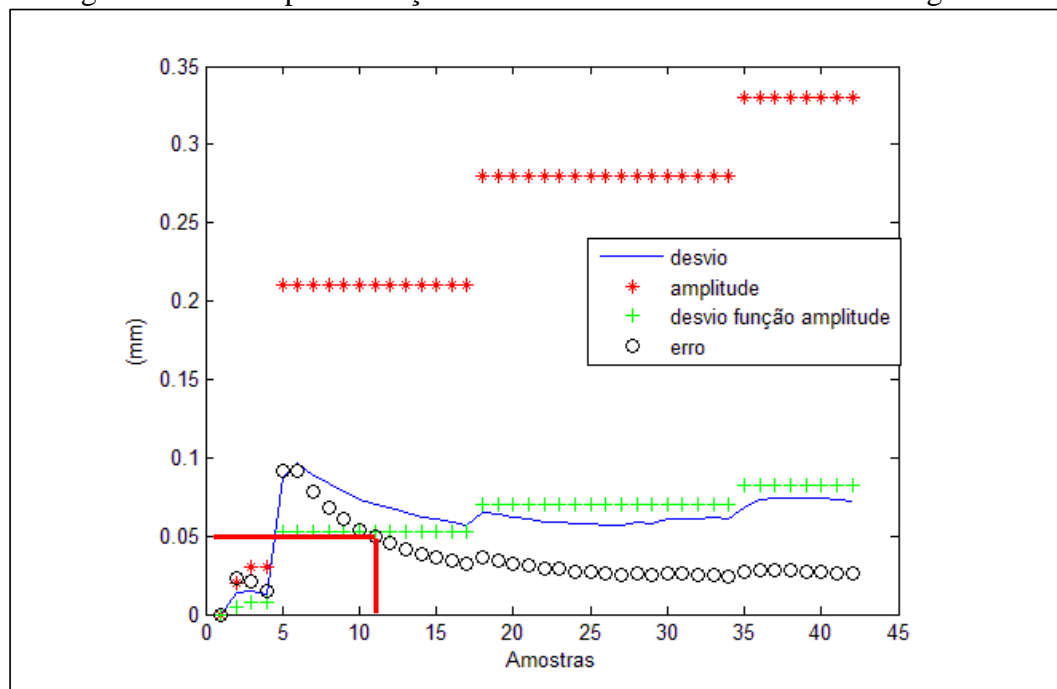
Nestas condições o erro se torna o principal parâmetro na definição do número de amostras necessárias para validação do experimento. Quando se toma uma amostra de tamanho  $n$  de uma população qualquer e se deseja estimar a sua média populacional  $\mu$ , mediante cálculo da média amostral, neste caso de 8,81 mm, incorre-se um certo erro. O erro de estimativa é definido pela diferença entre a média amostral e a verdadeira média populacional. Por se tratar de uma população infinita não sabemos o verdadeiro valor da média da população, assim estimamos que ela seja a média amostral, neste caso 8,81 mm, mais ou menos um valor de erro. Com a estabilização do desvio padrão o aumento do número de amostras não terá influência significativa sobre o erro de estimativa, este comportamento pode ser evidenciado no gráfico.

Deduzindo a equação 10 calcula-se o tamanho da amostra, onde o desvio padrão é dividido pelo erro de estimativa e multiplicado pelo índice que representa o intervalo de confiança, neste caso 95 % que é representado pelo índice 2,33. Portanto admitindo de 0,05 mm, ou seja, a média populacional pode estar entre 8,86 mm e 8,76 mm são necessárias 11 amostras. Deve levar em consideração a análise anterior onde 95% das amostras estão entre dois desvios, isto significa os valores podem variar de 8,62 (8,76 - 2 desvios) a 9,00 mm (8,86 + 2 desvios). Para um erro admitido de 0,02mm as dimensões variam entre 8,97 mm e 8,65 mm e o número de amostras necessárias aumenta consideravelmente em torno de 70. Portanto o desvio padrão que aparentemente é baixo e próximo as tolerâncias apresentadas na Figura

12 permitirá uma amplitude de 0,38 mm não atendendo as especificações de interferência para fixação da porca.

O número de amostras também pode ser identificado no gráfico da Figura 19, basta definir os parâmetros desejados no eixo “y” e relacionar com o eixo “x”, conforme exemplo apresentado na Figura 20 onde foi definido um erro de estimativa de 0,05 mm e através das retas em vermelho a relação entre os eixos corresponde a 11 amostras.

Figura 20 – Exemplo definição do número de amostras utilizando o gráfico



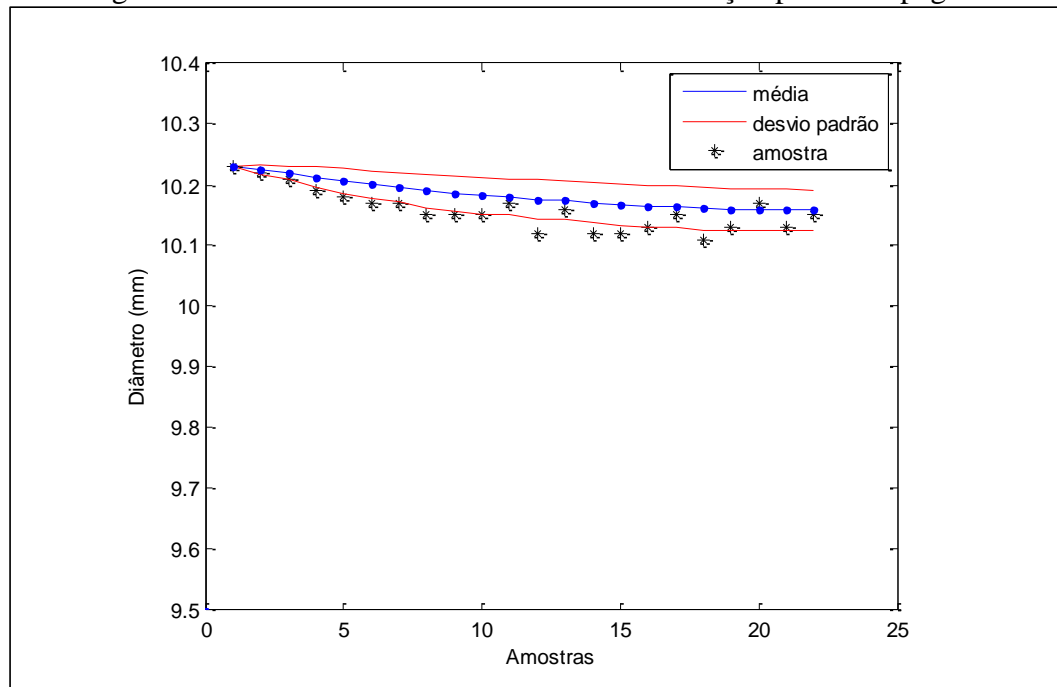
Fonte: Autor (2013)

#### 4.1.2 Estudo Estatístico Furação por Estampagem

Os gráficos das Figuras 21, 22 e 23 ilustram a análise estatística realizada na furação utilizando furação por estampagem. Os furos para as amostras foram produzidos com punção de 10,2 mm de diâmetro em prensa excêntrica de 250 ton.

Assim como na análise realizada no corte laser, o gráfico de análise de amostras por estampagem Figura 21, apresenta o diâmetro das amostras, a média e o desvio padrão do processo de furação por estampagem. Analisando os dados pode se constatar que a média é mais estável quando comparada ao corte laser, porém com o aumento no número de furos ela vai reduzindo, este comportamento se deve ao desgaste do punção. Este desgaste deve ser considerado no momento de dimensionar o punção para furação das chapas utilizando o processo de estampagem.

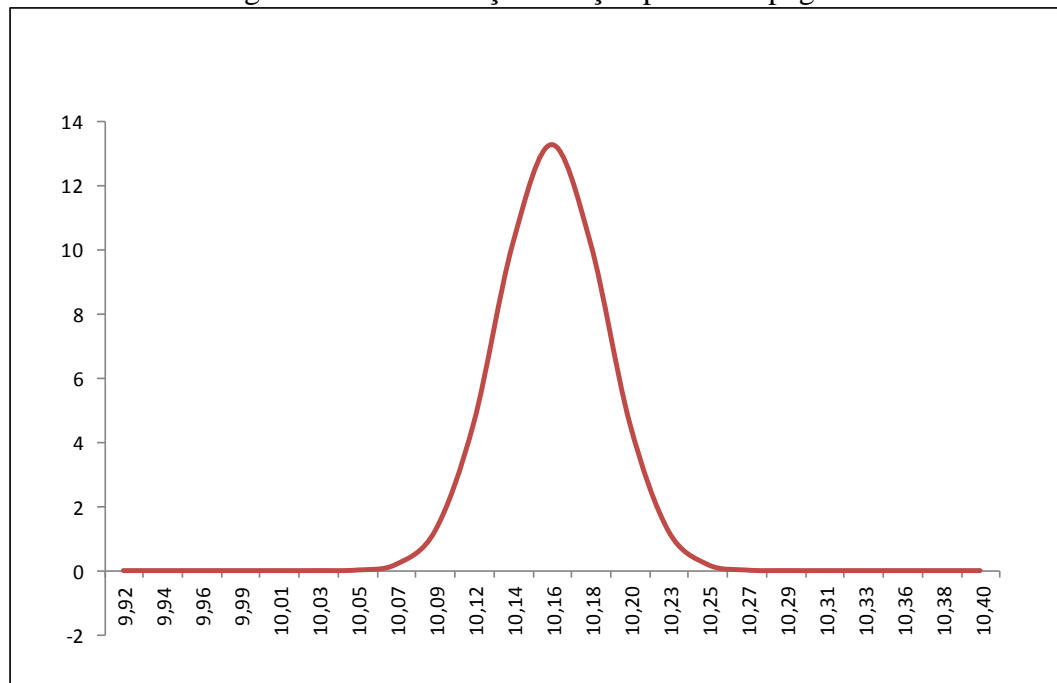
Figura 21 – Análise dimensional de amostras furação por estampagem



Fonte: Autor (2014)

A Figura 22 representa a distribuição do processo de furação por estampagem. A grande maioria das medições realizadas encontra-se próxima a média e dentro do desvio padrão inferior, também relacionado ao desgaste do punção. O valor máximo e mínimo dos diâmetros são 10,23 mm e 10,11 mm respectivamente tendo como média 10,16 mm.

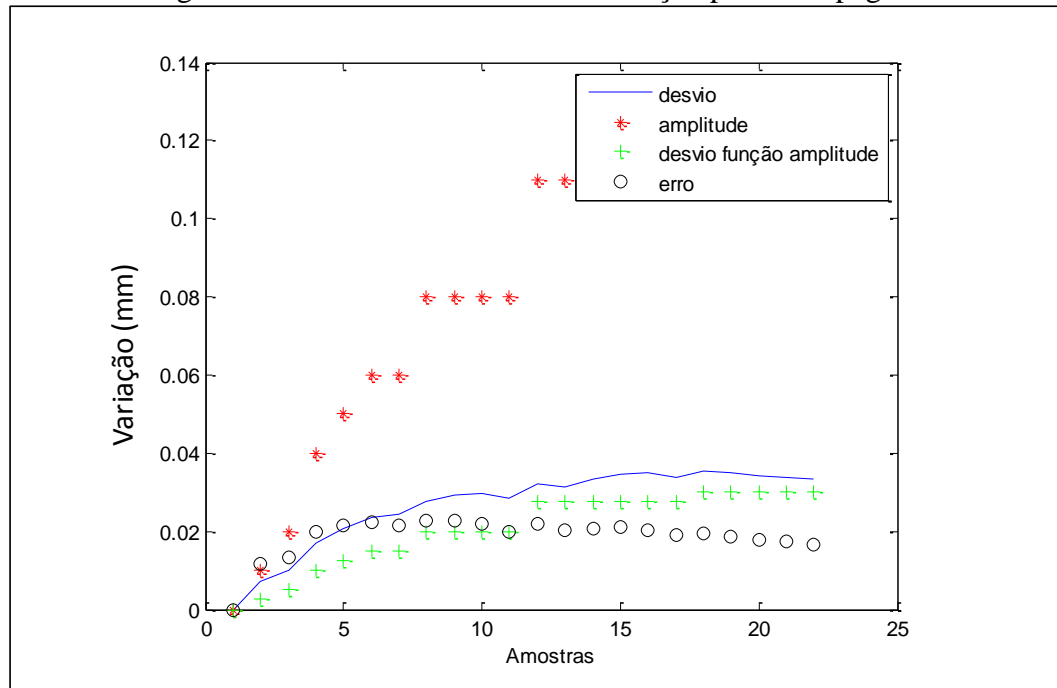
Figura 22 – Distribuição furação por estampagem



Fonte: Autor (2014)

O desvio padrão, que mostra o quanto há de dispersão dos valores medidos em relação a sua média, neste caso é de 0,03 mm. Portanto dentro de dois desvios, ou seja 0,06 mm, encontram-se 95% das amostras. Com base no desvio padrão obtido pode-se afirmar que o diâmetro de 95% das amostras estão entre 10,1 mm e 10,22 mm.

Figura 23 – Parâmetros estatísticos furação por estampagem



Fonte: Autor (2014)

O gráfico da Figura 23 apresenta a amplitude das amostras em vermelho, o erro amostral em preto, o desvio padrão em função da amplitude em verde e o desvio calculado com base na média amostral em azul. Da mesma forma que no processo de corte laser, com um maior número de amostras a amplitude tende a aumentar, ou seja a diferença entre o maior e o menor diâmetro medido esta aumentando. Os desvios padrão tanto o calculado em função da amplitude (verde) quanto o calculado em função da média amostral (azul) tem comportamento estável a partir da nona amostra.

Conforme a fundamentação teórica quando se toma uma amostra de tamanho  $n$  de uma população qualquer e se deseja estimar a sua média populacional  $\mu$ , mediante ao cálculo da média amostral, incorre-se um certo erro. Por se tratar de uma população infinita não sabemos o verdadeiro valor da média da população, assim estimamos que ela seja a média amostral, neste caso 10,16 mm, mais ou menos um valor de erro. Portanto admitindo de 0,02 mm, ou seja, a média populacional pode estar entre 10,18 mm e 10,14 mm e deduzindo a

equação 10 conforme descrito na análise da furação por corte laser, para o processo de furação por estampagem são necessárias 15 amostras para validação do experimento.

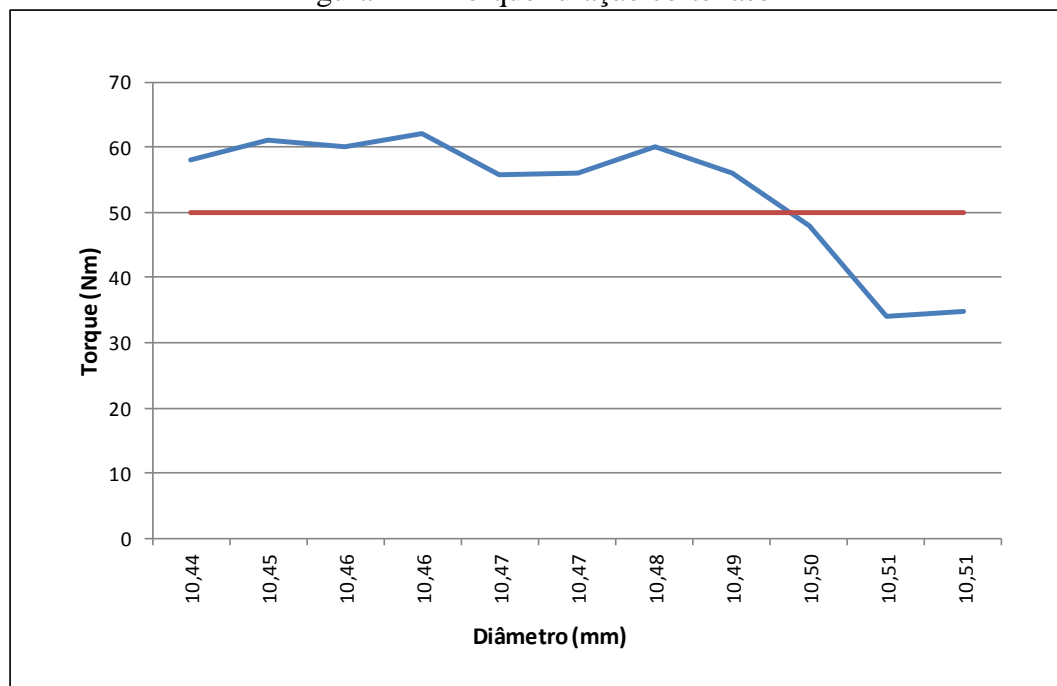
Considerando a análise anterior onde 95% das amostras estão entre dois desvios, isto significa os valores podem variar de 10,08 mm ( $10,14 - 2$  desvios) a 10,24 mm ( $10,18 + 2$  desvios). Portanto a amplitude, ou seja, a diferença entre o valor máximo e mínimo será 0,16 mm atendendo as especificações de interferência para fixação da porca.

Apesar do processo de furação por estampagem ter sido definido através da análise estatística serão aproveitadas as amostras produzidas pelo corte laser para verificação das demais especificações do projeto e comparação com o processo de furação por estampagem.

## 4.2 ANÁLISE DO TORQUE

A medição do torque foi realizada através de torquímetros simulando a situação real de aplicação do produto, foram comparados os dois processos de furação e analisado a influência do diâmetro do furo no torque aplicado. Os resultados das medições de torque aplicado as porcas cravadas em furos corte laser e furação por estampagem estão apresentados na Figura 24 e Figura 25 respectivamente.

Figura 24 – Torque furação corte laser



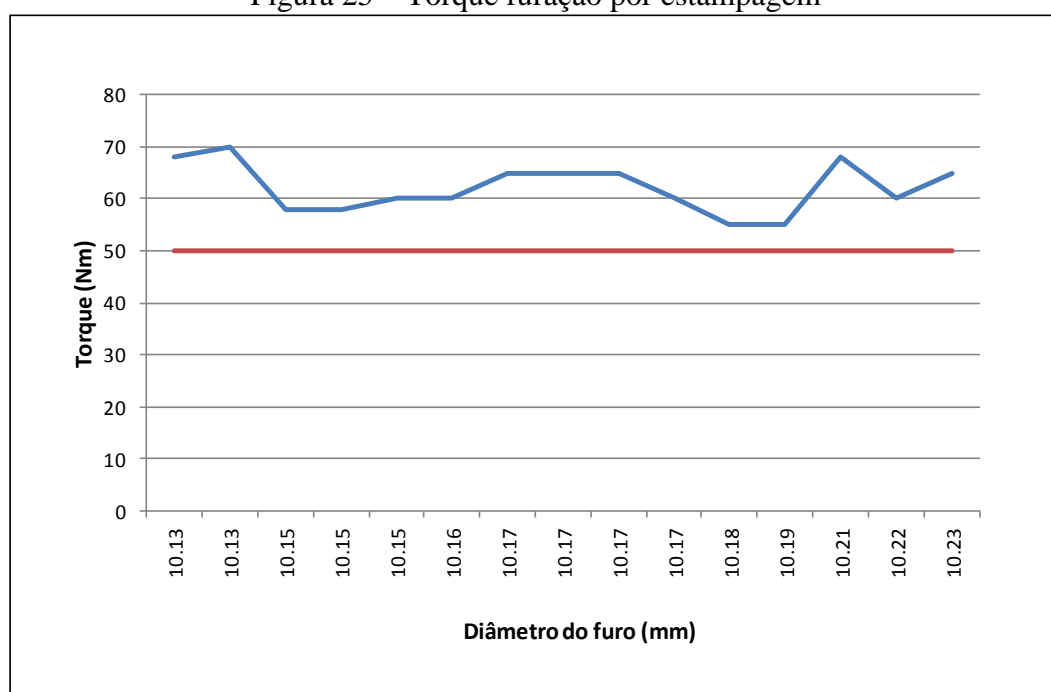
Fonte: Autor (2014)



As porcas cravadas em furos obtidos pelo corte laser suportaram o torque especificado de 50 Nm, até o diâmetro de 10,50 mm. Por não haver a interferência necessária, nas furações com diâmetro acima de 10,50 mm a porca girou resultando em um torque inferior ao especificado.

Devido a amplitude do processo de furação por corte laser, constatada na análise estatística, não há estabilidade suficiente para garantir a interferência necessária para o cravamento e resistência ao torque em todos os furos produzidos pelo corte laser. Pois a partir de 10,50 mm de diâmetro o torque suportado esta abaixo do especificado em projeto e em furos maiores que 10,51 mm não é possível o cravamento.

Figura 25 – Torque furação por estampagem



Fonte: Autor (2014)

Já os torques medidos no processo de furação por estampagem Figura 25, devido a sua estabilidade e maior interferência todos os cravamentos suportaram o torque exigido. Este resultado comprova que após o sucesso no cravamento onde houve a interferência necessária o torque será consequência do dimensionamento da junta parafusada, pois a força de rosqueamento na hélice do parafuso e porca irá proporcionar tração na porca, cravando-a ainda mais no furo.

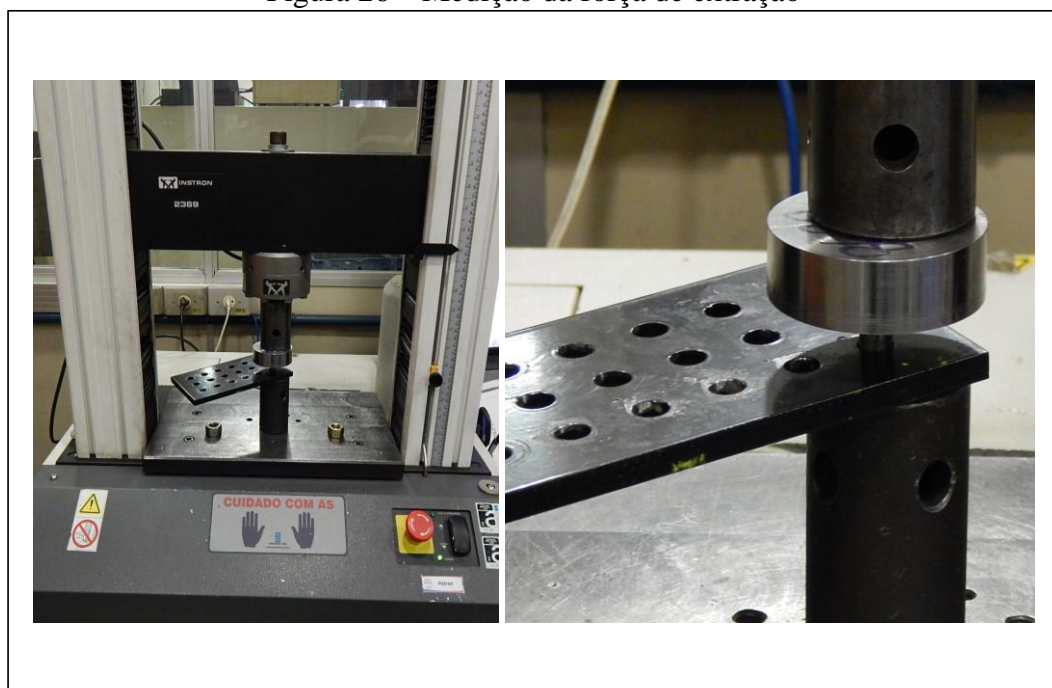
Outros aspectos também foram observados durante a execução dos testes. Em furos com diâmetro inferior a 10,18 mm houve dificuldade de apontamento manual dos parafusos, sendo necessária utilização de ferramentas. Portanto tanto para o processo de furação por

estampagem quanto para processo de furação corte laser os furos com melhor resultado em relação ao torque estão entre 10,19 mm a 10,48 mm, amplitude esta atendida pela furação por estampagem. Também foram observadas as roscas das porcas testadas, não sendo identificado nenhum dano a elas.

#### 4.3 ANÁLISE DA FORÇA DE EXTRAÇÃO

Conforme descrito no planejamento do experimento, para medição da força de extração foi utilizado o dispositivo de extração montado ao equipamento de medição de forças Figura 26. A força foi aplicada ao pino extrator que transmite a força a porca autocravante, a força foi aplicada até o momento em que não houvesse resistência da porca a tração aplicada.

Figura 26 – Medição da força de extração

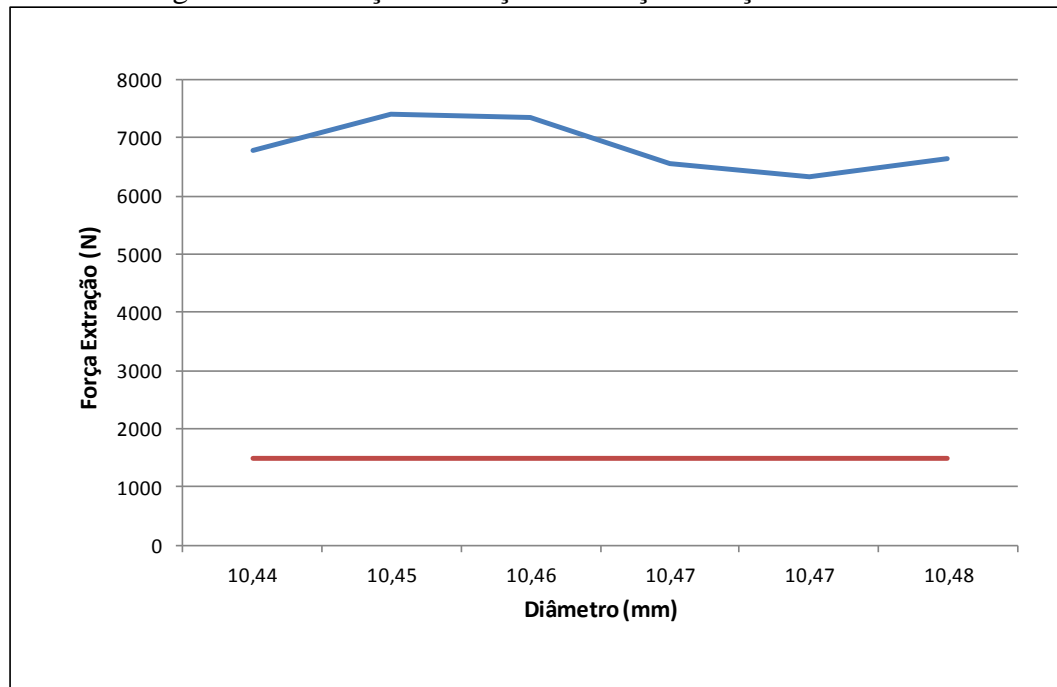


Fonte: Autor (2014)

Para atender os requisitos do projeto as porcas cravadas devem suportar a tração aplicada de 1,5 kN, ou seja, o cravamento deve suportar 1500 N. Os gráficos da Figura 27 e da Figura 28 apresentam os resultados de força aplicada em função do tempo nos furos corte laser e furação por estampagem respectivamente.

O resultado da medição da força de extração das porcas cravadas em furos produzidos no processo de corte laser apresentado no gráfico da Figura 28 mostra que todas as porcas cravadas resistiram a carga mínima de 1500 N sendo extraídas a partir de 6000 N.

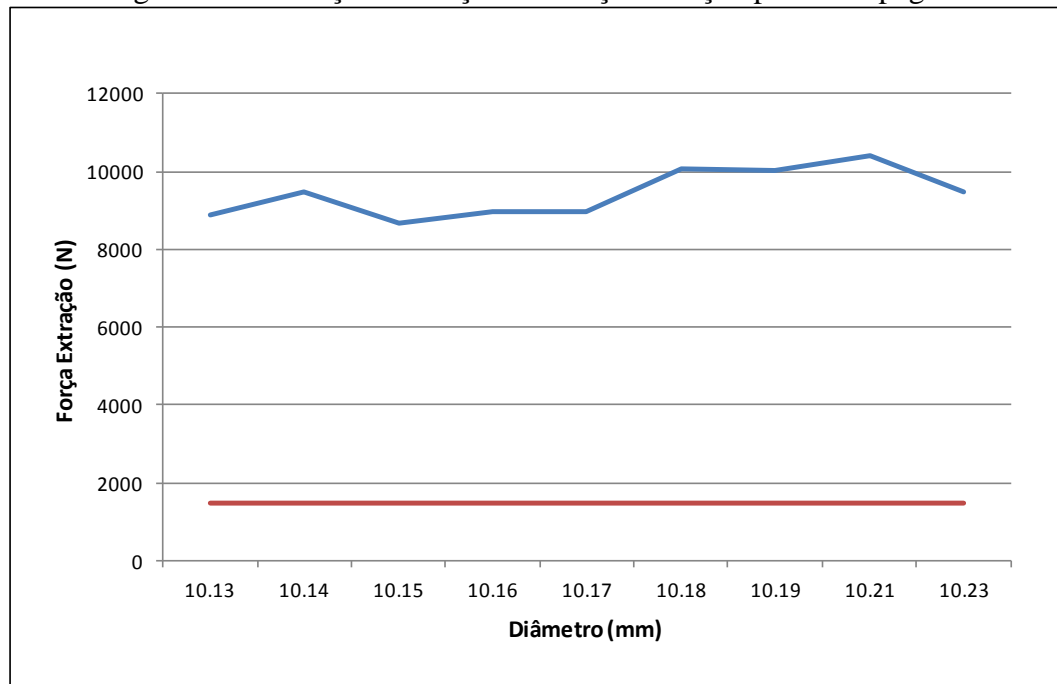
Figura 27 – Medição da força de extração furação corte laser



Fonte: Autor (2014)

Porém vale lembrar que devido a amplitude do processo de corte laser não foi possível o cravamento em todos os furos, pois em alguns furos não havia a interferência necessária.

Figura 28 – Medição da força de extração furação por estampagem



Fonte: Autor (2014)

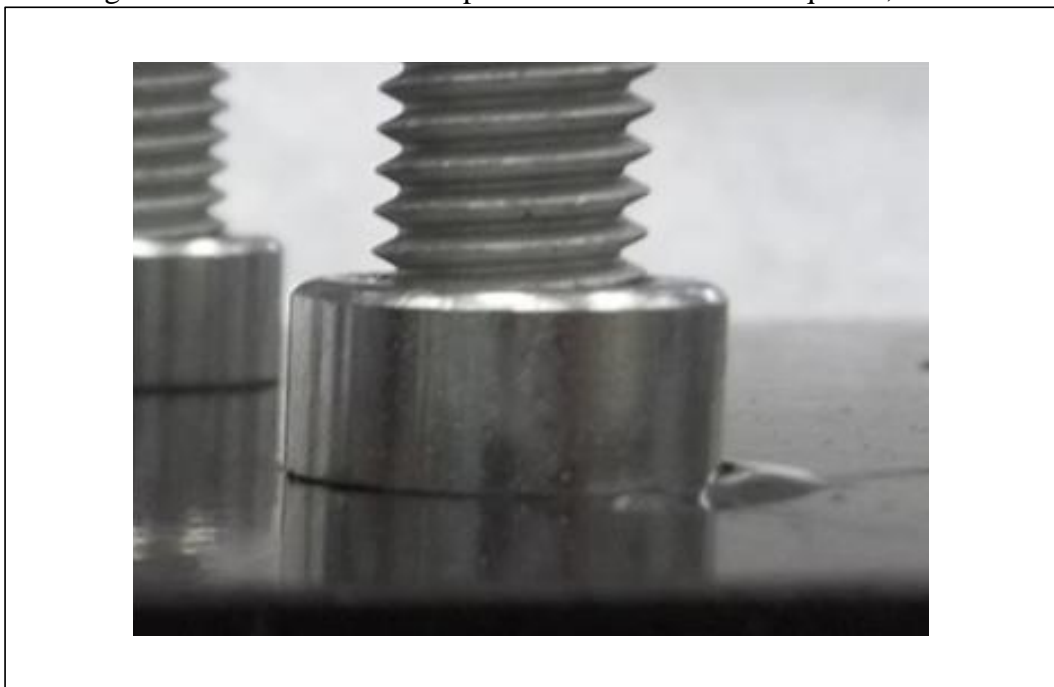
Assim como no processo de furação por corte laser as porcas cravadas em furos produzidos por estampagem também resistiram a carga mínima de 1500 N suportando carga máxima de 10000 N até a extração da porca conforme o gráfico da Figura 28.

Além de suportar mais carga o tempo para extração também foi maior em comparação ao processo de corte laser, isto se deve a maior interferência e a estabilidade do processo de furação por estampagem onde foi possível o cravamento de todas as porcas, pois em todos os furos há interferência necessária para cravamento.

#### 4.4 INTEGRIDADE DA PINTURA

A pintura foi avaliada de forma qualitativa observando continuamente se sua integridade não foi afetada com o cravamento e após o torque. Em furos menores que 10,20 mm de diâmetro a um deslocamento da pintura devido a alta interferência que remove o tratamento superficial na região de cravamento e expande a pintura para superfície conforme Figura 29. O mesmo problema ocorre se força aplicada no cravamento das porcas for maior que a indicada pelo fabricante, porém em furos maiores a influência da força aplicada é menor, podendo chegar até 6 ton sem que a pintura seja danificada.

Figura 29 – Deslocamento da pintura em furos menores que 10,20 mm



Fonte: Autor (2014)

## 5 CONCLUSÃO

Este trabalho realizou o estudo e análise para substituição de porcas soldadas por porcas autocravantes, nas Torres da suspensão de cabine de caminhão.

Através dos ensaios realizados e análise dos resultados, juntamente com o referencial teórico, foi verificado que os furos necessitam estar entre 10,20 mm a 10,48 mm de diâmetro para atender as cargas de torque e extração das porcas, sem que a pintura seja danificada. Sendo esta amplitude não atendida pelos furos produzidos no processo de corte laser, outro processo de furação viável economicamente foi estudado. O processo de furação por estampagem apresentou boa estabilidade e dentro de sua amplitude oferece a interferência necessária para o cravamento das porcas.

Para implementação do projeto o processo de furação mais adequado é a furação por estampagem conforme apresentado no estudo estatístico. O punção pode ser fabricado com 10,32 mm de diâmetro atendendo as margens de tolerância para cravamento com a interferência necessária e considerando o desgaste do punção. A força de cravamentos das porcas deve seguir a indicação do fabricante sendo que para porca M8 a força é de 3 ton. A integridade de pintura foi avaliada apenas qualitativamente, portanto uma análise quantitativa dará maior confiabilidade ao projeto.

Portanto o projeto é técnica e economicamente viável, pois o processo de solda das porcas é eliminado obtendo uma redução de custo de 7,70 % do custo total do produto. Além da extinção do retrabalho de repasse das roscas.

Além de uma análise qualitativa da integridade da pintura, como sugestão de trabalhos futuros é importante verificar as alterações necessárias nas ferramentas de estampagem e furação para fabricação dos furos onde as porcas devem ser cravadas. Também deve ser definido o procedimento para cravamento das porcas bem como o projeto de dispositivos para execução deste processo.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BLAU, P. J., **Friction Science and Technology**; New York: McGraw-Hill, 1995
- BRAGA, E. **Aula Metrologia**. Universidade Federal do Pará. Disponível em: <[http://www.ufpa.br/getsolda/docs\\_graduacao/AULA%20METROLOGIA.pdf](http://www.ufpa.br/getsolda/docs_graduacao/AULA%20METROLOGIA.pdf)>. Acesso em: 20 novembro 2013.
- BRUNI, A. L., **Estatística para Concursos: Com mais de 400 questões solucionadas, incluindo principais bancas examinadoras e provas importantes**; São Paulo: Atlas, 2008.
- ENDOSUL. **MASTERTECH A Master and Eisenmann Company**. Disponível em: <<http://www.endosul-pa.com.br/>>. Acesso em: 10 novembro 2013
- FISCHER, F.; ALBRECHT, U. **Comparação entre corte térmico e por jato d'água: fundamentos e critérios de qualidade**. Corte & Conformação de Metais, São Paulo, p. 28-29, jan. 2011.
- GORDO, J. M. ; CARVALHO, I. S, **Potencialidades de Processos Tecnológicos Avançados de Corte e União de Aço em Reparação Naval**. Universidade de Engenharia e Tecnologia Naval, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa 2006.
- HUTCHINGS, I. M.; **Tribology – Friction and Wear of Engineering Materials**. Edward Arnold, Londres 1992.
- JOST. **JOST Brasil Sistemas Automotivos**. Disponível em: <<http://www.jost.com.br/>>. Acesso em: 5 setembro 2013.
- LUCHESA, C. J.; NETO, A. C, **Cálculo do tamanho da amostra nas pesquisas em Administração**; Unicuritiba. - Curitiba 2011.
- METALAC, **Comportamento de Juntas Rigidamente Fixadas por Parafusos, Cálculo e Dimensionamento**; Departamento de Pesquisa e Desenvolvimento, 2009.
- MUNIZ, J. M. **Fenômenos tribológicos intrínsecos ao travamento de juntas de engenharia aparafusada**. Tese de Mestrado em Engenharia Automotiva – Escola politécnica da Universidade de São Paulo, 2007.
- NORTON, L. ROBERT; **Projeto de Máquinas: Uma Abordagem Integrada**; tradução da parte I, Maíke Briscele Müller, tradução e revisão técnica da parte II João Batista de Aguiar, José Manoel de Aguiar. -2 ed. - Porto Alegre: Bookman, 2007.
- RUDOLPH, **Especialização em fixação** Disponível em: <<http://www.rudolphfixacoes.com.br/produtos/Porcass/RA00/>>. Acesso em: 4 novembro 2013.
- SANTOS, O. J. F.; QUINTINO, L.; MIRANDA, M. R, **Processamento de Materiais por Feixe de Electrões, Lasers e Jacto de Água**; Instituto de Soldadura e Qualidade, São Paulo 1993.

SHIGLEY, J. E.; MISHCKE, C. R, **Projeto de Engenharia Mecânica**; tradução João Batista de Aguiar, José Manoel de Aguiar. -7 ed. - Porto Alegre: Bookman,2005. 960 p.:28 cm.

VDI 2230, **Systematische Berechnung hochbeanspruchter Schraubenverbindungen  
Zylindrische Einschraubenverbindungen**; Verein Deutscher Ingenieure, Düsseldorf 2003

## APÊNDICE 1

Este Apêndice apresenta o programa para análise estatística criado no software matemático MATLAB. Elaborado com base nos conceitos e fórmulas estatísticas, fornece ao usuário o número de amostras necessárias para um experimento além de armazenar todos os parâmetros estatísticos.

```

%limpa a memória
clear
%
%_____
%definir nosso erro
%
%_____
%colocar os dados coletados no vetor tentativa

nosso_erro=
    tentativa=[
        ]

%calcula o dados do vetor tentativa
[a b]=size(tentativa)
media=mean(tentativa)
desvio=std(tentativa)

n=0 %zera o contador
for i=1:a
    n=n+1;
    %n=input('numero de amostras: ');
    amostra(n)=i;
    media(n)=mean(tentativa(1:i));
    desvio(n)=std(tentativa(1:i));
    amplitude(n)=max(tentativa(1:i))-min(tentativa(1:i));
    desvio_amp(n)=amplitude(n)/4;
    erro_amp(n)=2.33*desvio(n)/amostra(n)^.5;

ene(n)=(2.33*desvio(n)/nosso_erro)^2;
end

figure(1)
plot(amostra, '.')

figure(2)
plot(media)
hold on
plot(media+desvio, 'r')
plot(tentativa, '*k') %k = preto
plot(media-desvio, 'r') % r=vermelho
plot(media, '.')
plot(0, 9.5)
title('ANÁLISE DAS AMOSTRAS')
xlabel('Amostras')
ylabel('Diâmetro (mm)')
legend('média', 'desvio padrão', 'amostra')

figure(3)

```



```
plot(desvio, 'b') % b=azul
hold on
plot(amplitude, 'r*')
plot(desvio_amp, 'g+')
plot(erro_amp, 'ok')
title('ANÁLISE PARÂMETROS ESTATÍSTICOS')
xlabel('Amostras')
ylabel('(mm)')
legend('desvio', 'amplitude', 'desvio função amplitude', 'erro')

figure(4)
plot(ene, '-k')
hold on
title('NÚMERO DE AMOSTRAS')
xlabel('Amostras')
ylabel('Número de amostras')
plot(0, 15)
plot(0, 0)
```