

**CENTRO UNIVERSITÁRIO DO SUL DE MINAS**  
**ENGENHARIA MECÂNICA**  
**LEANDRO CÉSAR DA SILVA**

N. CLASS.....
CUTTER.....
ANO/EDIÇÃO.....

**SUBSTITUIÇÃO DO MATERIAL VND PELO AISI VH13 NA MATRIZ DE  
ESTAMPAGEM DE RODAS DE ALUMÍNIO**

**Varginha**  
**2013**

**LEANDRO CÉSAR DA SILVA**

**SUBSTITUIÇÃO DO MATERIAL VND PELO AISI VH13 NA MATRIZ DE  
ESTAMPAGEM DE RODAS DE ALUMÍNIO**

Trabalho apresentado ao curso de Engenharia Mecânica do Centro Universitário do Sul de Minas como pré-requisito para a obtenção do grau de bacharel, sob a orientação da Prof. Me. Erik Vitor da Silva.

**Varginha  
2013**

**LEANDRO CÉSAR DA SILVA**

**SUBSTITUIÇÃO DO MATERIAL VND PELO AISI VH13 NA MATRIZ DE  
ESTAMPAGEM DE RODAS DE ALUMÍNIO**

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

Aprovado em     /     /

---

Prof. Me. Luiz Carlos Vieira Guedes

---

Prof. Esp. Luciene de Oliveira Prospéri

---

Prof. Me. Erik Vitor da Silva

OBS.:

Dedico a Deus, por iluminar sempre meus passos e por ter me dado forças pra chegar até aqui. A minha querida família pelo apoio constante, e a todos que contribuíram para o alcance de mais uma etapa na minha vida.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus pais, a minha esposa, professores, amigos e colegas por terem contribuído na concretização deste trabalho.

“Há homens que lutam um dia, e são bons; Há outros que lutam um ano, e são melhores; Há aqueles que lutam muitos anos, e são muito bons; Porém há os que lutam toda a vida: Estes são os imprescindíveis.”

Berthold Brecht

## RESUMO

Os aços são considerados os materiais mais utilizados na área industrial, e sua atuação são evidentes no mercado de trabalho. O aço é um material em constante evolução; e certamente o que o levou a ganhar esse destaque, foi o vasto campo em que suas propriedades permitem atuar, além de suas características peculiares proporcionarem um bom desempenho obtido por baixos custos. O material aço VND, trabalho a frio da matriz é muito relevante em elementos micro estruturais. O aço AISI VH13 é um aço de trabalho a quente, com aplicações em matrizes e punção de forjamento, matrizes de recalçamento a quentes, moldes e componentes de máquinas de fundição sob pressão de ligas de zinco e alumínio e outros. O presente trabalho tem como objetivo analisar a substituição do aço VND pelo aço AISI VH13 no processo de estampagem de rodas de alumínio. Dentro dessa temática foram analisados os ensaios de corpos de prova, verificando alongamento, deformação à tração, carga necessária para o rompimento do material e energia de impacto. Para desenvolver esta temática, foi estabelecido um cronograma de trabalho, que consiste na coleta de amostras de material aço VND e AISI VH13. A partir dos resultados dos ensaios mecânicos, foi colocado em prática o objetivo proposto. Os resultados foram compilados em gráficos, facilitando a análise e discussão para elaboração de conclusões.

**Palavras-chave:** Aços. Estampagem. Rodas de Alumínio.

## **ABSTRACT**

*The steels are considered the most used materials in the industrial area, and its performance is evident in the labor market. The Steel is a constantly evolving material, and certainly what led it to win this highlight, was the vast field in which its properties enable to act, and their peculiar characteristics that provide a good performance for low costs. The material VND steel, cold working of the matrix is very relevant in micro structural elements. The steel AISI VH13 is a hot working steel, with applications in matrixes and punch of forging, hot sizing matrixes, hot molds and die casting machine parts under zinc and aluminum alloy pressure and others. This study aims to analyze the replacement of VND steel by AISI VH13 steel in the stamping process of aluminum wheels. Within this theme tests specimens were analyzed, checking elongation, tensile deformation, the load required to break the material and impact energy. In order to develop this theme, it was established a work schedule, which consists of collecting material samples of VND and AISI VH13 steel. From the results of mechanical tests, it was put into practice the proposed objective. The results were compiled into charts, facilitating the analysis and discussion to drawing conclusions.*

**Keywords:** *Steels. Stamping. Aluminum Wheels.*

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Alumínio Líquido .....	18
Figura 2 - Transporte para a injetora .....	19
Figura 3 - Injetora .....	20
Figura 4 - Transportador aéreo .....	21
Figura 5 - Prensa removedora de rebarbas .....	22
Figura 6 - Prensa de puncionar .....	23
Figura 7 - Uso e funcionamento do dispositivo.....	24
Figura 8 - Matriz em posição de corte.....	25
Figura 9 - Central Hidráulica LPM.....	26
Figura 10 - Corpo de Prova de Ensaio de Tração.....	29
Figura 11 - Equipamento de Ensaio de Tração Universal.....	30
Figura 12 - Ensaio de impacto.....	31
Figura 13 - Corpo de Prova Tipo Charpy.....	32

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas
- Al – Alumínio
- AISI – American Iron And Steel Institute
- ASTM – American Society for Testing and Materials
- C – Carbono
- °C – Celsius
- Cr – Cromo
- Fe – Ferro
- HB – Dureza Brinell
- HRC – Dureza Rockwell
- KN – Kilonewton
- Mo – Molibdênio
- Mn – Manganês
- Ni – Níquel
- OFF-SET –Distância da posição central do aro em relação a face
- P – Fósforo
- PLC – Controlador Lógico Programável
- SAE – Society of Automotive Engineers
- S – Enxofre
- Si – Silício
- V – Vanádio

# SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>12</b>
<b>2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	<b>13</b>
<b>2.1 Material VND</b> .....	<b>14</b>
2.1.1 Austenitização .....	14
2.1.2 Têmpera .....	14
2.1.3 Revenimento .....	15
<b>2.2 Material AISI VH13</b> .....	<b>15</b>
2.2.1 Tratamento térmico do AISI VH13 .....	16
<b>2.3 Processo de produção de rodas</b> .....	<b>16</b>
<b>2.4 Descrição da Prensa</b> .....	<b>21</b>
2.4.1 Funcionamento da prensa .....	22
2.4.2 Matriz de corte .....	24
2.4.3 Central Hidráulica.....	25
<b>3 METODOLOGIA</b> .....	<b>26</b>
<b>3.1 Ensaio de tração</b> .....	<b>26</b>
<b>3.2 Ensaio de impacto</b> .....	<b>26</b>
<b>4 MATERIAIS</b> .....	<b>28</b>
<b>4.1 Materiais utilizados</b> .....	<b>28</b>
4.1.1 Ensaio de Tração .....	28
4.1.2 Ensaio de Impacto .....	30
<b>4.2 Justificativa</b> .....	<b>32</b>
<b>5 RESULTADOS</b> .....	<b>34</b>
<b>5.1 Resultados dos Ensaios</b> .....	<b>34</b>
5.1.1 Resultado do Ensaio de Impacto .....	36
<b>6 DISCUSSÃO</b> .....	<b>38</b>
<b>7 CONCLUSÃO</b> .....	<b>41</b>
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>42</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Na engenharia é fundamental o conhecimento e a seleção de materiais que serão utilizados. Sendo assim para cada aplicação, existe um conjunto específico e necessário para uma boa evolução, ou seja, o material escolhido deve atender a expectativa desejada. Portanto é importante adotar medidas adequadas para testes de controle da qualidade, além de ensaios diversos, visando um bom desempenho do processo de produção.

Partindo desse pressuposto o presente trabalho, foi desenvolvido com o intuito de realizar uma análise dos defeitos apresentados no dispositivo de estampar rodas de alumínio. Os meios utilizados foram decisivos e oportunizaram a possibilidade da troca do material aço VND por outro de melhor absorção de impacto (aço AISI VH13), proporcionando assim melhorias no processo de sua utilização.

Com o crescimento das indústrias, principalmente automobilísticas, faz-se necessário a procura pela melhoria contínua. Portanto esse procedimento de mudança no dispositivo de estampagem é fundamental para melhoria da produção, além de proporcionar redução de gastos, contribuindo assim para um melhor desempenho da empresa, fortalecendo o mercado de vendas de rodas de liga leve e possibilitando ainda a criação de novos métodos de trabalho.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Há tempos os aços são considerados os materiais mais utilizados na área industrial, e sua atuação são evidentes no mercado de trabalho. O aço é um material em constante evolução; e certamente o que o levou a ganhar esse destaque, foi o vasto campo em que suas propriedades permitem atuar, além de suas características peculiares proporcionarem um bom desempenho obtido por baixos custos (SILVA; MEI, 2010).

Os aços ferramentas são empregados essencialmente em moldes, matrizes e outras ferramentas em alta ou baixa temperatura.

Matriz e punção são exemplos de aços e representam elementos essenciais das ferramentas. É na matriz que é determinado toda medida e formato da peça a ser produzida. Essa matriz por sua vez exige uma fixação adequada na base inferior, tornando a mais segura possível, para que não haja o deslocamento da matriz em relação ao punção. Os punções são utilizados de maneira diferentes, podendo ser mudado suas arestas de corte de acordo com sua finalidade.

Para a confecção da matriz, deverá ser utilizado um aço de alta qualidade e com acabamento preciso. Suas características estão baseadas no ângulo de saída e na folga entre punção e matriz (BENZAZZI JUNIOR; CAVERSAM, 2012).

Em relação às propriedades do aço, são ligas que contém FE-C(Ferro-Carbono), mas que também podem conter outros elementos. Suas propriedades mecânicas dependem da % C, que são: baixo carbono, médio carbono e alto carbono. São bem empregadas em moldes, facas, lâminas dentre outros (PACIORNIK, 2012). Como o foco deste trabalho é a estampagem, a escolha foi sem dúvidas pelo material aço de alto carbono, pois são extremamente duros e fortes, poucos dúcteis e além de resistirem muito bem ao desgaste.

No processo de estampagem de rodas ocorre em determinados momentos uma falta de centralização, em decorrência de defeitos na produção da roda, ou seja, pequenas rebarbas em seu assentamento, gerando deslocamento em relação ao dispositivo, ocasionando assim o impacto do punção e a matriz, resultando em quebra e conseqüentemente danos aos dispositivos e equipamentos.

O impacto representa um atrito de natureza dinâmica, cuja força exercida é súbita. Esse tipo de impacto é mais frequente em máquinas e peças de máquinas que envolvem a produção e transferência de energia (CHIAVERINI, 1986).

## 2.1 Material VND

O material aço VND, trabalho a frio da matriz é muito relevante em elementos micro estruturais. A aplicação desses aços é realizada após a sequência de tratamento de austenitização, têmpera e revenimento para que o material resista ao fenômeno do desgaste presente nas operações de estampagem entre outros, tentando alcançar uma dureza de utilização de 63-58 HRC (Dureza Rockwell). Este tratamento está aliado à dureza e tenacidade do material (SOARES JUNIOR, 2006).

Tabela 1 - Composição química do aço VND

C	SI	MN	CR	MO	V	W
0,95	0,25	1,25	0,50	-	0,12	-

Fonte: (SOARES JUNIOR, 2006).

O tratamento térmico constitui grande importância para que as propriedades finais sejam obtidas e o resultado final atenda as expectativas esperadas.

O tratamento térmico do VND consiste em aquecer a peça a uma temperatura de 850°C em um tempo aproximado de 20-30 minutos, ou verificar visualmente se a peça está homogeneizada, e em processo de descarbonização. Posteriormente é realizado o resfriamento rápido da peça em óleo, para que suas moléculas sofram um agrupamento, em sequência se faz o revenimento para facilitar fenômenos da difusão com o intuito de alcançar uma estrutura mais estável e menos frágil, ou seja, aliviar as tensões do choque térmico (VILLARES METALS, 2013).

### 2.1.1 Austenitização

Inicialmente as condições iniciais da austenita determina o desenvolvimento da microestrutura final, e das propriedades mecânicas finais do aço. Assim o comportamento dos aços e suas propriedades não dependem somente da natureza da decomposição da austenita no resfriamento contínuo (a fase final do aço), mas também da cinética de reaustenitização (STEIN *et al.*, 2005).

### 2.1.2 Têmpera

Consiste em um tratamento térmico utilizado nos aços, visando o aumento de sua dureza. É definido em três fases, sendo elas:

a) Primeira fase

- Aquecimento: nesse processo ocorre o aquecimento da peça em um forno até atingir a temperatura desejada.

b) Segunda fase

-Manutenção da temperatura: após a obtenção da temperatura ideal, esta deve ser mantida por algum tempo com o intuito de uniformizar o aquecimento em toda a peça.

c) Terceira fase

- Resfriamento: após o aquecimento uniforme da peça, é realizado o resfriamento da mesma em água, óleo ou jato de ar.

Essa fase causa um endurecimento do aço, tornando-o quebradiço (SENAI, 1997).

### 2.1.3 Revenimento

É um estágio do tratamento térmico que completa a têmpera; caracterizado por reaquecimento abaixo da zona crítica e resfriamento adequado. Sua principal finalidade é aliviar tensões, ajustar a dureza e diminuir a fragilidade dos aços tratados, visando ajustar as propriedades mecânicas, ou seja, desagrupar as moléculas em consequência do processo da têmpera.

## 2.2 Material AISI VH13

É um aço de trabalho a quente, com aplicações em matrizes e punção de forjamento, matrizes de recalçamento a quente, insertos para matrizes, moldes e componentes de máquinas de fundição sob pressão de ligas de zinco e alumínio, matrizes de extrusão de latão, alumínio e magnésio, mandris e outros componentes de extrusoras, moldes para plásticos, facas e tesouras a quente (VILLARES METALS, 2013).

Segundo Ferreira (2001), o aço AISI VH13 é um aço para trabalho a quente contendo cromo, vanádio, silício e Molibdênio conforme composição química:

Tabela 2 - Composição química do aço AISI VH13

	C	MN	SI	CR	V	MO
<b>Mínimo</b>	0,35	0,20	0,80	5,00	0,80	1,20
<b>Máximo</b>	0,42	0,50	1,20	5,50	1,20	1,75
<b>Composição química expressa em % peso</b>						

Fonte: (FERREIRA, 2001).

O aço AISI VH13 foi desenvolvido para moldes de injeção e extrusão de metais a quente como alumínio, zinco e cobre, bem como para conformação a quente em prensas e martelos. Devido à sua composição química, o aço AISI VH13 apresenta:

- a) Grande temperabilidade
- b) Grande resistência ao amolecimento pelo calor
- c) Boa resistência ao desgaste em temperaturas elevadas
- d) Excelente tenacidade
- e) Boa usinabilidade na categoria de aços ferramenta
- f) Excelente resistência a choques térmicos devidos a aquecimentos e resfriamentos contínuos, fazendo com que surgimento de trincas térmicas seja reduzido.

### 2.2.1 Tratamento térmico do AISI VH13

Seu tratamento térmico consiste em aquecer a peça em uma temperatura aproximada de 980-1070°C, deixando ficar por um tempo aproximado de 20-30 minutos, logo após resfria a peça em óleo da têmpera. Já no revenimento a peça é aquecida por 20 minutos a uma temperatura de 500-650°C, para alcançar a dureza de utilização que é de 50-40 HRC.

Essa operação de aquecimento e resfriamento dos aços acontece de modo a gerar alterações em suas propriedades químicas (GABARDO, 2008).

### 2.3 Processo de produção de rodas

De acordo com Pereira Junior (2010) o Dodge Charger RT, foi o primeiro carro aqui no Brasil a ser equipado com rodas de alumínio em 1.979, com as seguintes dimensões: aro 14 polegadas e tala de 6 polegadas. Uma das vantagens do uso de rodas de alumínio está no seu peso, em média é 30% mais leve que as demais rodas, proporcionando assim uma maior

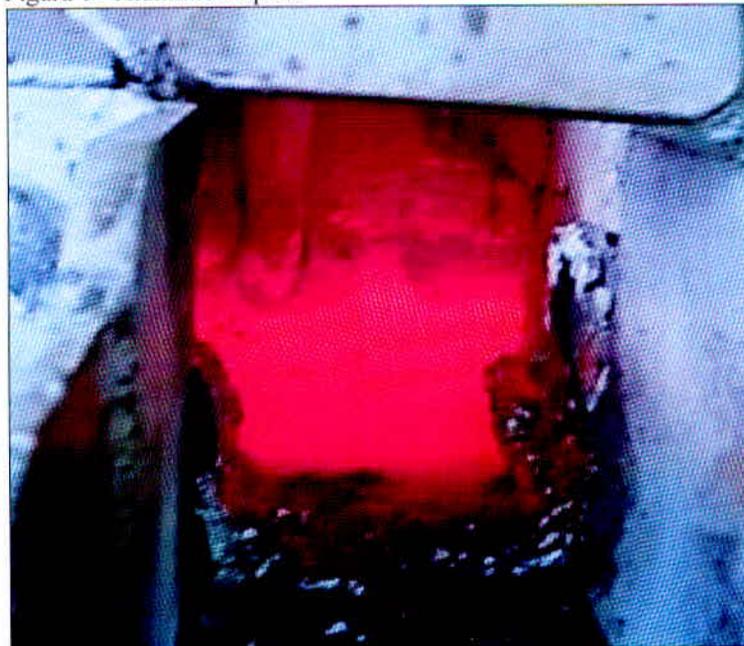
carga ao caminhão que irá transportá-lo, diminuindo o número de viagens, gerando assim redução do consumo de combustíveis, resultando em economia e diminuição de gastos.

A matéria prima utilizada na produção dessa roda é basicamente o alumínio A.356 e A.413, adicionando as anti-ligas de silício, magnésio, titânio, com o intuito de ganhar resistência, além do estrôncio que proporciona ganho em maleabilidade na roda. Dentro dessa produção existem as ligas 7% e 11%, que corresponde à proporção de silício em porcentagem.

O processo de produção de rodas de alumínio acontece em um departamento da indústria conhecido como fundição, onde em um forno a liga de alumínio é derretida e posteriormente o material líquido é tratado em um tanque. Neste estágio de processo, o alumínio líquido apresenta mais o menos 800°C, sendo nesse momento inspecionado pelo setor de qualidade da indústria através da espectrometria de emissão ótica, indispensável para a correção da composição química, até atingir a composição desejada (PEREIRA JUNIOR, 2010).

Após ser realizado todo o processo de cuidado com o alumínio, este é transportado até as injetoras, onde fica armazenado em fornos reservatórios. Através de um processo de injeção controlado por computadores é realizado um perfeito preenchimento de todos os espaços do molde, formando a roda. Posteriormente o equipamento se abre, expõe a roda que é desprendida, caindo em uma bandeja de alumínio, onde é conduzida a um pequeno tanque de água para resfriamento, e finalmente é colocada em um transportador aéreo e direcionada para a área de prensas.

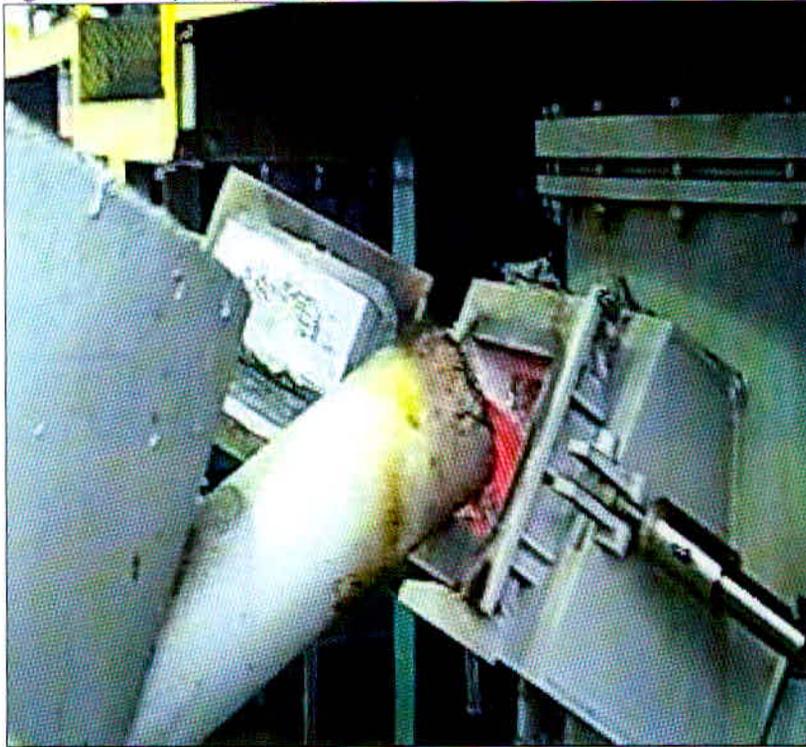
Figura 1 - Alumínio Líquido



Fonte: o autor.

A figura 1 representa o alumínio líquido ainda dentro do forno, em sua primeira fase do processo de fusão.

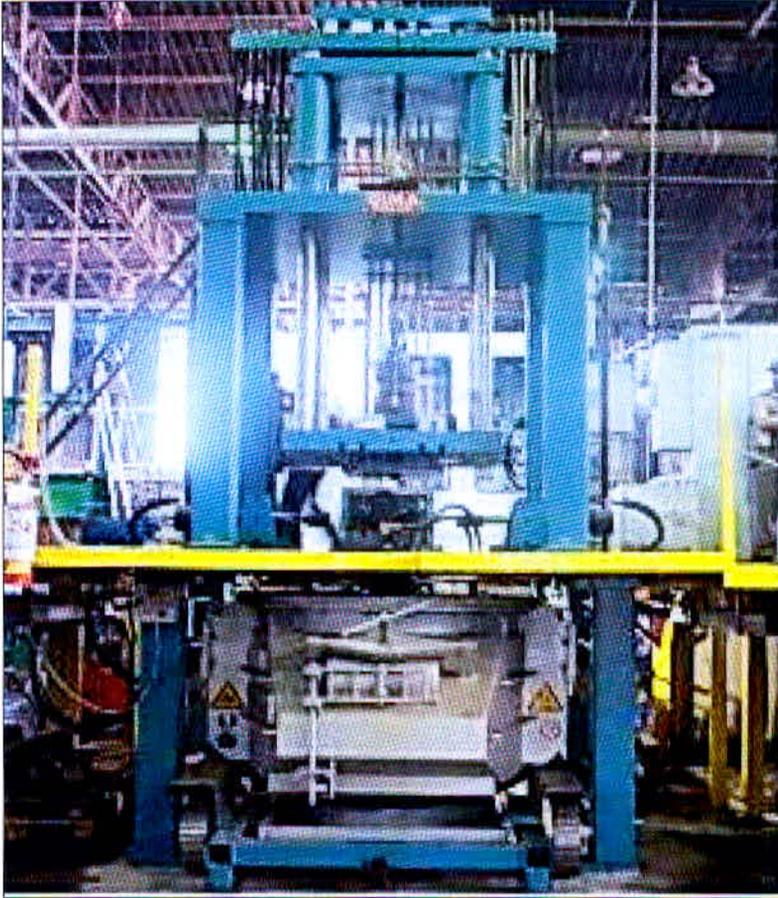
Figura 2 - Transporte para a injetora



Fonte: o autor.

A figura 2 representa o momento em que o alumínio é transportado para o forno da injetora através de empilhadeiras adaptadas. Isso ocorre após a conclusão de todos os procedimentos recomendados como: adição de anti-ligas, medição de temperatura, limpeza e retirada de amostras para análise.

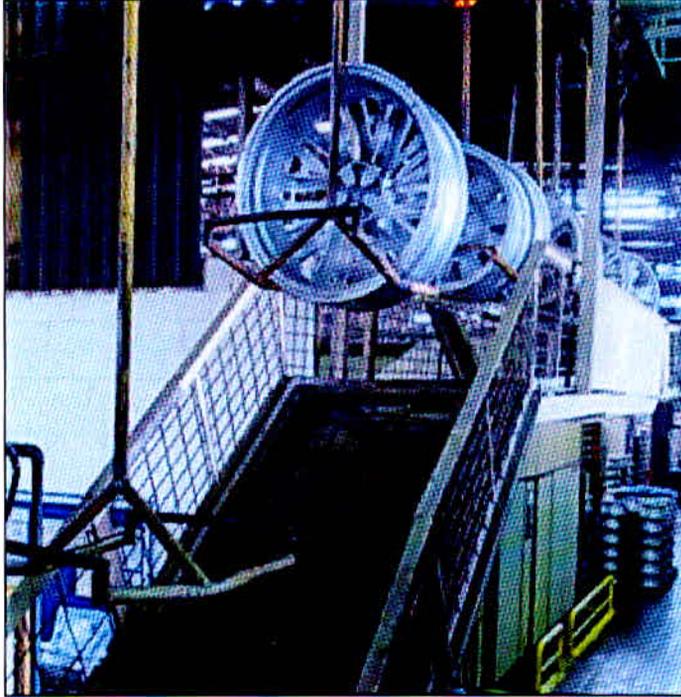
Figura 3 - Injetora



Fonte: o autor.

A figura 3 representa à injetora (Guima), onde ocorre o processo de moldagem da roda. É composta por diversos elementos, dentre eles: forno reservatório, resistências elétricas, cilindros hidráulicos, válvulas, painéis de controle, etc.

Figura 4 - Transportador aéreo



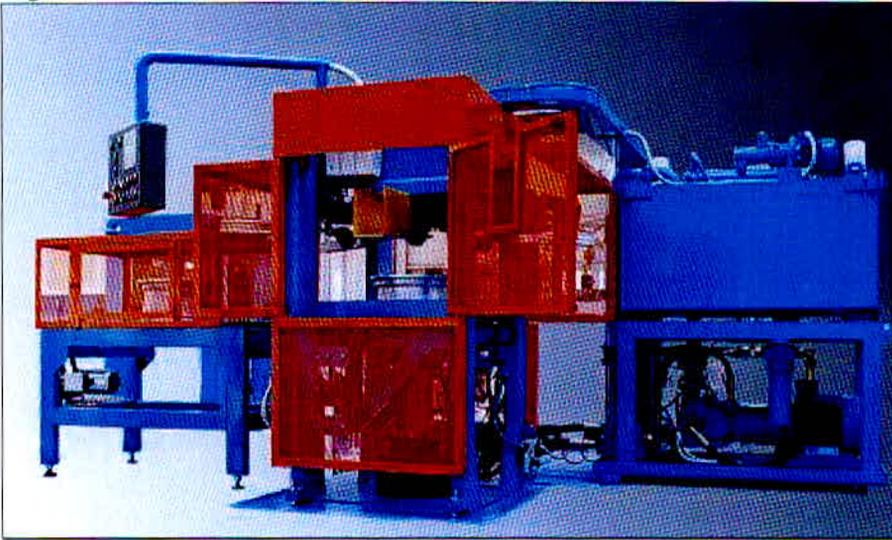
Fonte: autor.

A figura 4 representa o transportador aéreo composto por diversos garfos (gancheiros), onde são colocadas as rodas que estão sendo produzidas no setor de fundição, e posteriormente são direcionadas ao setor de prensas.

## 2.4 Descrição da Prensa

A prensa LPM (LOW PRESSURE MACHINE), é utilizada em setores industriais como fundição de rodas de alumínio, e tem por finalidade a retirada de rebarbas, usada exclusivamente para cortar rodas de liga de alumínio não tratadas termicamente, com o uso das ferramentas projetadas para esta finalidade e integradas no grupo de corte, ou seja, dispositivo de centralização e matriz e punção.

Figura 5 - Prensa removedora de rebarbas



Fonte: (LPM Machines, 2008, p.16).

#### 2.4.1 Funcionamento da prensa

Segundo LPM Machines (2008) seu funcionamento está baseado em uma prensa com uma força de pressão igual a 80 KN (Kilonewton), um sistema de pré-centralização, um PLC (Controlador Lógico Programável) Siemens, um sistema de movimentação das rodas dentro da máquina, um punção, um sistema de lubrificação automático e um esquema pneumático para a troca de quatro matrizes.

O processo ocorre em um ciclo de etapas:

- a) A roda é colocada em uma esteira, onde ocorre a condução até o dispositivo.
- b) Em sequência a máquina segura à roda, e por meio de um sistema de sensores, a roda é pré-centralizada e colocada em posição plana.

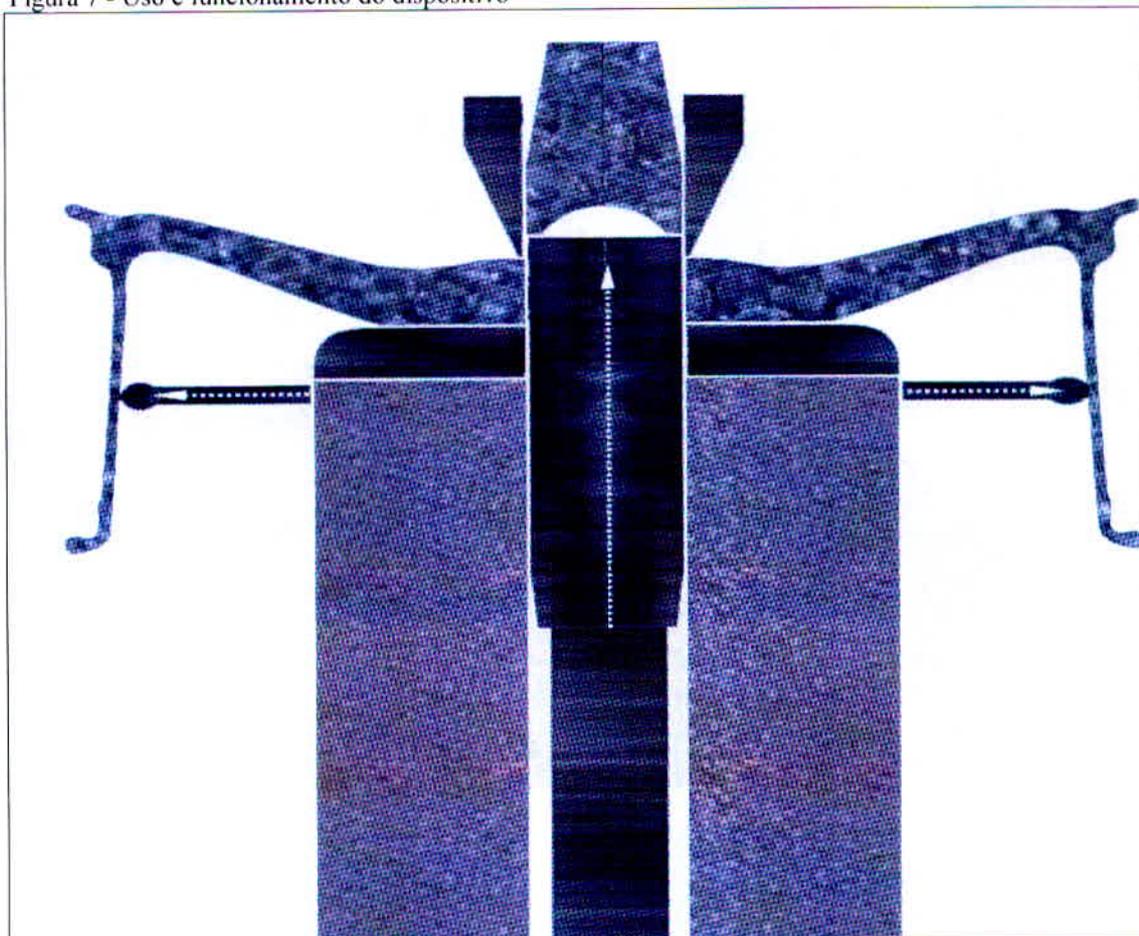
Figura 6 - Prensa de puncionar



Fonte: (LPM Machines 2008, p.19).

A figura 6 representa a prensa de puncionar que contém um cilindro hidráulico , que realiza o corte da rebarba das rodas de alumínio, através de um movimento vertical. Posteriormente a esta operação, a rebarba da roda de alumínio é expulsa no recipiente de descartes por meio de um empurrador de cilindro pneumático lateral.

Figura 7 - Uso e funcionamento do dispositivo



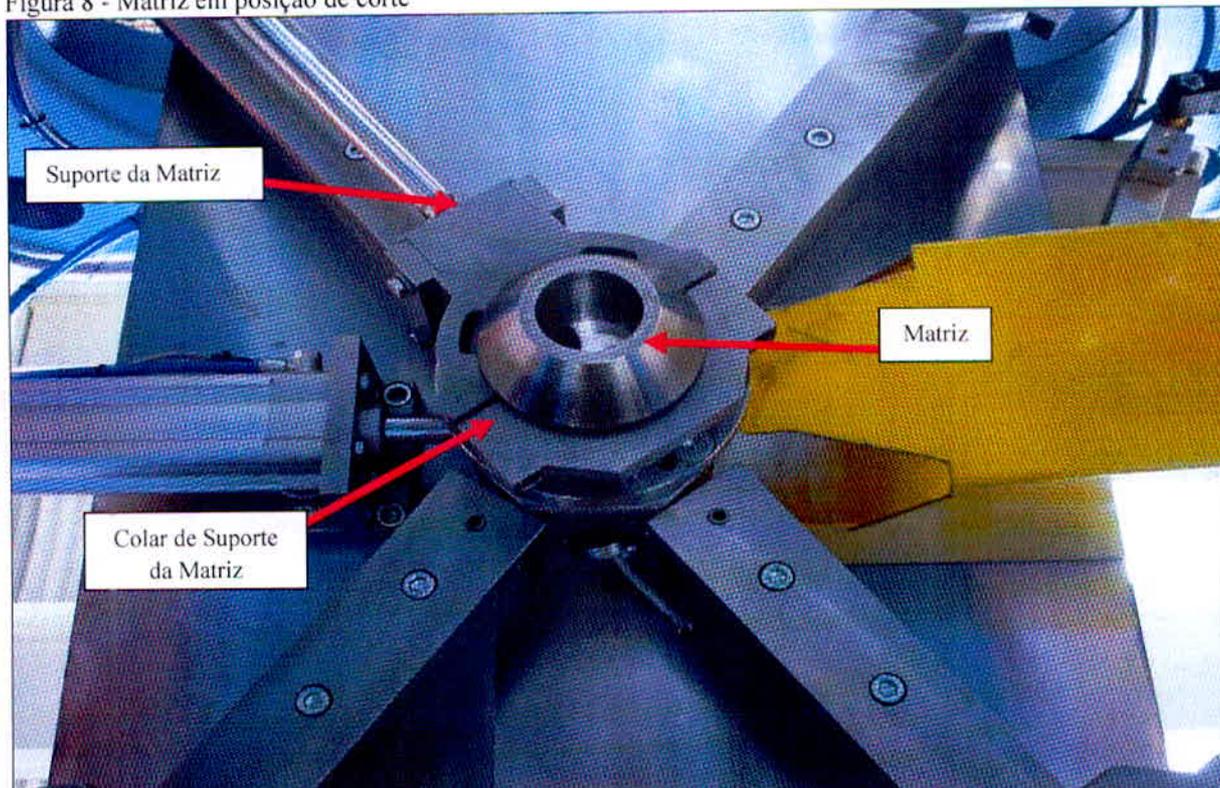
Fonte: (LPM Machines, 2008, p.33).

A figura 7 representa o sistema de centralização já em ponto centralizado, em relação à roda. Os sensores já corresponderam ao dispositivo, sinalizando que a posição está correta. Nesse momento o punção é acionado para cima, empurrando a rebarba para a matriz, onde ocorre o corte e cisalhamento consequentemente.

#### 2.4.2 Matriz de corte

Consiste em uma matriz fixada através de um suporte, ou seja, um colar de fixação. Essa matriz pode ser substituída dependendo do tipo de roda e diâmetro das buchas a serem rebarbadas. A substituição se faz através de um painel de controle móvel, selecionando assim a matriz desejada, para o modelo de roda. O controle de troca desta matriz se dá pela verificação da área de corte, observando sua integridade, ou através de determinadas ocorrências que irão gerar modificações na mesma.

Figura 8 - Matriz em posição de corte



Fonte: (LPM Machines, 2008, p. 45).

### 2.4.3 Central Hidráulica

Esta central hidráulica consiste principalmente de uma bomba de pistão, cujo seu funcionamento ocorre pelo princípio em que os cilindros alternadamente sugam o óleo, quando se retraem dentro da camisa e descarregam quando se estendem (FATEC).

Os componentes mais importantes desta central hidráulica são: a bomba, os motores elétricos, trocador de calor, filtros, válvulas entre outros.

Figura 9 - Central Hidráulica LPM



Fonte: (LPM Machines, 2008, p.22).

### 3 METODOLOGIA

A metodologia desenvolvida para a caracterização das propriedades mecânicas, e físicas dos materiais aços estudados foram os ensaios de tração e ensaio de impacto, cuja finalidade é determinar suas características e analisar sua reação.

Os ensaios oportunizam a obtenção de novas informações sobre os materiais e são de grande importância para o desenvolvimento de novos processos de fabricação e tratamentos.

#### 3.1 Ensaio de tração

Segundo Garcia et al (2000), denomina-se ensaio de tração, a aplicação de carga de tração uniaxial crescente em um corpo de prova, até que ocorra a ruptura.

O corpo de prova consiste em um tipo de método de ensaio realizado em função da geometria da peça, ou seja, o material é submetido a cargas em suas extremidades seguindo as normas técnicas vigentes (NBR-6152, da Associação Brasileira de Normas Técnicas- ABNT).

Esse tipo de ensaio é muito utilizado nas indústrias de equipamentos mecânicos, cujo seus componentes muitas vezes carecem de alterações em determinadas peças no material, além de verificação das características mecânicas dos mesmos. Nas principais vantagens deste ensaio, destacam-se os limites de resistência à tração ( $\sigma_u$ ), limite de escoamento ( $\sigma_e$ ), módulo de elasticidade (E), módulo de resiliência ( $U_r$ ), módulo de tenacidade ( $U_t$ ), ductilidade, coeficiente de encruamento (n), coeficiente de resistência ( $R$ ).

#### 3.2 Ensaio de impacto

É um tipo de ensaio que analisa como um material pode se comportar, sendo aplicado um esforço por choque (dinâmico) sobre ele; o impacto que causa o choque é feito por meio da queda de um martelo ou pêndulo, de uma determinada altura, sobre a peça de ensaio.

Este ensaio permite que se observe o quanto de energia será absorvida pelo corpo de prova. Portanto é possível a observação de diferentes comportamentos entre os materiais, pois isso não é possível ser observado nos ensaios de tração.

Dentre os ensaios mecânicos, os mais conhecidos são denominados Charpy e Izod, dependendo de suas especificações e aplicação.

Ambos os ensaios são compostos de corpo de prova com entalhe, e é determinado tamanho e profundidade de acordo com os resultados a serem obtidos, e o tipo de material a ser ensaiado. As diferenças primordiais entre os dois ensaios citados acima estão na forma em que o corpo de prova é montado na máquina, podendo ser (horizontal ou vertical).

Todo esse processo de verificação e pesquisas de ensaios de impacto surgiu durante a segunda guerra mundial, quando os projetistas e engenheiros metalúrgicos dessa época, focaram a atenção no fenômeno da fratura frágil, devido à alta incidência de quebras em estruturas soldadas de aço de navios e tanques de guerra. Essas incidências motivaram a implantação de programas de pesquisas e a determinação do motivo dessas rupturas, para assim sanar as atuais e futuras ocorrências desses problemas (GARCIA *et al.*, 2000).

## **4 MATERIAIS**

Nesse capítulo serão apresentados os materiais utilizados no desenvolvimento do trabalho de conclusão de curso, e tem como objetivo a análise da substituição do material VND pelo AISI VH13 na matriz de estampagem de rodas de alumínio.

### **4.1 Materiais utilizados**

Os materiais utilizados na realização do presente trabalho são dois aços de alto e médio carbono, denominados, aço VND e aço AISI VH13, respectivamente. Os dois aços são do processo de fabricação de componentes mecânicos, ou seja, peças de máquinas, moldes de ferramentas, entre outros para equipamentos industriais do ramo metalúrgico.

Para desenvolver este trabalho foram selecionadas amostras dos dois aços em questão, e ambos com dimensões diferentes, pois foram feitos ensaios distintos, (tração e impacto).

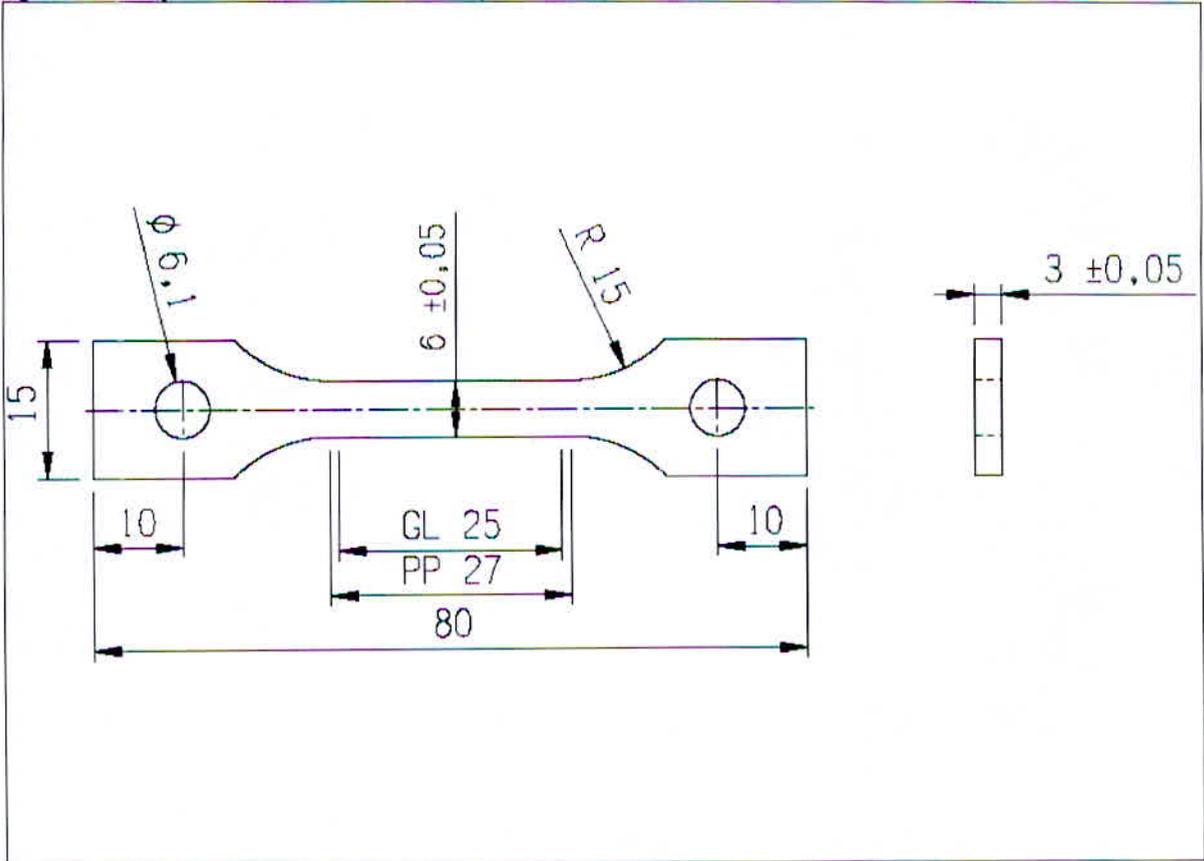
Amostra 1: Aço VND da Villares Metals.

Amostra 2: Aço AISI VH13 da Villares Metals.

#### **4.1.1 Ensaio de Tração**

Para o ensaio de tração foi realizado o corpo de prova a seguir, para ambos os materiais aços em estudo, com as seguintes dimensões: espessura de 3 mm, largura de 15mm e comprimento total de 80mm, rebaixo de 6mm com raio em suas extremidades de 15°, seguidas pela norma: JIS 2241. (JIS JAPANESE INDUSTRIAL STANDARD, 1998).

Figura 10 - Corpo de Prova de Ensaio de Tração



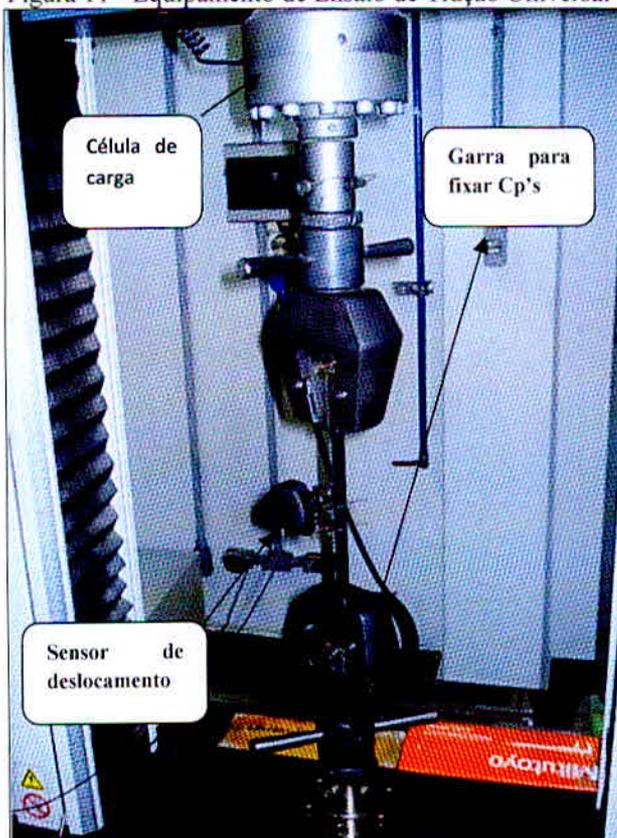
Fonte: o autor.

Na confecção dos corpos de prova, para determinar as solicitações desejadas, foi utilizado uma fresa ferramenteira e uma retificadora para dar os acabamentos desejados.

Para se realizar os ensaios utilizou-se uma máquina e tração uniaxial com capacidade de 10 toneladas, marca INTRON. Este ensaio de tração consiste em fixar um corpo de prova na máquina uniaxial, que tem um conjunto de garras que permite prendê-lo e aplicar um carregamento, tracionando-o de modo uniaxial, com velocidade controlada e constante até a ruptura.

No ensaio, são registrados os dados da força  $F$  [N] (pela célula de carga) e aumento do comprimento  $\int_0$  [mm] (pelo sensor deslocamento).

Figura 11 - Equipamento de Ensaio de Tração Universal



Fonte: o autor

A figura 11 representa o equipamento utilizado para esse processo de tração.

#### 4.1.2 Ensaio de Impacto

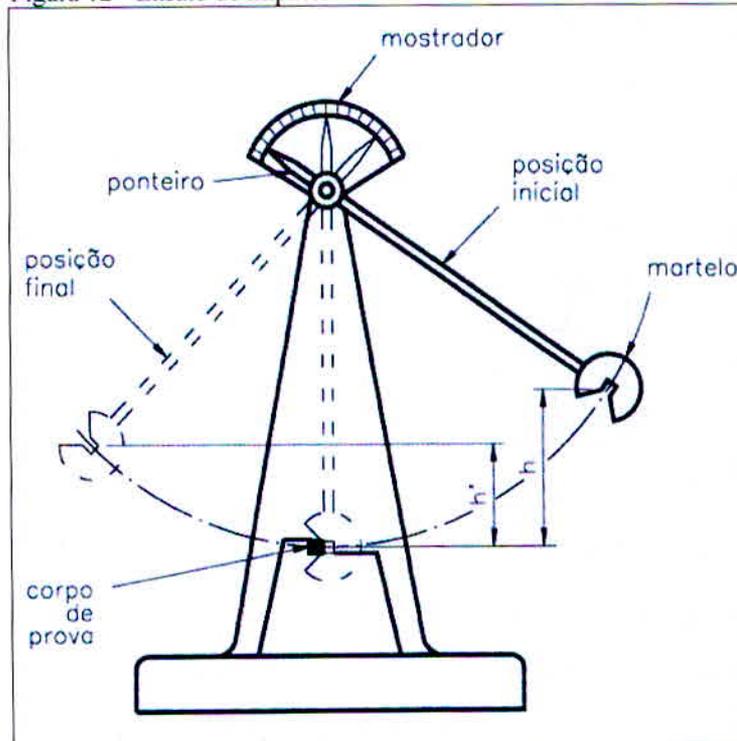
Para o ensaio de impacto do tipo Charpy, foi utilizado o corpo de prova do tipo de (A), já que esses ensaios são divididos em classe, em função ao formato do entalhe.

Seguindo as normas de construção desses corpos de prova, ASTM (American Society for Testing and Materials) E23-94, e as seguintes medidas: espessura de 10 mm, largura de 10 mm e comprimento total de 55 mm, entalhe em V de ângulo de 45°, profundidade 2 mm.

Amostra 1: Aço VND da Villares Metals.

Amostra 2: Aço AISI VH13 da Villares Metals.

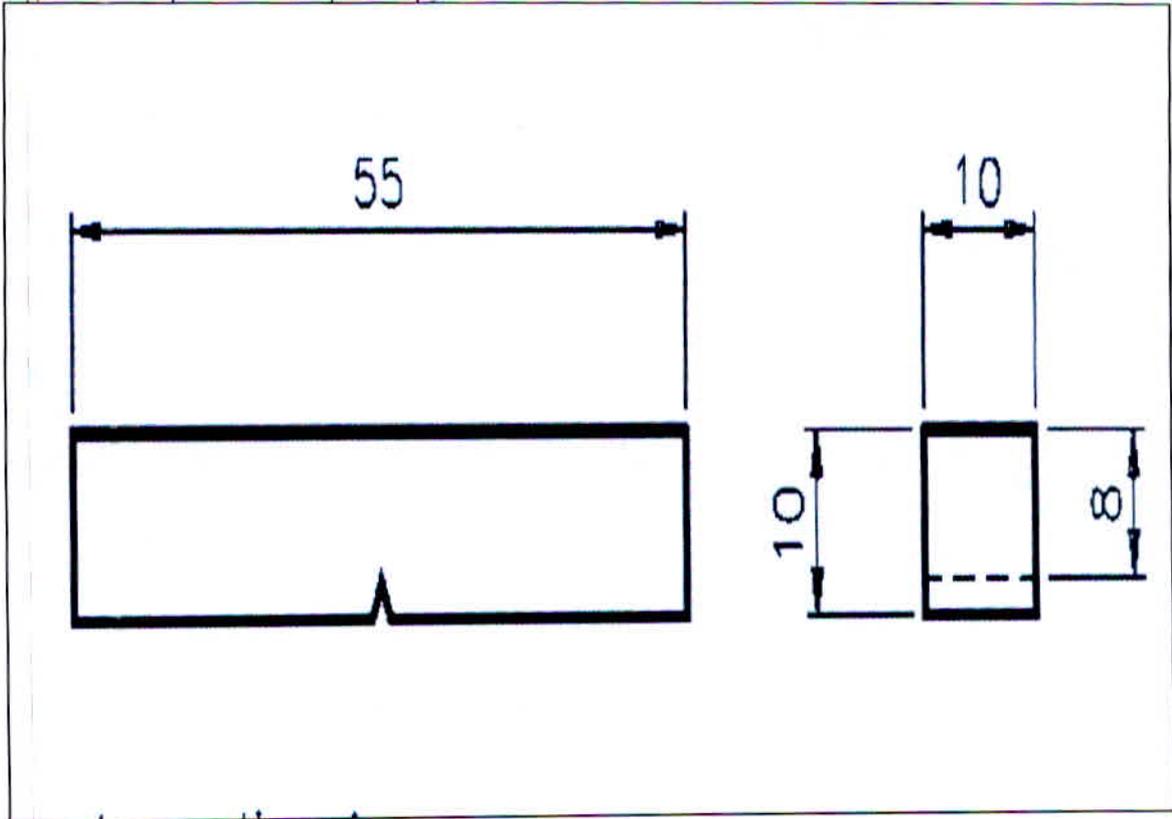
Figura 12 - Ensaio de impacto



Fonte: USP-Universidade de São Paulo, 2013.

A figura 12 demonstra um equipamento que permite aplicar uma carga de esforços por choque em materiais metálicos. Isso ocorre através de um martelete ou pêndulo, sendo o mesmo levado até a peça por queda, partindo de um determinado ponto. O equipamento é composto por alguns componentes como: escala de leitura, pêndulo, base de fixação, porta corpo de prova, etc. Esses pêndulos possuem diversos pesos e podem cair de alturas variáveis.

Figura 13 - Corpo de Prova Tipo Charpy



Fonte: USP-Universidade de São Paulo, 2013.

#### 4.2 Justificativa

O presente trabalho foi desenvolvido levando em consideração uma grande ineficiência no processo de estampagem de rodas de alumínio, causada por defeitos nas partes internas das rodas, ou seja, off-set com rebarbas, ocasionando assim uma descentralização das rodas em relação a matriz de corte. Em decorrência dessa má centralização, por várias vezes a produção já não estava atendendo a demanda de rodas a serem estampadas, pois a prensa LPM é responsável por aproximadamente 60% da produção dessas rodas de alumínio. Todas essas falhas ocorridas ocasionaram uma troca de matriz e punção muito elevada, pois o material aço VND contém uma porcentagem maior de carbono entre outros elementos, além de sofrer tratamentos térmicos que o torna quebradiço quando sujeito a uma força ou impacto não desejado sobre ele.

Através de conhecimentos adquiridos no curso de Engenharia Mecânica aliado com a experiência e a vontade de fazer mudanças, foi possível analisar os defeitos, realizando um estudo do processo, identificando as falhas, e utilizando meios para possíveis soluções.

Entender a metodologia de análise dos modos de falhas e efeitos, sua estrutura, aplicação e resultados foram fundamentais para a escolha do melhor material aço mais apropriado para a finalidade deste trabalho.

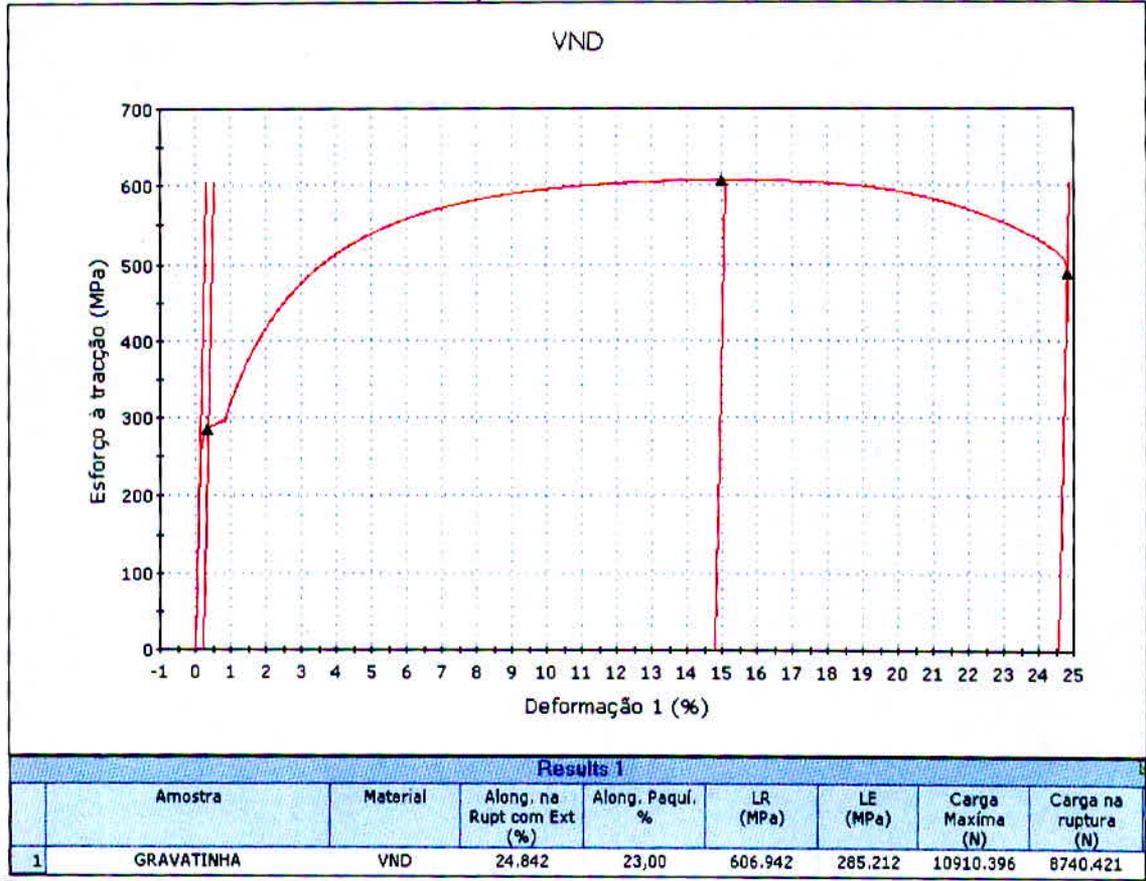
## **5 RESULTADOS**

O processo de estampagem de rodas de alumínio requer muita eficiência na produtividade. Nesse contexto devido à demanda elevada da empresa, foi elaborado um plano de controle nas matrizes de estampagem aço VND, acompanhando suas características mecânicas, resistência a desgaste e absorção de impacto. Para acompanhar a lógica do processo foi escolhido um material que contém as características do aço em estudo, no entanto ficou demonstrado através de ensaios que o aço AISI VH13 representava uma ótima escolha, por se tratar de um material que contém porcentagem aproximada de elementos químicos do aço VND, além de ser superior em absorção de impacto e atender aos parâmetros exigidos no processo, tendo em vista que a quebra dessas matrizes ocorria pela rigidez do material e devido às falhas no processo de estampagem.

### **5.1 Resultados dos Ensaios**

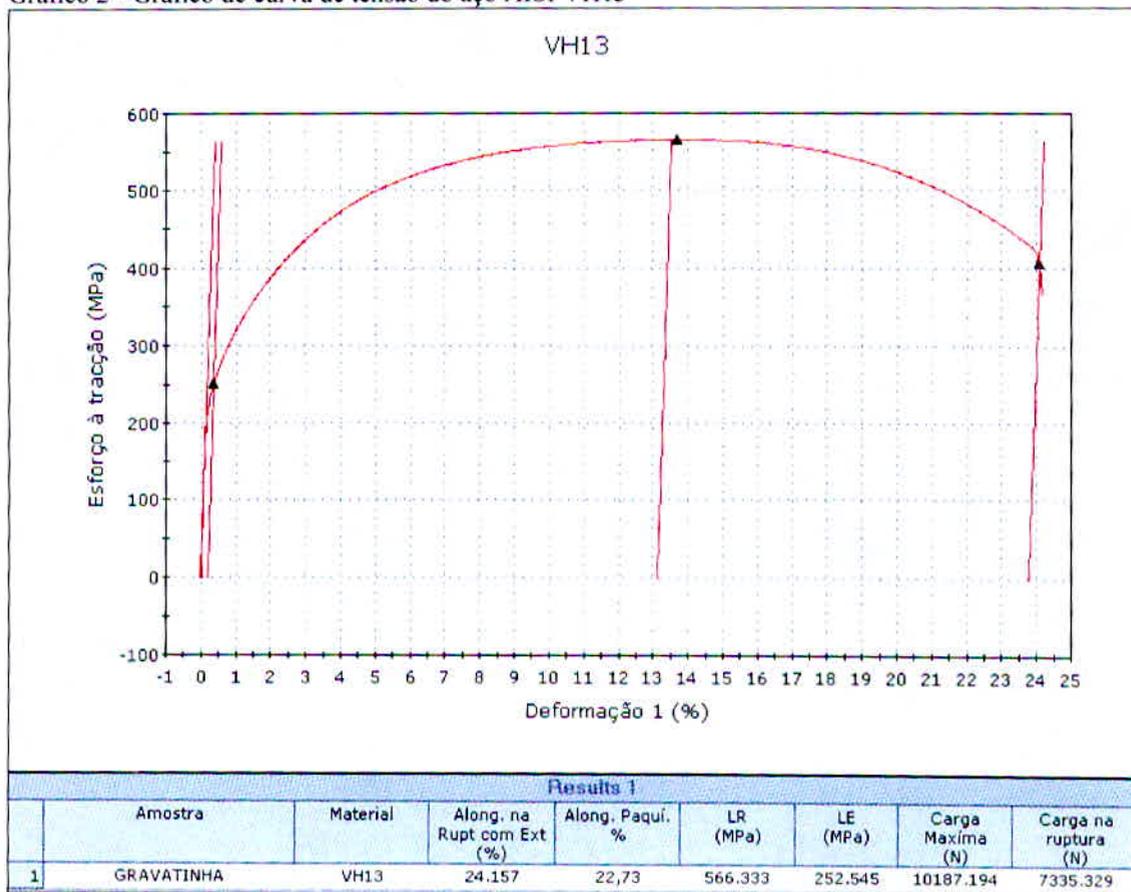
No método de ensaio de tração foi realizada uma comparação das reações exercidas de ambos os materiais aços estudados; e foi constatado que o material AISI VH13 ficou bem próximo do VND nesse aspecto, como será demonstrado a seguir nos gráficos:

Gráfico 1 - Gráfico de curva de tensão do aço VND



Fonte: o autor.

Gráfico 2 - Gráfico de curva de tensão do aço AISI VH13



Fonte: o autor.

Nas relações entre os dois gráficos, ficou bem claro que os resultados obtidos foram muito próximos em relação às forças exercidas e nas deformações. Sendo assim, o aço VND pode sim ser trocado pelo AISI VH13, pois os resultados determinados foram insignificantes para a não substituição.

### 5.1.1 Resultado do Ensaio de Impacto

Resultados: Cálculo de carga absorvida VND  $\rightarrow 10,07 \times 6,96 = 70,08 \text{ mm}^2$

$\swarrow$                        $\swarrow$                        $\swarrow$   
 Largura      espessura      área do corpo de prova

- converter área de  $\text{mm}^2$  para  $\text{cm}^2$ :  $70,08 \text{ mm}^2 / 100 = 0,7008 \text{ cm}^2$

Multiplicar a carga atingida encontrada no ensaio pela gravidade, o resultado dividir pela área do corpo de prova. Achando assim a energia absorvida na região de impacto pelo corpo de prova.

$$12,42 \text{ Kgf} \times 9,81 = 121,84 \quad \rightarrow \quad 121,84 / 0,7008 \text{ cm}^2 = 173,85 \text{ J/cm}^2$$

Valor encontrado na escala de leitura

Valor de absorção do VND

Resultados: Cálculo de carga absorvida do AISI H13  $\rightarrow 10,03 \times 6,96 = 69,80 \text{ mm}^2$

Foi usada a mesma forma de cálculo do VND, alterando apenas o valor encontrado na escala de leitura.

$$32,2 \text{ kgf} \times 9,81 = 315,88 \rightarrow 315,88 / 0,7008 = 450,74 \text{ J/cm}^2$$

Valor de absorção do AISI H13

Já nas relações geradas no ensaio de impacto Charpy, os resultados foram excelentes, pois no VND a carga absorvida foi de  $173,85 \text{ J/cm}^2$  enquanto no AISI VH13 foi de  $450,74 \text{ J/cm}^2$ , proporcionando assim um desempenho de absorção de impacto do AISI VH13 muito mais elevado do que o VND, em base a todos esses resultados positivos, a troca foi executada.

## 6 DISCUSSÃO

Nos processos industriais de produção, muitos imprevistos podem ocorrer, como por exemplo: parada de máquina, deficiência no setor de logística, refugo, gastos excessivos de matéria prima, desperdício operacional entre outros, prejudicando dessa forma um bom desempenho do trabalho, o que certamente não são bem vindos, pois geram insatisfação do cliente, por interferir no prazo de entrega do produto, ocasionando muitas vezes quebra de contrato e acarretando em algumas situações falência da empresa.

A indústria anteriormente necessitava de uma melhoria na prensa LPM, levando em consideração que a mesma é responsável por 60% das rodas estampadas. Partindo desse pressuposto foi realizado um estudo detalhado em conjunto com todas as áreas de apoio da mesma, além da análise e checagem de todas as ordens de serviço, concluindo assim que a parada da prensa por troca de matrizes era a mais solicitada.

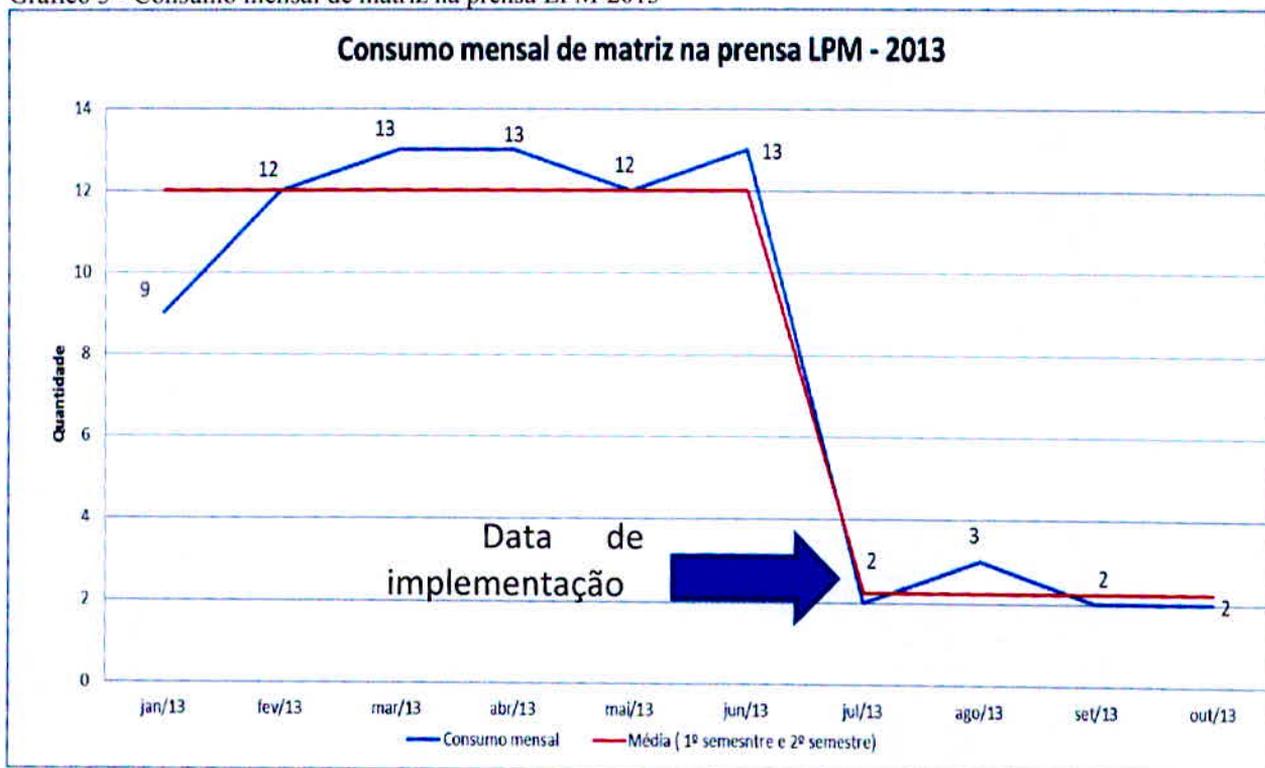
Para sanar essa carência na prensa, um estudo foi realizado da matriz e de tudo que envolve sua atividade. Primeiramente foi utilizado um método de fixação de punção e porta matriz bem ajustado, em seguida foram levantadas todas as informações sobre a temperabilidade do material aço em estudo, tentando por sua vez fazer um revenimento mais apropriado, mas nada foi bem sucedido.

Partindo para um conceito mais técnico, foi levantado a ideia de substituição por outro material com maior absorção de impacto, e resistência à deformação bem mais próximo do VND, portanto através de análise, comparação de elementos químicos dos aços e ensaios, ficou concluído que o aço AISI VH13, poderia suprir as necessidades existentes, além de ser melhor em resistência e impacto, representando assim uma ótima escolha.

Nesse contexto após os resultados obtidos, restou apenas à confecção e tratamento do aço, o que foi sucedido com sucesso. A partir da substituição do aço, foi realizado um monitoramento de quebras e paradas de prensas em um período de 4 meses, detectando assim uma redução de quebras das matrizes em 83%.

Além de toda essa melhoria apresentada, foi realizado também um reaproveitamento de aços que estavam sendo descartados na sucata, restos de matéria prima que eram usados nas confecções de componentes dos moldes de rodas, totalizando uma redução financeira de R\$1.021,98 ao mês, conforme demonstrado no gráfico a seguir:

Gráfico 3 - Consumo mensal de matriz na prensa LPM-2013



Com base no gráfico 16, ficou demonstrado uma média anterior da data da implementação. Sendo que anteriormente utilizava-se 12 trocas de matrizes ao mês, e após a substituição do aço VND pelo aço AISI VH13, que ocorreu no mês de Julho/2013, foi observado uma queda passando a ser trocada 2 ao mês, representando um resultado positivo.

Gráfico 4 - Custo de troca de matrizes por mês



Fonte: o autor.

O gráfico 4 representa o custo anteriormente que era gasto com o aço VND, levando em consideração apenas o valor do material bruto utilizado na confecção da matriz. Este valor, segundo a VILLARES METALS, é de R\$104,20 cada material bruto do aço VND, e R\$113,51 cada material bruto do aço AISI VH13.

## 7 CONCLUSÃO

Conforme exposto no trabalho, a análise dos elementos aços, juntamente com a realização de ensaios, estudos, aliado com os conhecimentos adquiridos durante o curso de Engenharia Mecânica, foram de total importância para que este trabalho fosse concluído com sucesso.

Com o crescimento das indústrias, o processo de otimização, o aumento da evolução e aprimoramento dos materiais empregados, a substituição do aço VND pelo aço AISI VH13 na matriz de estampagem, foi sem dúvidas um ótimo trabalho realizado, pois solucionou totalmente a carência que existia no processo de estampagem de rodas de alumínio, além de atingir uma elevada redução de custos financeiros através do reaproveitamento dos aços que seriam descartados, evidenciando assim um resultado positivo da proposta deste trabalho.

As etapas do presente trabalho foram seguidas de acordo com as normas exigidas, destacando as condições de operações das atividades e controles diários da máquina específica (LPM Machines), facilitando a implantação do objetivo proposto, realizando modificações e tornando o serviço padronizado, em relação às melhorias que foram feitas.

Nas atividades desenvolvidas por um engenheiro, é necessário uma visão holística, cujo foco principal deve estar embasado em um ponto chave, ou seja, detecção do problema e a solução com eficiência para alcançar resultados positivos e satisfatórios. Isso funciona como uma inspiração para que futuros problemas venham a ser solucionados, o que enobrece os idealizadores de melhorias.

## REFERÊNCIAS

- BENAZZI JUNIOR, Ivar; CAVERSAN, Elpidio Gilson. **Tecnologia de Estampagem 1 Corte**- Sorocaba: Fatec: Centro Paulo Souza, 2012. Disponível em: <[http://www.fatecsorocaba.edu.br/principal/pesquisas/nc2m/pdf/apostila/set2012\\_apostila\\_te\\_corte\\_.pdf](http://www.fatecsorocaba.edu.br/principal/pesquisas/nc2m/pdf/apostila/set2012_apostila_te_corte_.pdf)> Acesso em: 17 março. 2013.
- CHIAVERINI, Vicente. **Tecnologia Mecânica**. 2 ed. São Paulo, 1986.
- FATEC- Faculdade de Tecnologia de Marília. Hidráulica Automotiva. **Sistemas Hidráulicos. Bombas Hidráulicas**. Disponível em: <[http://www.fatecpompeia.edu.br/arquivos/arquivos/hidraulica\\_automotiva\\_bombas.pdf](http://www.fatecpompeia.edu.br/arquivos/arquivos/hidraulica_automotiva_bombas.pdf)> Acesso em 28 setembro. 2013.
- FERREIRA, Gustavo Emiliano Falcão. **Avaliação da Resistência À Fadiga Térmica do Aço AISI H13 Nitretado pelos Processos Gasoso e por Plasma**. 97p. Dissertação (Mestrado)-Universidade Federal de Santa Catarina, Novembro 2001. Disponível em: <<http://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/80332/186755.pdf?sequence=1>> Acesso em: 16 Junho. 2013.
- GABARDO, João Fredolim. **Estudo da Tenacidade do Aço Ferramenta H13**. 71p. Dissertação (Mestrado)- Universidade Federal do Paraná 2008. Disponível em: <[http://www.pgmecc.ufpr.br/dissertacoes/dissertacao\\_100\\_Joao\\_fredolim\\_gabardo.pdf](http://www.pgmecc.ufpr.br/dissertacoes/dissertacao_100_Joao_fredolim_gabardo.pdf)> Acesso em 22 setembro. 2013.
- GARCIA, Amauri; SPIM, Jaime Alvares; SANTOS, Calos Alexandre. **Ensaio dos Materiais**. Rio de Janeiro: LTC-Livros Técnicos e Científicos, 2000. 247p.
- JIS JAPANESE INDUSTRIAL STANDARD. **Métodos de testes de tração de materiais metálicos**, 1998.
- LPM MACHINES. **Instalação de corte de rebarbas de rodas de alumínio**, 2008. 59 p. (Manual de uso e manutenção).
- PACIORNIK, Sidinei. **Fundamentos de Engenharia de Materiais**. Departamento de Engenharia de Materiais. Disponível em: <<http://www.dcm.puc-rio.br/cursos/cemat/html/CEMAT.pdf>> Acesso em: 17 março. 2013.
- PEREIRA JÚNIOR, Antônio Augusto. **Viabilidade econômica e financeira da abertura de uma distribuidora de rodas em São Paulo**. 62 p. (Monografia) Universidade Candido Mendes. Julho 2010. Disponível em: <[http://www.avm.edu.br/docpdf/monografias\\_publicadas/t206147.pdf](http://www.avm.edu.br/docpdf/monografias_publicadas/t206147.pdf)> Acesso em: 28 setembro. 2013.
- SENAI Departamento Regional do Espírito Santo. CPM - Programa de Certificação de Pessoal de Manutenção. **Mecânica Tratamentos Térmicos**. 1997. Disponível em: <<http://www.baruke.com.br/img/catalogo/1337942889.pdf>>. Acesso em: 21 set. 2013.

SOARES JUNIOR, Edmo. **Efeito do Tratamento Térmico na Microestrutura e nas Propriedades Mecânicas de Aço-Ferramenta para Trabalho A Frio**. 100p. Dissertação (Mestrado)-Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares(Autarquia associada à Universidade de São Paulo), 2006. Disponível em:  
<[http://pelicano.ipen.br/PosG30/TextoCompleto/Edmo%20Soares%20Junior\\_M.pdf](http://pelicano.ipen.br/PosG30/TextoCompleto/Edmo%20Soares%20Junior_M.pdf)>.  
Acesso em: 16 Junho. 2013.

SILVA, André Luiz V.da Costa e; MEI, Paulo Roberto. **Aços e ligas especiais**. 3. ed. São Paulo: Blucher, 2010.

STEIN, Cristiano Ramos; HERMENEGILDO, Tahiana Francisca; ARAUJO, Fernando Gabriel da Silva and COTA, André Barros. Efeito da rápida austenitização sobre as propriedades mecânicas de um aço SAE1045. **Rem: Rev. Esc. Minas [online]**, v.58, n.1, p. 51-56, 2005.

USP-Universidade de São Paulo. Ensaio de Materiais. **Ensaio de Impacto e Transição Dúctil-Frágil**. Disponível em:  
<[http://sistemas.eel.usp.br/docentes/arquivos/471420/LOM3010/Ensaios\\_cap6\\_Impacto.pdf](http://sistemas.eel.usp.br/docentes/arquivos/471420/LOM3010/Ensaios_cap6_Impacto.pdf).  
> Acesso em: 08 Out. 2013.

VILLARES METALS. **Aços para trabalhos a quentes**. [2013]. Disponível em:  
<[http://www.villaresmetals.com.br/portuguese/files/FT\\_12\\_VMO.pdf](http://www.villaresmetals.com.br/portuguese/files/FT_12_VMO.pdf)> Acesso em 02 Junho. 2013.