

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA

AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO  
DE NAVALHAS DE CORTE

por

Márcio Britto Silvano

Dissertação para obtenção do Título de  
Mestre em Engenharia

Porto Alegre, Maio de 2008

Dedico este trabalho a todos os meus familiares,  
especialmente aos meus pais, João e Iara,  
e a minha noiva Michelle.

## RESUMO

Este trabalho tem como base o estudo do processo de fabricação por forjamento a quente dos grampos ferroviários “Deenik”, que se inicia com o corte de pré-formas. Após análise preliminar da situação, concluiu-se que era necessário realizar estudos teórico-práticos para melhorar o desempenho das navalhas empregadas, melhorando a durabilidade, aumentando sua vida útil, e até mesmo refazer o projeto delas se necessário, e tendo em vista os requisitos especificados pelo projeto para os grampos produzidos. Para aumentar a produtividade, a qualidade dos grampos e ao mesmo tempo reduzir os custos de produção, foram planejados e executados uma série de testes operacionais na fábrica. Com a mesma configuração geométrica inicial, mas empregando-se diferentes materiais pré-selecionados, e com faixas de dureza diferentes (obtidos com tratamentos térmicos diferentes) pôde-se avaliar a melhor combinação dureza e tenacidade para o caso, apontando também o material de melhor desempenho. Na situação antiga (que requeria melhorias), as Navalhas de Corte eram fabricadas em aço AISI D6 com dureza entre 60 e 62 HRC. Após a realização dos testes práticos com esta configuração, foi possível cortar 100 mil peças ao longo da vida útil. Considerando-se inicialmente desnecessária uma mudança de geometria das navalhas, o estudo foi centrado no emprego de diferentes materiais e diferentes durezas para ver qual a melhor combinação. Foram feitos então estudos baseados na literatura, para fundamentar a seleção dos aços comerciais mais indicados para o contexto, e concluiu-se que seria adequado o emprego experimental dos aços AISI D2, AISI S1 e AISI H13, e obviamente o aço AISI D6. Levando-se em conta então, estas considerações iniciais, foram fabricadas 32 navalhas de corte (por usinagem), sendo 8 peças para cada tipo de matéria-prima, e com a mesma variação de dureza para cada par de navalhas. Após a fabricação das peças, estas foram devidamente identificadas e tratadas termicamente para obtenção das durezas propostas. Durante os testes, cada caso relacionando matéria-prima e dureza foi estudada individualmente. Foi analisado o desgaste sofrido, os problemas encontrados durante os testes e principalmente o número de peças cortadas, indicador de vida útil. Após a realização dos testes propostos, foi possível decidir qual o melhor material e qual melhor faixa de dureza a ser empregado. Navalhas utilizando o aço AISI S1 com dureza de 56 HRC permitiram corte de 150 mil peças sem alterar a configuração geométrica da navalha, com significativa melhora de vida em relação às condições iniciais.

## **ABSTRACT**

### **Assessment of Cutting Blade performance**

This paper analyzes the manufacture of Deenik rail clamps through hot forging, a process that begins with die cutting. After a preliminary analysis, it was concluded that theoretical and practical studies should be carried out in order to improve the performance of cutting blades, enhancing their durability, extending their useful life, and if necessary, to redesign them, following the project specifications for rail clamp manufacture. An array of operational tests was planned and performed at the manufacturing plant so as to increase productivity and reduce production costs. By using the same initial geometric configuration, but different pre-selected materials, with different hardness values (obtained through distinct thermal treatments), it was possible to assess the combination between hardness and tenacity, allowing for the selection of the material with highest performance. Formerly, when some improvements were required, the cutting blades were manufactured using AISI D6 steel with 60 to 62 HRC of hardness. After conducting practical tests with this configuration, up to 100,000 parts could be cut during the useful life of the cutting blades. Since a change to the geometric configuration of the blades was deemed unnecessary at first, the study focused on the use of different materials and hardness values until the best combination could be found. Studies based on the available literature were then undertaken to enable the selection of the most appropriate commercial steels, and in this case, the experimental use of AISI D2, AISI S1, AISI H13 steels, and obviously of AISI D6 steel, proved adequate. Taking these preliminary results into account, 32 cutting blades were manufactured by a machining process, including eight parts for each type of raw material, with the same hardness range for each pair of cutting blades. After the parts were manufactured, they were properly labeled and thermally treated until the desired hardness was obtained. During the tests, each case relating raw material and hardness was analyzed separately. Problems during the tests and mainly the number of parts cut, which is a useful life indicator, were evaluated. After the proposed tests, the best material and the best hardness value were chosen. Cutting blades made with AISI S1 steel with 56 HRC of hardness allowed cutting 150,000 parts without having to change the geometric configuration of the cutting blade, remarkably extending its useful life, compared with initial conditions.

## **AGRADECIMENTOS**

Para realização deste trabalho, foram necessárias as participações e colaborações de algumas empresas. A empresa IAT Ltda, empresa fabricante dos Grampos Elásticos DEENIK e, como um dos maiores interessados neste estudo, disponibilizou informações importantes para execução deste trabalho, além de permitir a execução de testes práticos em suas dependências. Foi possível fabricar as peças por meio de usinagem na empresa Metalúrgica Joper Ltda, a qual tem por interesse resolver problemas relacionados ao processo de seus clientes, entre eles, a IAT Ltda, e disponibilizou recursos financeiros na aquisição da matéria-prima utilizada, assim como disponibilizou as máquinas operatrizes para a produção das peças. Somando a estas empresas, também foi de extrema importância à disponibilidade de execução de tratamentos térmicos na empresa Metaltécnica Metalúrgica Ltda, empresa parceira para este tipo de serviço.

# ÍNDICE

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	1
<b>2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	3
2.1 AÇOS PARA NAVALHAS DE CORTE .....	3
2.2 TRATAMENTOS TÉRMICOS .....	8
2.2.1 Trabalho a frio e a quente .....	11
2.3 MECANISMO DE FALHA DE FERRAMENTAS PARA CONFORMAÇÃO A FRIO .....	12
2.3.1 Desgaste .....	13
2.3.1.1 Desgaste Abrasivo .....	13
2.3.1.2 Desgaste Adesivo .....	14
2.3.2 Mecanismo “Real” .....	15
2.3.3 Lascamento .....	16
2.3.4 Deformação Plástica .....	16
2.3.5 Trinca Catastrófica .....	16
2.3.6 Caldeamento .....	17
<b>3 ANÁLISE DO PROCESSO DE FABRICAÇÃO DOS GRAMPOS</b> .....	18
3.1 GRAMPO ELÁSTICO DEENIK .....	18
3.2 NAVALHAS DE CORTE .....	31
3.2.1 Fabricação das Navalhas de Corte .....	44
3.2.2 Matriz de Corte .....	48
<b>4 ESTUDO DA NOVA FERRAMENTA</b> .....	51
4.1 TESTE 1 - SITUAÇÃO ATUAL (AÇO AISI D6 COM DUREZA ENTRE 59 A 62 HRC) .....	51
4.2 TESTE 2 - USO DO AÇO AISI D6 COM DUREZA ENTRE 56 A 59 HRC .....	53
4.3 TESTE 3 - USO DO AÇO AISI D6 COM DUREZA ENTRE 53 A 56 HRC .....	55
4.4 TESTE 4 - USO DO AÇO AISI D6 COM DUREZA ENTRE 50 A 53 HRC .....	57
4.5 TESTE 5 - USO DO AÇO AISI D2 COM DUREZA ENTRE 59 A 62 HRC .....	59
4.6 TESTE 6 - USO DO AÇO AISI D2 COM DUREZA ENTRE 56 A 59 HRC .....	61



ANEXO H – Certificado de Qualidade do aço AISI D2 para dureza 59 HRC .....	100
ANEXO I – Certificado de Qualidade do aço AISI S1 .....	101
ANEXO J – Certificado de Qualidade do aço AISI S1 para dureza de 59 HRC .....	102
ANEXO L – Certificado de Qualidade do aço AISI S1 para dureza 59 HRC .....	103
ANEXO M – Certificado de Qualidade do aço AISI S1 para dureza 56 HRC .....	104
ANEXO N – Certificado de Qualidade do aço AISI H13 .....	105
ANEXO O – Certificado de Qualidade do aço AISI H13 para dureza de 57 HRC .....	106
ANEXO P – Certificado de Qualidade do aço AISI H13 para dureza 56 HRC.....	107
ANEXO Q – Especificação técnica da matéria-prima utilizada nos grampos .....	108

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 – Navalhas de Corte empregadas nos cortes das barras para conformação dos Grampos Elásticos Deenik .....	2
Figura 2 - Ilustração esquemática dos mecanismos de falha em ferramentas .....	12
Figura 3 - Esquema do mecanismo de desgaste abrasivo.....	13
Figura 4 - Esquema do mecanismo de desgaste adesivo .....	14
Figura 5 - MEV da superfície desgastada por desgaste abrasivo de uma ferramenta em aço AISI D2 com 46 HRC .....	15
Figura 6 - MEV da superfície desgastada por desgaste abrasivo de uma ferramenta em aço AISI D2 com 46 HRC. Material estampado: inoxidável austenítico .....	15
Figura 7 - Grampo Elástico Deenik.....	18
Figura 8 - Representação do uso do Grampo Elástico Deenik na fixação dos dormentes .....	19
Figura 9 - Figura esquemática que mostra a montagem do Grampo Elástico Deenik em uma secção do trilho .....	19
Figura 10 – Representação esquemática da secção da barra .....	20
Figura 11 - Primeira etapa: prensa realizando os cortes das barras .....	21
Figura 12 - Aquecimento por processo elétrico-resistivo .....	22
Figura 13 - Primeira dobra de conformação dos grampos elásticos.....	22
Figura 14 - Segunda e terceira dobras de conformação dos grampos elásticos .....	23
Figura 15 - Quarta dobra de conformação dos grampos elásticos.....	23
Figura 16 - Esteira onde as peças são encaminhadas para o tratamento térmico .....	25
Figura 17 - Desenho esquemático do Grampo Elástico Deenik.....	26
Figura 18 - Diagrama Força-Deslocamento mostrando a zona de atuação .....	27
Figura 19 – Equipamento utilizado para realização do ensaio estático.....	28
Figura 20 – Gráfico: Deformação Residual X Deslocamento.....	29
Figura 21 – Equipamento utilizado para realização do ensaio dinâmico .....	30
Figura 22 - Desenho da Navalha de Corte.....	32
Figura 23 - Seqüência de processamento do produto do aço AISI D6.....	34
Figura 24 - Diagrama de revenimento do aço AISI D6.....	34
Figura 25 - Diagrama de transformação isotérmica do aço AISI D6 .....	35
Figura 26 - Seqüência de processamento do aço AISI D2 .....	37
Figura 27 - Diagrama de revenimento do aço AISI D2.....	38
Figura 28 - Diagrama de transformação isotérmica do aço AISI D2 .....	38

Figura 29 – Seqüência de processamento do aço AISI H13.....	40
Figura 30 - Diagrama de revenimento do aço AISI H13.....	40
Figura 31 – Diagrama de transformação isotérmica do aço AISI H13 .....	41
Figura 32 - Seqüência de processamento do aço AISI S1 .....	42
Figura 33 - Diagrama de revenimento do aço AISI S1 .....	43
Figura 34 - Diagrama de transformação isotérmica do aço AISI S1.....	43
Figura 35 - Fresadora CNC Petrus 50100R, onde foram usinadas as navalhas .....	45
Figura 36 - Peças durante a fabricação.....	46
Figura 37 - Peças já usinadas e sendo devidamente marcadas para o tratamento térmico.....	46
Figura 38 - Retificadora Plana, onde as peças foram acabadas após o tratamento térmico.....	47
Figura 39 - Todas as peças já prontas.....	48
Figura 40 - Desenho de conjunto da Matriz de Corte .....	49
Figura 41 - Matriz de Corte concluída, pronta para testes de uso .....	50
Figura 42 - Matriz de Corte desmontada, para visualização das partes .....	50
Figura 43 - Navalhas de Corte em aço AISI D6 com 60 HRC peças.....	52
Figura 44 - Navalhas de Corte em aço AISI D6 com 60 HRC após cerca de 100 mil peças cortadas, visualização do desgaste nas extremidades dos canais .....	52
Figura 45 - Secção da barra cortada com deformação.....	53
Figura 46 - Navalhas de Corte em aço AISI D6 com 60 HRC após o uso.....	54
Figura 47 - Fissuramento em um rasgo de corte na navalha superior .....	55
Figura 48 - Navalhas de Corte em aço AISI D6 com 56 HRC após o uso.....	56
Figura 49 – Navalha de Corte superior com vários fissuramentos nos rasgos.....	56
Figura 50 - Navalhas de Corte em aço AISI D6 com 50 HRC após o uso.....	58
Figura 51 - Vista superior da Navalha de Corte que mostra o excessivo desgaste nos rasgos .....	58
Figura 52 - Navalhas de Corte em aço AISI D2 com 60 HRC após o uso.....	60
Figura 53 - Detalhe que mostra os rasgos sem muito amassamento e desgaste.....	60
Figura 54 - Navalhas de Corte em aço AISI D2 com dureza de 59 HRC após o uso .....	61
Figura 55 - Mostra um maior desgaste nos rasgos superiores.....	62
Figura 56 - Navalhas de Corte em aço AISI S1 com dureza 59 HRC após o uso.....	63
Figura 57 - Vista superior das Navalhas de Corte em aço AISI S1 com 59 HRC .....	64
Figura 58 - Navalhas de Corte em aço AISI S1 com 59 HRC .....	65

Figura 59 - Navalhas de Corte em aço AISI S1 com 59 HRC .....	66
Figura 60 - Navalhas de Corte em aço AISI S1 com dureza 56 HRC após o uso.....	67
Figura 61 - Vista superior das Navalhas em aço AISI S1 com dureza 56 HRC .....	68
Figura 62 – Navalha de Corte em aço AISI H13 com dureza de 57 HRC .....	69
Figura 63 - Mostra o detalhe de um desgaste nos rasgos .....	70
Figura 64 - Navalhas de Corte em aço AISI H13 com dureza de 56 HRC .....	71
Figura 65 - Detalhe dos rasgos com desgaste e inclusive com algumas fissuras .....	72
Figura 66 - Novas Navalhas de Corte em aço AISI S1 antes do uso .....	74
Figura 67 – Navalha em aço AISI S1 com dureza 56 HRc após o uso .....	75
Figura 68 - Detalhe dos rasgos da Navalha de Corte, na qual é possível visualizar o desgaste.....	76
Figura 69 - Novo desenho aprovado .....	78

## 1 INTRODUÇÃO

Os Grampos Elásticos Deenik são peças utilizadas para a fixação dos trilhos em dormentes ao longo de uma ferrovia. Estes grampos são produzidos pela empresa IAT Ltda, que tem a permissão para fabricá-los aqui no Brasil. A marca Deenik é holandesa e é patenteada. Estes grampos elásticos são vendidos para todo o Brasil e para diversos países, tais como: Chile, Argentina, Colômbia, Tailândia, Indonésia, e países europeus. A empresa não trabalha com estoques de peças, mas sim com contratos com diversos clientes e tudo que é produzido é vendido. Atualmente, a produção mensal deste grampo é de 450 mil peças. Esta pesquisa evidencia todas as características Grampos Elásticos Deenik, salientando as etapas de fabricação, os diferentes ensaios de conformidade que devem ser submetidos os grampos e verificação das possibilidades de melhorias empregadas no processo.

Dentre todas as etapas necessárias para a fabricação dos grampos, a primeira etapa ocorre o corte das barras para produção dos grampos. Nesta etapa, existe um elemento de extrema importância para a fabricação dos grampos, é possível cortar as barras devido à existência das Navalhas de Corte. As Navalhas de Corte são peças especiais responsáveis por cortar as barras, e possuem características de resistência e durabilidade. Devido à necessidade de aumentar a durabilidade das navalhas no emprego do corte das barras, esta pesquisa visa o estudo de caso de desgaste e aumento de vida útil de Navalhas de Corte empregadas em processo de forjamento de Grampos Elásticos Deenik utilizados em ferrovias. A metodologia empregada é focada na necessidade de evolução do processo produtivo, sendo caso para estudo e experimentos que possam reduzir o desgaste, diminuir o custo do processo e melhorar o desempenho do produto em serviço.

Na figura 1, é possível destacar as Navalhas de Corte, sendo que as peças operam em pares realizando os cortes. Atualmente, as navalhas são fabricadas em aço AISI D6, com o intervalo de dureza devendo estar entre 60 e 62 HRC, sendo que este estudo tem por finalidade proporcionar a determinação do adequado procedimento de fabricação, na qual estão relacionados à escolha correta da matéria-prima a ser utilizada, o tratamento térmico a ser utilizado (faixa de durezas) e, através de fabricação de peças diferentes de acordo com o processo, realizar experimentos na própria empresa para reduzir o desgaste e como consequência, melhorar a utilização das mesmas.

Trata-se de um experimento prático na qual podem ser fabricadas as peças de diferentes aços e tratamentos térmicos, através do fornecimento por meio de parceiros de prestadores de serviço de usinagem e de tratamento térmico que podem ser fabricadas com

custos menores, para experimentos que serão realizados dentro das mesmas e avaliadas durante o trabalho na própria empresa solicitante.

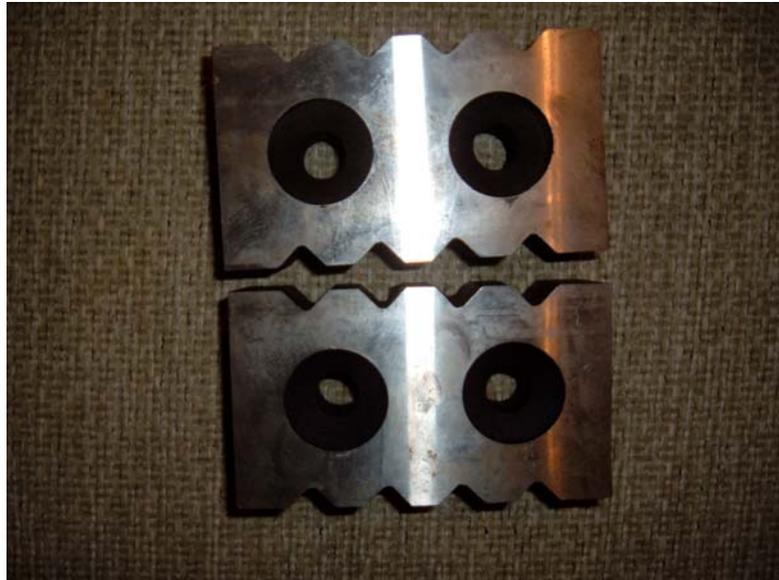


Figura 1 – Navalhas de Corte empregadas nos cortes das barras para fabricação dos Grampos Elásticos Deenik. Foto cedida pela IAT Ltda.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 AÇOS PARA NAVALHAS DE CORTE

Os aços mais utilizados para Navalhas de Corte são os aços ferramenta que se caracterizam pela sua elevada dureza e resistência a abrasão, geralmente associadas à boa tenacidade e manutenção das propriedades de resistência mecânica em elevadas temperaturas. Estas características normalmente são obtidas com a adição de elevados teores de carbono e ligas, como tungstênio, molibdênio, vanádio, manganês e cromo. As características fundamentais dos aços para ferramentas e matrizes são os seguintes (CHIAVERINI, 1998):

- a) **Dureza a temperatura ambiente:** esta importância está relacionada a dureza da ferramenta ou da matriz que deve ser superior à dureza aplicada da peça sobre a qual exercerão sua ação de corte, usinagem ou conformação. A dureza depende essencialmente do teor de carbono, não ser nos aços com elevados teores de elementos de ligas.
- b) **Resistência ao desgaste:** Requisito muito importante, pois o desgaste pode causar falha em muitos tipos de ferramentas. Há, aparentemente, um grande número de fatores que afetam essa propriedade: a composição do aço, a suscetibilidade do aço em endurecer por encruamento da superfície, e resistência mecânica do aço, além de fatores estranhos ao material, como tipo lubrificante, tipo de operação, calor gerado durante a operação. Também nesta propriedade, o carbono é o elemento de maior influência, entretanto, nos aços altamente ligados os elementos de liga podem influir, devido à dureza e à distribuição dos carbonetos que se formam.
- c) **Temperabilidade:** É um requisito indispensável, pois uma maior penetração de dureza garante perfeita uniformidade de características mecânicas em seções apreciáveis. Os aços carbono comuns são difíceis alcançar alta profundidade de endurecimento, sobretudo, em seções superiores a 25 mm, entretanto, uma pequena adição de cromo resultará, nestas dimensões, uma temperabilidade completa. De qualquer modo, o aumento do teor de elementos de liga tem a tendência de diminuir a diferença de dureza entre a superfície e o centro. Essa mesma elevação do teor de elementos de liga permite a utilização de meios mais brandos de têmpera, ainda com garantia de endurecimento total.
- d) **Tenacidade:** Geralmente é um característica desejável em qualquer ferramenta ou matriz. Entretanto, é difícil aliar-se os conceitos de elevada tenacidade e alta dureza. A

tenacidade pode ser definida como a capacidade do material deformar-se antes de romper ou como a capacidade do material absorver considerável quantidade de energia sem romper. No primeiro caso, o conceito é aparentemente de que o material deve deformar-se plasticamente antes de romper, ou seja, antes da ruptura, deve ocorrer apreciável deformação plástica. No segundo caso, o conceito é de que o material deve suportar a máxima carga ou tensão sem romper, em outras palavras, neste caso, a importância reside na tensão ou carga necessária à ruptura e a definição parece mais aplicável no caso de ferramentas e matrizes, onde geralmente, não são permitidas deformações de natureza plástica. Os fatores que afetam a tenacidade do aço são: tensões internas, produzidas por têmpera drástica, reaquecimento muito rápido dos aços temperados, retificação inadequada, pois podem provocar concentração de tensões, atuando como falhas internas, encruamento, granulação grosseira, dureza excessivamente altas.

- e) **Resistência mecânica:** Uma elevada resistência mecânica é indispensável, visto que os aços para ferramentas e matrizes devem apresentar a capacidade de suportar esforços sem o aparecimento das falhas ou de deformação permanente. Exige-se igualmente altos valores para os limites elásticos e de escoamento. A resistência mecânica é determinada pelos ensaios de tração e de torção estática. Costuma-se ainda especificar, em alguns casos, a resistência a compressão.
- f) **Dureza a quente:** Este é um característico altamente desejável em certos aços para ferramentas e matrizes, utilizados em altas temperaturas, devido ao calor das próprias condições de serviço ou ao que se desenvolve durante as operações de usinagem. A dureza a quente é propriedade que os aços podem apresentar de reter alta dureza a temperaturas elevadas (na ordem de 600°C para os aços rápidos). Os aços em que tal característico é fundamental são os aços rápidos e os aços para matrizes para trabalho a quente, essas são aplicações em que, além da alta dureza a temperaturas elevadas, é desejável alta resistência ao desgaste a essas temperaturas, ao mesmo tempo é imprescindível que sejam mantidas as formas e as dimensões das ferramentas e das matrizes. A composição química do aço é fator determinante desse característico, sendo os elementos responsáveis diretamente pro essas propriedades, o tungstênio em primeiro lugar, o molibdênio a seguir, o cobalto, o cromo e o vanádio.
- g) **Tamanho de grão:** Geralmente é desejável um tamanho de grão pequeno, ou granulação fina, pois se esta se associa com característicos mecânicos superiores. Para os aços ferramentas, o tamanho de grão é determinado pela fratura, quando o material

é quebrado em uma condição de dureza de aproximadamente 55 HRC. O material deve ser suficientemente duro para romper intergranularmente. Se o aço apresentar-se em condições de baixa dureza, como no estado recozido, ele romperá através do grão ou transgranularmente.

- h) Usinabilidade:** Evidentemente, não se pode associar-se às propriedades mencionadas, sobretudo alta dureza e resistência ao desgaste, uma usinabilidade satisfatória. A usinabilidade é tanto menor quanto maior o teor de ligas, visto que se forma um apreciável número de carbonetos duros. Por outro lado, aumentando o teor de carbono e de elementos de liga, mais difícil torna-se o recozimento do material para diminuir a dureza (CHIAVERINI, 1998).

A maior parte dos aços ferramenta é forjada, mas alguns também são fabricados por fundição de precisão ou por metalurgia do pó. A fusão deste tipo de aço é realizada, geralmente, em quantidades pequenas em fornos elétricos. A seleção da matéria-prima para a fabricação dos aços ferramentas é um fator importante do processo, e a sua seleção costuma ser cuidadosamente realizada inclusive na utilização da sucata. Há ainda atenção especial com as tolerâncias de composição química e homogeneidade do produto final. Estas e outras particularidades tornam o aço ferramenta um material de custo mais elevado em comparação com os aços comuns. Villares e Grupo Gerdau são os responsáveis pela produção nacional de aço ferramenta ([www.inda.org.br](http://www.inda.org.br), 2007).

Os aços-ferramenta são classificados de acordo com as suas características metalúrgicas principais ou de acordo com seu nicho de aplicação. A classificação American Iron and Steel Institute (AISI) é a mais utilizada pela indústria de ferramentaria e tem se mostrado útil para a seleção do produto.

Os aços ferramentas devem apresentar grande estabilidade dimensional. É importante para ferramentas de precisão que não permitam correções de forma ou dimensionais após o tratamento térmico de têmpera e revenido. Não existem aços indeformáveis e sim aços de baixa deformabilidade, isso porque podem ocorrer distorções no tratamento térmico devido a tensões térmicas, em razão das diferenças de velocidade de esfriamento entre superfície e núcleo da peça, onde a superfície esfria mais depressa. Com transformações estruturais que ocorrem na têmpera como contração ocorrida na austenização e dilatação da martensita durante o esfriamento e, no revenimento com a transformação da austenita retida em martensita, teremos um aumento de volume. Outros empenamentos podem ser decorrentes de projetos inadequados como furações próximas umas das outras, cantos vivos, rasgos de chavetas, defeitos de usinagem, grandes diferenças de perfis, restos de superfícies brutas. Os

cuidados nos tratamentos térmicos como apoio de peças, calçamento evitando vazios, meios de resfriamentos adequados, revenimentos logo após a tempera, são importantes para que não ocorram deformações ([www.inda.org.br](http://www.inda.org.br), 2007).

Os aços devem apresentar uma alta tenacidade, que consiste na capacidade de se deformar quando submetido a esforço mecânico e recuperar sua forma inicial. Também os aços devem apresentar alta resistência à abrasão, quando se tem um grande atrito entre a ferramenta e o material trabalhado. Ela é assegurada pela presença de carbonetos complexos de Cr, W, Mo e V juntamente com elevado teor de carbono e elevada retenção de corte - capacidade conferida ao material de produzir um elevado número de cortes de boa qualidade entre retificações como em facas, estampos de corte, punções, etc.

Os aços devem apresentar resistência ao choque, ou seja, apresentar alta dureza superficial associada a um núcleo de grande tenacidade, capaz de absorver e distribuir rapidamente a energia transmitida pelo impacto de punções, talhadeiras, etc. Estes aços para ter esta propriedade, possuem um carbono mais baixo, na faixa de 0,40 a 0,60%, além dos teores mais baixos de elementos de liga (CHIAVERINI, 1998).

Apesar de existirem mais de 100 tipos de aços ferramentas normalizados internacionalmente, para as mais diversas aplicações e solicitações, a indústria trabalha com uma gama reduzida de opções. São preferidos aqueles que possuem suas propriedades e desempenhos consagrados ao longo do tempo, como por exemplo, os aços AISI H13, AISI D2 e AISI D6. Os aços ferramentas são divididos em diferentes tipos, de acordo com a sua aplicação e características. São eles ([www.inda.org.br](http://www.inda.org.br), 2007):

**Aço Rápido:** são desenvolvidos para aplicações de usinagem em elevadas velocidades. Podem ser ao molibdênio (grupo M) e ao tungstênio (grupo T). Ambos possuem desempenho semelhante, entretanto, os do grupo M apresentam menor custo inicial. O aço rápido ao molibdênio tem elevada dureza, resistência ao desgaste e boa tenacidade. Este tipo de aço é frequentemente temperado em banhos de sais. Aplicações: ferramentas, brocas, perfuratrizes, alargadores de furos, machos para abertura de roscas, punções e fresas helicoidais. Alguns tipos podem ser utilizados para determinadas aplicações a frio, como laminadores de rosca, punções e matrizes para corte dos discos ([www.inda.org.br](http://www.inda.org.br), 2007).

**Aços para trabalho a quente:** desenvolvidos para utilização em operações de puncionamento, cisalhamento e forjamento de metais em altas temperaturas sob condições de pressão e abrasão. São identificados como aço H, no sistema de classificação. Os aços para trabalho a quente podem ser divididos em cinco grupos: ao cromo, ao cromo-molibdênio, ao cromo-tungstênio, ao tungstênio e ao molibdênio. O tipo ao cromo apresenta esse elemento

em teores variáveis de 3,25 e 4%. São os de menores custos porque contêm o mínimo dos outros elementos (vanádio e molibdênio). Os tipos de alto carbono possuem melhor resistência ao desgaste, mas sua tenacidade é baixa e, por isso, são preferidos quando o trabalho a quente é aplicado com ação da compressão. Exemplos: dispositivos de aperto na fabricação de parafusos (H10 e H11). Os de tipo de baixo carbono (H12, H13 e H14) apresentam baixa resistência ao desgaste com razoável tenacidade, são indicados nas condições de choque. Exemplos: Punções e talhadeiras.

O grupo ao cromo-molibdênio apresenta baixo teor de carbono, de modo que os aços se caracterizam por elevada tenacidade e baixa resistência ao desgaste (tipo H20, H21 e H22), são os mais utilizados dentro os aços para matrizes em trabalho a quente. O do grupo ao tungstênio (tipos H30 a H36) possui como tipo mais importante, o H30, de médio carbono e cromo, vanádio, tungstênio em teores variáveis, além de molibdênio e cobalto como elementos opcionais. Estes aços apresentam maior dureza a quente, mas sua resistência ao choque é inferior ao dos grupos anteriores.

O grupo ao tungstênio (H40 a H49) é o que apresenta maior dureza a quente, sendo que o tungstênio pode chegar a 18%. O carbono é mantido em teores baixos à média, devido à tenacidade necessária para estes aços. Sua confecção é dirigida para matrizes onde são necessários requisitos de alta dureza a quente e máxima resistência ao amolecimento a elevadas temperaturas. Exemplos: matrizes para extrusão de aço, latão e bronze e matrizes para compressão a quente. O grupo de aços resistentes ao calor ao molibdênio (tipos H50 a H56) foi desenvolvido como alternativa ao grupo de tungstênio. Como o molibdênio tem cerca de metade do peso atômico do tungstênio e possui propriedades químicas semelhantes, ele é tido como duas vezes mais eficiente que o tungstênio (CHIAVERINI, 1998).

**Aços para trabalho a frio:** Também chamados de indeformáveis, porque são menos sujeitos a alteração de forma e dimensões durante o tratamento térmico. O fato de serem temperados em óleo ou ar favorece essa indeformabilidade. Por este motivo, são indicados para aplicações que exigem cuidadoso controle dimensional, como matrizes para forjamento, estampagem, corte, compactação de pós metálicos e ferramentas como brochas, alargadores e peças para punções, calibre, etc. Por não conter os elementos de liga necessários para possuir resistência a quente, estes aços se restringem a aplicação que não envolvam aquecimentos repetidos ou prolongados em faixas de temperaturas de 205 a 260°C. São divididos em três grupos: aços temperáveis ao ar (grupo A), alto carbono e alto cromo (grupo D) e temperáveis em óleo (grupo O). Aplicações: os do grupo A são aplicados como facas de cisalhamento, punções, corte de chapas para estampagem e matrizes para aparar. Os do grupo D são

aplicados em ferramentas de forjamento, rolo de laminação de roscas, estampagem profunda, calibres, roletes. Os do grupo O, por fim, são utilizados em matrizes e punções de corte de chapas para estampagem, rebarbação, trefilação e forjamento (CHIAVERINI, 1998).

**Aços resistentes ao choque:** seus principais elementos de liga são manganês, silício, cromo, tungstênio e molibdênio. Quase todos os aços deste tipo (conhecidos como grupo S) possuem carbono de aproximadamente 0,50%, o que lhe confere uma combinação de elevada resistência e tenacidade e baixa ou média resistência ao desgaste por abrasão. Aplicações: usados em talhadeiras, punções, brocas guia e outras aplicações que requerem elevada tenacidade e resistência ao choque (CHIAVERINI, 1998).

**Aços de baixa liga para aplicações especiais:** contém pequenas quantidades de cromo, vanádio, níquel e molibdênio. A demanda por estes aços vem caindo continuamente, o que reduziu os seus subgrupos de sete para apenas dois, ambos temperáveis a óleo. São os aços do grupo L. Aplicações: são utilizados, em modo geral, em componentes de máquinas e árvores, cames, placas, mandris pinças de tornos ([www.inda.org.br](http://www.inda.org.br), 2007).

**Aços para moldagem:** estes aços possuem cromo e níquel como principais elementos de liga. Possuem características de baixa resistência ao amolecimento em altas temperaturas. São utilizados quase que exclusivamente em matrizes para peças fundidas sob pressão ou em moldes para injeção ou compressão de plásticos e são classificados como grupo P. Aplicações: como o próprio nome sugere, estes aços são utilizados como moldes para vários tipos, para aplicações que requerem a manutenção das características de resistência em temperaturas e pressões elevadas ([www.inda.org.br](http://www.inda.org.br), 2007).

**Aços temperáveis em água:** nestes aços o carbono é o principal elemento de liga. São adicionadas também pequenas quantidades de cromo para aumentar a temperabilidade e a resistência à abrasão e, de vanádio, para manter a granulação fina e, conseqüentemente uma maior tenacidade. Pertencem ao grupo W. Aplicações: são utilizados em ferramentas para forjamento a frio, corte de metais duros (machos e alargadores) e outras que requerem resistência ao desgaste por abrasão ([www.inda.org.br](http://www.inda.org.br), 2007).

## 2.2 TRATAMENTOS TÉRMICOS

Tratamentos térmicos é um conjunto de operações de aquecimento e resfriamento a que são submetidos os aços, sob condições controladas de temperatura, tempo, atmosfera e velocidade de esfriamento. O tratamento térmico é bastante utilizado em aços de alto teor de carbono ou com elementos de liga (COLPAERT, 1997). Seus principais objetivos:

- a) aumentar ou diminuir a dureza;
- b) aumentar a resistência mecânica;
- c) melhorar a resistência ao desgaste e a corrosão e ao calor;
- d) modificar propriedades elétricas e magnéticas;
- e) remover tensões internas, provenientes, por exemplo, de resfriamento desigual;
- f) melhorar a ductilidade, a trabalhabilidade e as propriedades de corte.

Os principais parâmetros de influência nos tratamentos térmicos são:

- a) Aquecimento: O caso mais freqüente de tratamento térmico do aço é alterar uma ou diversas de suas propriedades mecânicas, mediante uma determinada modificação que se processa na sua estrutura. Assim sendo, o aquecimento é geralmente realizado a uma temperatura acima da crítica, porque tem-se completa austenitização do aço, ou seja, total dissolução do carboneto de ferro gama: essa austenitização é o ponto de partida para as transformações posteriores desejadas, as quais se processarão em função da velocidade de esfriamento adotada. Na fase de aquecimento, dentro do processo de tratamento térmico, devem ser apropriadamente consideradas as velocidades de aquecimento e a temperatura máxima de aquecimento (CHIAVERINI, 1998).

A velocidade de aquecimento, embora na maioria dos casos seja fator secundário, apresenta certa importância, principalmente quando os aços estão em estado de tensão interna ou possuem tensões residuais devidas a encruamento prévio ou ao estado inteiramente martensítico porque, nessas condições, um aquecimento muito rápido pode provocar empenamento ou mesmo aparecimento de fissuras. Há casos, contudo, de aços fortemente encruados que apresentam uma tendência para o excessivo crescimento do grão quando aquecidos lentamente dentro da zona crítica, sendo então conveniente realizar um aquecimento mais rápido através dessa zona de transformação.

Nas mesmas condições então, certos aços especiais que exigem temperatura final de austenitização muito elevada, também nesses casos quando no aquecimento é atingida a zona crítica é necessário que a mesma seja ultrapassada mais ou menos rapidamente para evitar excessivo crescimento de grão de austenita.

A temperatura de austenitização é mais ou menos um fator fixo, determinado pela natureza do processo e dependendo, é evidente, das propriedades e das estruturas finais desejadas, assim como da composição química do aço, principalmente do seu teor de carbono. Quanto mais alta essa temperatura, acima da zona crítica, maior a

segurança se tem da completa dissolução das fases no ferro gama, por outro lado, maior será o tamanho de grão da austenita. As desvantagens de um tamanho de grão excessivo são maiores que as desvantagens de não se ter total dissolução das fases no ferro gama, de modo que se deve procurar evitar temperaturas muito acima da linha superior A3 da zona crítica. Na prática, o máximo que se admite é 50°C acima de A3 e assim mesmo para os aços hipoeutetóides (aços com teor de carbono inferior a 0,8%). Para os aços hipereutetóides (aços com teor de carbono acima de 0,8%), a temperatura recomendada é inferior à da linha Acm. A razão é óbvia, a linha Acm sobe muito rapidamente em temperatura com o aumento do teor de carbono, para que haja, portanto, completas dissoluções do carboneto de ferro gama, são necessárias temperaturas muito altas com conseqüente e excessivo crescimento de grão da austenita, condição essa prejudicial que a presença de carboneto não dissolvido (CHIAVERINI, 1998);

- b) Tempo de permanência à temperatura de aquecimento: A influência do tempo de permanência do aço à temperatura escolhida de aquecimento é mais ou menos idêntica à de máxima temperatura de aquecimento, isto é, quanto mais longo o tempo à temperatura considerada de austenitização, tanto mais completa a dissolução do carboneto de ferro ou outras fases presentes (elementos de liga) no ferro gama, entretanto, maior o tamanho de grão resultante.

Procura-se evitar a permanência à temperatura além do estritamente necessário para que se consigam as modificações estruturais mais convenientes. Tempo muito longo pode também aumentar a oxidação ou descarbonetação do material. Sob o ponto de vista de modificação estrutural, admite-se que uma temperatura inferior, devido à maior mobilidade atômica. De qualquer modo, o tempo à temperatura deve ser pelo menos o suficiente a se ter sua uniformização através de toda a secção (COLPAERT, 1997);

- c) Velocidade de resfriamento: é o fator mais importante, pois é o que efetivamente vai determinar a estrutura e conseqüentemente as propriedades finais desejadas. As siderúrgicas escolhem os meios de resfriamento ainda em função da secção e da forma da peça.

Dentre os tratamentos térmicos mais utilizados, encontram-se o recozimento, a normalização, a têmpera e o revenido. No **recozimento** a velocidade de esfriamento é sempre lenta, para o aço carbono a velocidade de resfriamento fica entre 150°C e 200°C por hora, enquanto para os aços liga, velocidade de resfriamento fica entre 30°C e 100°C por hora (neste caso, há necessidade de mais tempo, pois a estabilidade da austenita é maior), e o

aquecimento pode ser feito a temperaturas superiores à crítica (recozimento total ou pleno) ou inferiores (recozimento para alívio de tensões internas). É utilizado quando se deseja:

- a) remover tensões devido a tratamentos mecânicos a frio ou a quente, tais como o forjamento e a laminação;
- b) diminuir a dureza para melhorar a usinabilidade do aço;
- c) alterar propriedades mecânicas;
- d) ajustar o tamanho do grão.

A **normalização** é um tratamento semelhante ao anterior quanto aos objetivos. A diferença consiste no fato de que o resfriamento posterior é menos lento. Visa refinar a granulação grosseira de peças de aço fundido, e são também aplicadas em peças depois de laminadas ou forjadas, ou seja, na maioria dos produtos siderúrgicos. É também usada como tratamento preliminar a têmpera e ao revenido, visando produzir uma estrutura mais uniforme e reduzir empenamentos (COLPAERT, 1997).

A **têmpera** consiste no resfriamento rápido da peça de uma temperatura superior à crítica, com a finalidade de se obter uma estrutura com alta dureza (denominada estrutura martensítica). Embora a obtenção deste tipo de estrutura leve a um aumento do limite de resistência à tração do aço, bem como de sua dureza, há também uma redução da ductilidade e o aparecimento de tensões internas. Procuram-se atenuar estes inconvenientes através do revenido (CHIAVERINI, 1998).

O **revenido** geralmente sucede a têmpera, pois além de aliviar ou remover tensões internas, corrige a excessiva dureza e fragilidade do material e aumenta a maleabilidade e a resistência ao choque. A temperatura de aquecimento é inferior a crítica, e os constituintes obtidos dependem da temperatura a que se aquece a peça (CHIAVERINI, 1998).

### 2.2.1. Trabalho a frio e a quente

Os processos de fabricação por deformação podem ser a frio e a quente. A laminação é um exemplo de trabalho mecânico a quente, sendo uma etapa de extrema importância, pois é através dela que se obtêm as formas adequadas dos produtos em aço para uso comercial (chapas, perfis, barras). O forjamento e o estiramento são outros exemplos (CHIAVERINI, 1998). O trabalho mecânico a quente é realizado acima da temperatura crítica do aço (723° C), pois assim ele se torna mais mole e conseqüentemente mais fácil de ser trabalhado. Depois

de deformados, os grãos do material em questão recristalizam-se, agora sob a forma de pequenos grãos.

A laminação também pode ser feita a frio. Desta forma ela é realizada abaixo da temperatura crítica. Neste caso, após o trabalho, os grãos permanecem deformados e diz-se que o material está “*encruado*”, ou endurecido por deformação. Assim como nos tratamentos térmicos, o encruamento altera as propriedades do material - aumenta a resistência à tração e ao desgaste, aumenta o limite de escoamento, a dureza e torna o material mais frágil. Ao mesmo tempo, diminui o alongamento uniforme à tração, reduz a estrição, e reduz também a resistência à corrosão. Se o aço encruado for aquecido, os cristais tenderão a se reagrupar e o encruamento a desaparecer. Isto ocorre por dois fenômenos distintos e simultâneos de alívio de tensões e nucleação e crescimento de novos grãos.

### 2.3 MECANISMO DE FALHA DE FERRAMENTAS PARA CONFORMAÇÃO A FRIO

Existem cinco tipos básicos de mecanismos de falha de ferramentas para conformação a frio, são eles: Desgaste, lascamento, deformação plástica, trinca catastrófica e caldeamento (YOSHIDA, 2004).

A figura 2 ilustra estes mecanismos esquematicamente.



Figura 2 - Ilustração esquemática dos mecanismos de falha em ferramentas.

### 2.3.1 Desgaste

Nada dura para sempre e assim, toda e qualquer ferramenta será perdida um dia. Se todas as variáveis estiverem sob controle e, forem utilizados todos os procedimentos da forma mais otimizada possível, este deverá ser o mecanismo através do qual a ferramenta será perdida. É possível dividir este mecanismo em dois outros distintos:

#### 2.3.1.1 Desgaste Abrasivo

O desgaste abrasivo tem sido definido como o deslocamento de material causado por partículas ou protuberâncias de elevada dureza onde estas duas partículas são forçadas contra e ao longo de uma superfície sólida. Quando uma ou mais partículas duras são atritadas contra uma superfície, sulcando-a ou escavando-a devido à força normal aplicada, tem-se o desgaste abrasivo de dois corpos. Por outro lado, quando partículas duras são aprisionadas entre duas superfícies que deslizam entre si, pode ocorrer o chamado desgaste abrasivo de três corpos. Dentro da estrutura desta definição geral umas variedades de diferentes processos podem estar envolvidos na produção de danos superficiais e fragmentos. É importante salientar que embora a partícula abrasiva seja mais dura que a superfície a ser desgastada, esta não é uma condição para se classificar o desgaste como desgaste abrasivo.

A figura 3 ilustra esquematicamente este mecanismo.

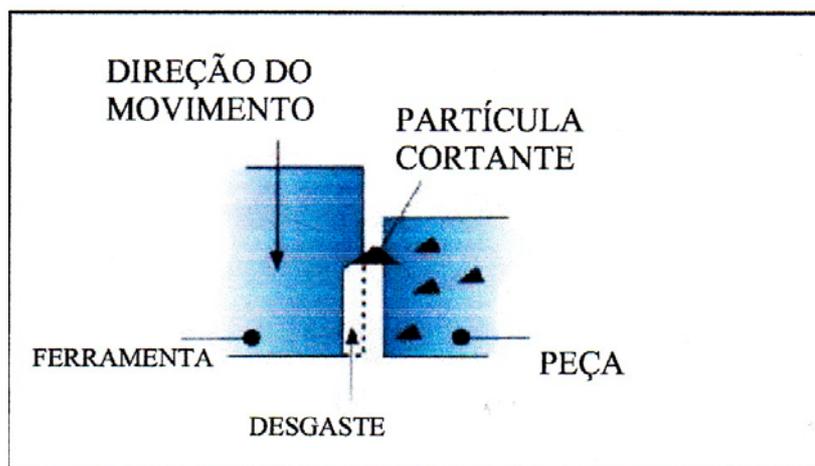


Figura 3 - Esquema do mecanismo de desgaste abrasivo.

As partículas duras “riscam” a superfície da ferramenta como mostra a figura acima. Algumas variáveis influenciam os mecanismos de desgaste abrasivo. A taxa de desgaste

abrasivo e os mecanismos de desgaste podem ser influenciados por vários fatores como: tamanho de grão abrasivo, carga aplicada, a dureza dos materiais utilizados e a tenacidade à fratura. Logo, um elevado número de parâmetros influencia os mecanismos de desgaste no geral, sendo que os principais são:

- a) Parâmetros de material: composição, tamanho de grão, módulo de elasticidade, condutividade térmica, dureza e etc.;
- b) Parâmetros de projeto: forma, carregamento, tipo de movimento, aspereza, vibração, número de ciclos, etc.;
- c) Parâmetros de meio ambiente: temperatura, contaminação, umidade, atmosfera, etc.;
- d) Parâmetros de lubrificação: tipo de lubrificante, estabilidade de lubrificante, tipo de fluido, lubrificação, etc.;
- e) Presença ou ausência de desgaste interno.

Embora se diga que a taxa de desgaste depende do tamanho de grão abrasivo, existe um valor crítico de tamanho de grão acima do qual a taxa de desgaste se torna independente do tamanho de grão. Também se ressalta que as diferenças nas durezas entre os dois corpos atritantes influenciam diretamente este tamanho crítico do grão abrasivo.

### 2.3.1.2 Desgaste Adesivo

Este mecanismo tem origem na “micro-soldagem” que ocorre entre as superfícies da ferramenta e do material. O movimento relativo entre as partes causará “arrancamento” de partículas da ferramenta. O progresso deste processo causa o desgaste.

A figura 4 ilustra esquematicamente este mecanismo.

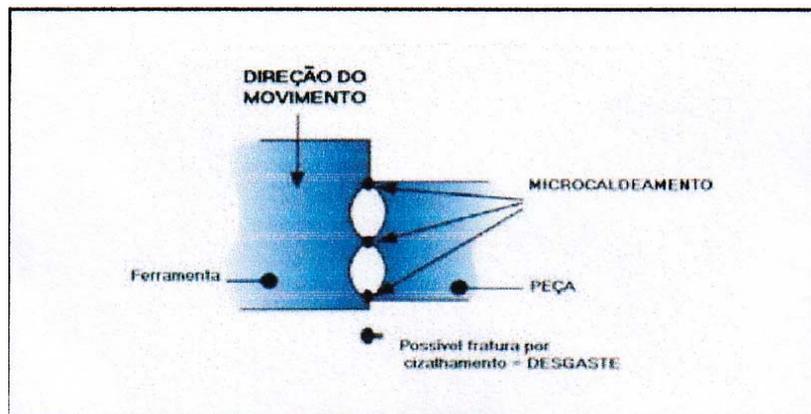


Figura 4 - Esquema do mecanismo de desgaste adesivo

Observe que estas mesmas partículas, que foram arrancadas podem tornar-se grãos abrasivos e, voltados ao mecanismo de Desgaste abrasivo, neste caso, procedido pelo “desgaste adesivo”. O mecanismo de desgaste adesivo é predominante no caso de estampagem de chapas galvanizadas.

### 2.3.2 Mecanismo “Real”

Em termos práticos, num processo industrial, nunca ocorre desgaste adesivo ou abrasivo isoladamente. Apenas que, em função principalmente do tipo de material que está sendo conformado, um ou outro mecanismo predomina. As micrografias a seguir, são exemplos clássicos da predominância de um outro mecanismo em função do tipo de material de trabalho.

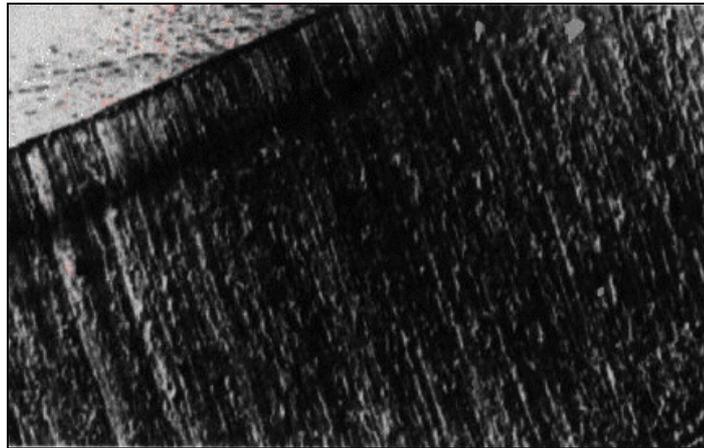


Figura 5 - MEV da superfície desgastada por desgaste abrasivo de uma ferramenta em aço AISI D2 com 46 HRC.

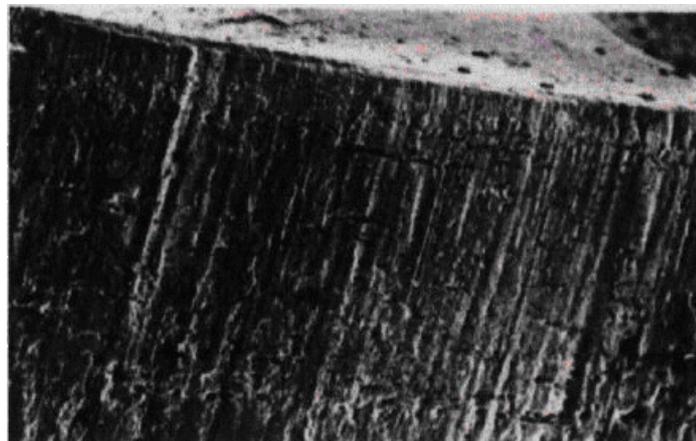


Figura 6 - MEV da superfície desgastada por desgaste abrasivo de uma ferramenta em aço AISI D2 com 46 HRC. Material estampado: inoxidável austenítico.

### **2.3.3 Lascamento**

Este defeito é causado por baixa resistência à fadiga de baixo ciclo. Em geral, surge com pouco uso da ferramenta e, ao crescerem sob carregamento, “lascam” em pequenas partículas.

### **2.3.4 Deformação Plástica**

Deformação plástica é quando a tensão aplicada não é mais proporcional à deformação, ocorrendo então uma deformação não recuperável e permanente. A partir de uma perspectiva atômica, a deformação plástica corresponde à quebra de ligações com os átomos vizinhos originais e em seguida formação de novas ligações com novos átomos vizinhos, uma vez que um grande número de átomos ou moléculas se move em relação uns aos outros. Com a remoção da tensão, eles não retornam às suas posições originais, diferentemente do que acontece na deformação elástica. Este defeito ocorre quando o limite de escoamento do aço ferramenta é localmente atingido e excedido. Uma vez que ocorre deformação plástica na área de trabalho da ferramenta, há perda em seu dimensional, com conseqüências catastróficas no produto.

Deformação plástica é a deformação permanente provocada por tensão igual ou superior à resistência associada ao limite de proporcionalidade. É o resultado de um deslocamento permanente dos átomos que constituem o material, diferindo, portanto, da deformação elástica, em que os átomos mantêm as suas posições relativas. A deformação plástica altera a estrutura interna do metal, tornando mais difícil o escorregamento ulterior e aumentando a dureza do metal. Esse aumento na dureza por deformação plástica, quando a deformação supera o limite do regime plástico, é denominado endurecimento por deformação a frio ou encruamento e é acompanhado de elevação do valor da resistência e redução da ductilidade do metal.

### **2.3.5 Trinca Catastrófica**

Em geral este defeito é irreparável, ocasionando a perda total da ferramenta, ou no mínimo, uma manutenção extremamente extensa e custosa. Este defeito é gerado pela propagação de trincas instáveis, pré existentes na superfície da ferramenta. Concentradores de

tensões, como marcas de usinagem, retífica, processo de eletro-erosão, favorecem a formação de trincas.

### **2.3.6 Caldeamento**

Este defeito é causado pela adesão de partículas do material de trabalho (em geral de baixa dureza e extremamente adesivas), na superfície da ferramenta. O trabalho sucessivo “aumenta” o volume aderido até que este se desprende, arrancando neste processo, partículas da ferramenta.

### 3 ANÁLISE DO PROCESSO DE FABRICAÇÃO DOS GRAMPOS

Esta etapa do estudo tem por base mostrar as características dos Grampos Elásticos Deenik, assim como processo de fabricação dos grampos e buscar a maior quantidade de informações decorrentes do processo para análise e conhecimento.

#### 3.1 GRAMPO ELÁSTICO DEENIK

Os Grampos Elásticos Deenik são peças utilizadas para fixação dos trilhos em dormentes ao longo de uma ferrovia. Trata-se de um grampo elástico com secção quadrada que fixa os trilhos em dormentes de aço ou em concreto. Existem outros tipos de grampos elásticos que possuem secção redonda e que não serão estudados neste trabalho. A figura 7 mostra o grampo elástico de secção quadrada depois de fabricado, já com tratamento térmico e pronto para ser usado.



Figura 7 - Grampo Elástico Deenik. Foto cedida pela IAT Ltda.

Com auxílio de outras peças que servem de acessórios, tais como ombreiras fundidas, placas e isolantes em polipropileno, o grampo elástico tem a função de fixar os Trilhos em Dormentes fabricados em aço ou em concreto. A figura 8 mostra o desenho esquemático da montagem dos grampos:

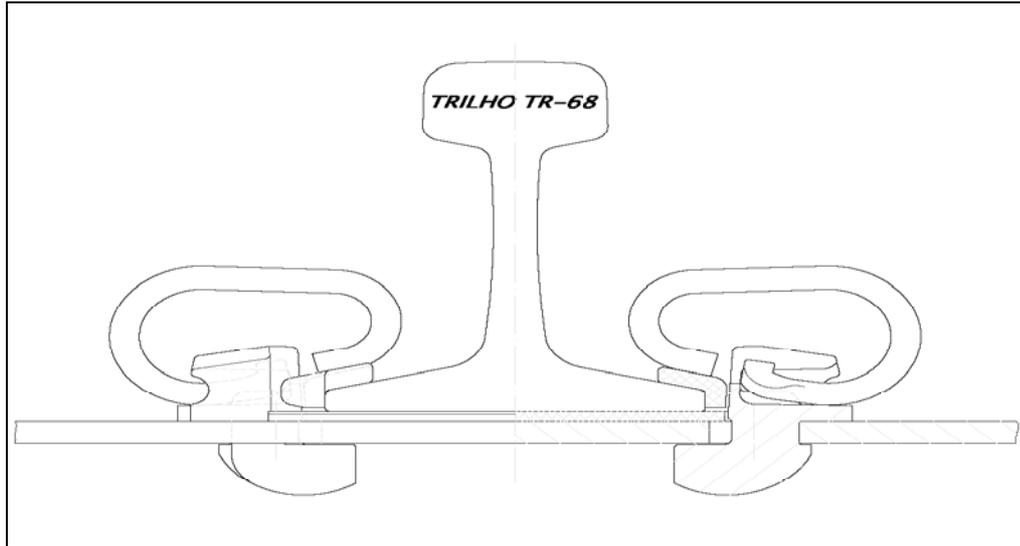


Figura 8 - Representação do uso do Grampo Elástico Deenik na fixação dos Dormentes. Foto cedida pela IAT Ltda.

A figura 9 mostra a montagem do Grampo Elástico Deenik. Estes são montados em pares, um de cada lado do Trilho, sendo fixada nos Dormentes. Durante a linha ferroviária, estes pares são montadas com distâncias de 0,6 m (metros) entre si.



Figura 9 - Foto esquemática que mostra a montagem do Grampo Elástico Deenik em uma secção do trilho. Foto cedida pela IAT Ltda.

O Grampo Elástico Deenik tem por característica uma melhor distribuição dos esforços ao longo de todo o grampo, diminuindo a sua concentração nas zonas de menor raio e por conseqüência apresenta boa elasticidade, boa resistência à fadiga e uma boa capacidade de absorver deformações. Eles são montados com outros acessórios, em que cada um possui

características próprias para o uso. As ombreiras são peças fundidas em aço que são fixadas diretamente nos dormentes e tem a função de prender os grampos. Outra peça importante é a placa de polipropileno de alta densidade que é colocada entre os dormentes e os trilhos. Esta placa tem como principal característica evitar a abrasão entre trilho e dormente. Existe também um isolador de polipropileno que tem por finalidade isolar possível carga elétrica oriunda do aço dos trilhos e evitar também o desgaste das ombreiras e trilhos.

O Grampo Elástico Deenik é trocado quando da necessidade de substituição dos trilhos, devido ao desgaste causado pelo trem, e também é trocado semestralmente devido à vida útil dos grampos. Após uma análise da aplicação dos grampos em uma ferrovia, a próxima etapa do estudo foi buscar informações com os responsáveis e operadores a fim de analisar o processo fabricação do Grampo Elástico Deenik. Nesta etapa, é necessário conhecer o processo como um todo, desde a chegada da matéria-prima em barras até a embalagem.

A matéria-prima utilizada para fabricação dos grampos elásticos é aço DIN 55 Si 7 laminado a quente, que apresenta secção quadrada de 12 mm (milímetros), de acordo com as especificações abaixo (CPTM, 2004):

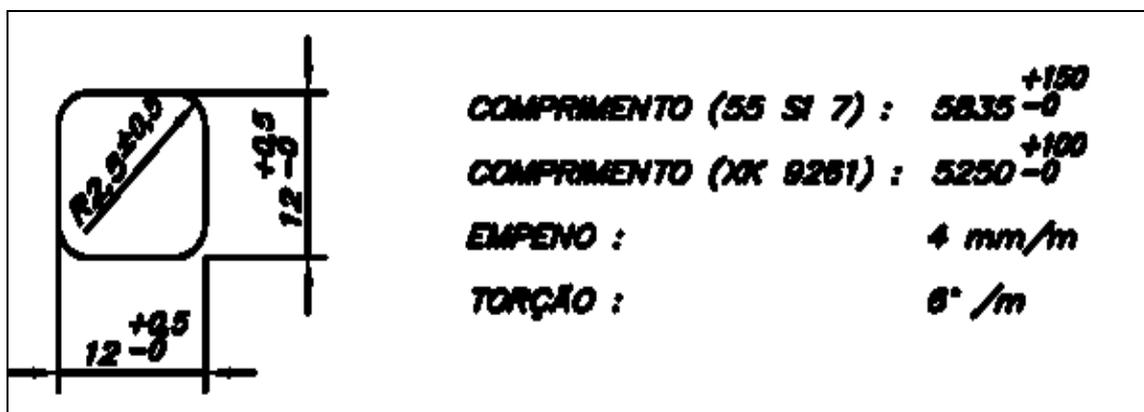


Figura 10 – Representação esquemática da secção da barra.

A composição química da matéria-prima utilizada na fabricação dos Grampos Elásticos Deenik, é mostrada conforme tabela a seguir:

Tabela 1 – Composição química da matéria-prima utilizada nos Grampos Elásticos (CPTM, 2004).

<b>Carbono</b>	<b>Silício (Si)</b>	<b>Manganês (Mn)</b>	<b>Fósforo (P)</b>	<b>Enxofre (S)</b>
0,52 - 0,60	1,50 - 1,80	0,70 - 1,00	0,045 máx	0,045 máx

O Fluxograma da seqüência de fabricação dos Grampos Elásticos Deenik é destacado em Apêndice A. Inicialmente as barras são compradas em comprimento padrão, com medida 5,835 m, sendo estocadas dentro da fábrica. As barras são cortadas em comprimento padrão com 535 mm, medida esta previamente calculada para realizar as dobras necessárias até atingir a forma necessária do grampo a ser fabricado. A figura 11 mostra o equipamento que realiza os cortes, sendo composto por uma prensa com capacidade de 40 toneladas, de uma matriz de corte onde as navalhas são fixadas e a barra que esta sendo cortada.



Figura 11 - Primeira etapa da fabricação: prensa realizando os cortes das barras. Ao fundo, as barras estocadas. Foto cedida pela IAT Ltda.

Após a realização dos cortes das barras, inicia-se o dobramento dos grampos elásticos. As barras cortadas são aquecidas por um processo elétrico-resistivo até a temperatura de 950°C, causando a austenitização da barra, que serve para facilitar o dobramento da mesma, logo, este processo é realizado a quente. A figura 12 ilustra o equipamento utilizado em um processo elétrico-resistivo.



Figura 12 - Aquecimento por processo elétrico-resistivo para facilitar o dobramento, as barras são aquecidas para a temperatura de 950°C. Foto cedida pela IAT Ltda.

A seqüência da conformação é composta por três prensas com capacidade de 40 toneladas cada, estas possuem diferentes sistemas de punções e matrizes para fazer o dobramento do grampo. A conformação dos grampos é realizada em quatro estágios de dobramento, sendo que dois estágios são realizados pela mesma prensa.



Figura 13 - Primeira dobra de conformação dos Grampos Elásticos. Foto cedida pela IAT Ltda.



Figura 14 – A segunda e terceira dobras de conformação dos grampos são realizadas pela mesma prensa. Existem duas matrizes para as dobras. Foto cedida pela IAT Ltda.



Figura 15 - Quarta dobra de conformação dos Grampos Elásticos.  
Foto cedida pela IAT Ltda.

Após a seqüência de dobras onde as peças tomam as formas definitivas, após a última dobra, os grampos são colocados em uma esteira onde ocorre o resfriamento leve para atingir a temperatura de têmpera, após são colocados no forno para realização do tratamento térmico de têmpera e revenido dando as propriedades finais. A têmpera é realizada a uma temperatura de 900°C, enquanto que o revenido é realizado na temperatura de 450°C. A dureza final dos grampos após o tratamento térmico deve estar entre 42 e 46 HRC. Cascas e carepas são

eliminadas após o tratamento térmico com a limpeza da superfície através do jato de granalha de aço. As características finais de geometria e desempenho mecânico são obtidas por processo exclusivo Deenik de pré-carga. Banhos desengraxantes e neutralizantes são feitos para permitir a perfeita aderência de tinta anti-corrosiva à base de esmalte alquídico fenólico (CPTM, 2004).

Finalmente os grampos são acondicionados em sacos de rafia sintética, identificados com a marca do fabricante, nome do cliente, destino, número de corrida do aço, data, quantidade de peças e número da ordem de produção. Para análise das características dos grampos após a fabricação, é necessário basear-se através na norma NBR 5426 (1985), em função do número de peças produzidas e onde indica o plano de amostragem.

Tabela 2 – Plano de Amostragem, conforme norma NBR 5426 (1985).

<b>PARÂMETRO</b>	<b>TIPO</b>
Plano de Amostragem	Simple
Nível de Inspeção Especial	S4

Tabela 3 – Relação: Tamanho do Lote X Tamanho da Amostra.

<b>TAMANHO DO LOTE</b>	<b>TAMANHO DA AMOSTRA</b>
0 a 10.000	32
10.001 a 35.000	50
35.001 a 500.000	80

A verificação dimensional é executada em 100% da amostragem (CPTM, 2004). Deverá obedecer a dimensões e as tolerâncias de desenho especificadas. Para registros da inspeção é utilizado o relatório “CONTROLE DIMENSIONAL DE PROCESSO” (CPTM, 2004).

A figura 16 mostra que na linha de produção, as peças são transportadas através de uma esteira, sendo levadas ao tratamento térmico.



Figura 16 - Esteira onde as peças são encaminhadas para o tratamento térmico. Foto cedida pela IAT Ltda.

A figura 17 mostra o desenho esquemático do Grampo Elástico Deenik.

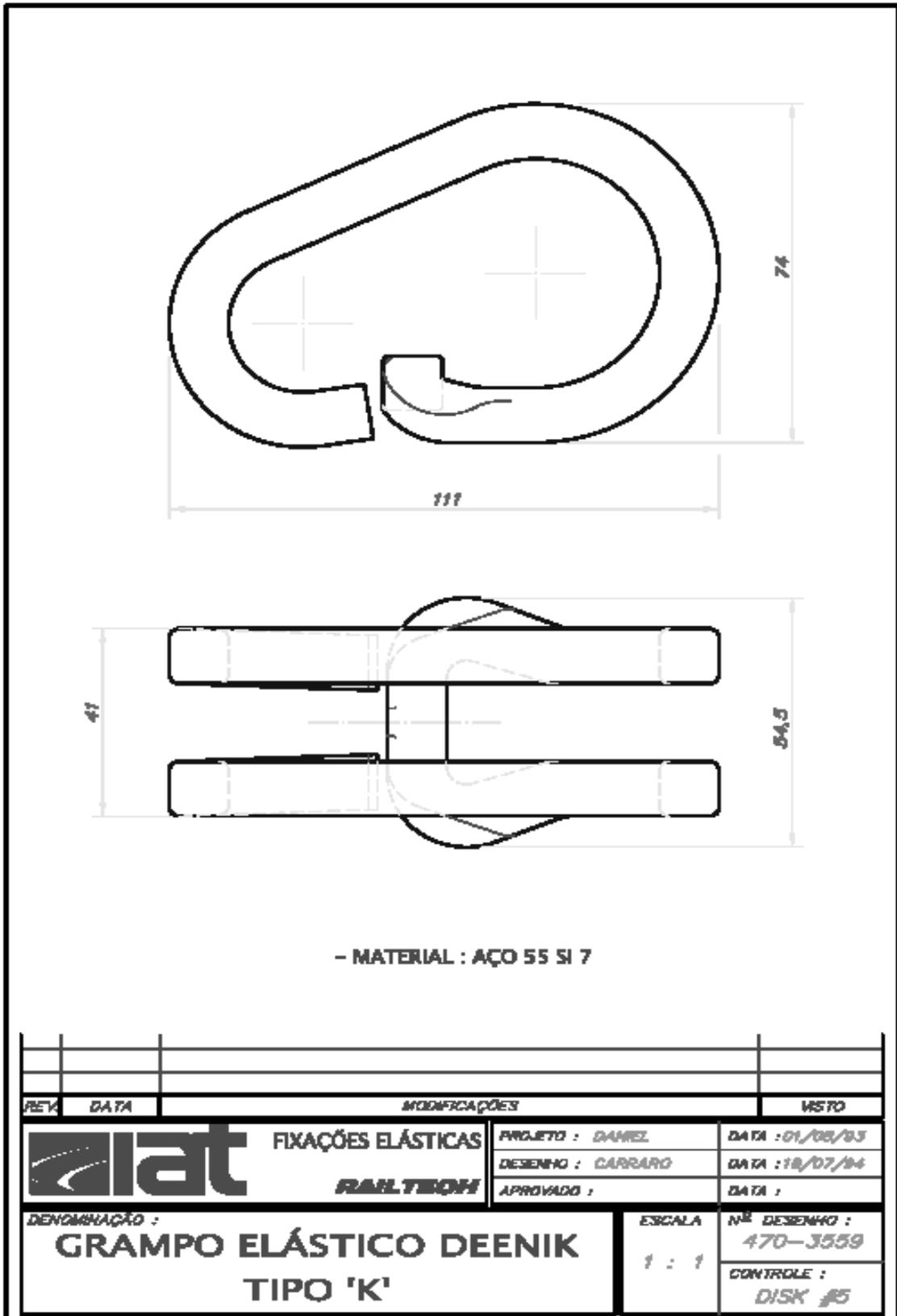


Figura 17 - Desenho esquemático do Grampo Elástico DEENIK.

Desenho cedido pela IAT Ltda.

A verificação visual também é executada em 100% da amostragem. Os grampos deverão ter acabamento esmerado com superfície lisa. Não devem apresentar marcas de ferramentas, fendas, dobras, trincas ou defeitos que possam prejudicar sua utilização (CPTM, 2004). O lote submetido à inspeção recebe a aprovação se satisfizer as condições abaixo:

Tabela 4 – Lote submetido à aprovação para a inspeção visual

Tamanho do Lote	ACEITA	REJEITA	Tamanho da Amostra
0 a 10.000	2	3	32
10,001 a 35,000	3	4	50
35.000 a 500,000	5	6	80

O ensaio estático (força-deslocamento) é realizado em 25% da amostragem. O ensaio deverá ser realizado em máquina própria ou máquina para ensaio de tração adaptada com dispositivo apropriado. A figura 18 ilustra o diagrama Força-Deslocamento:

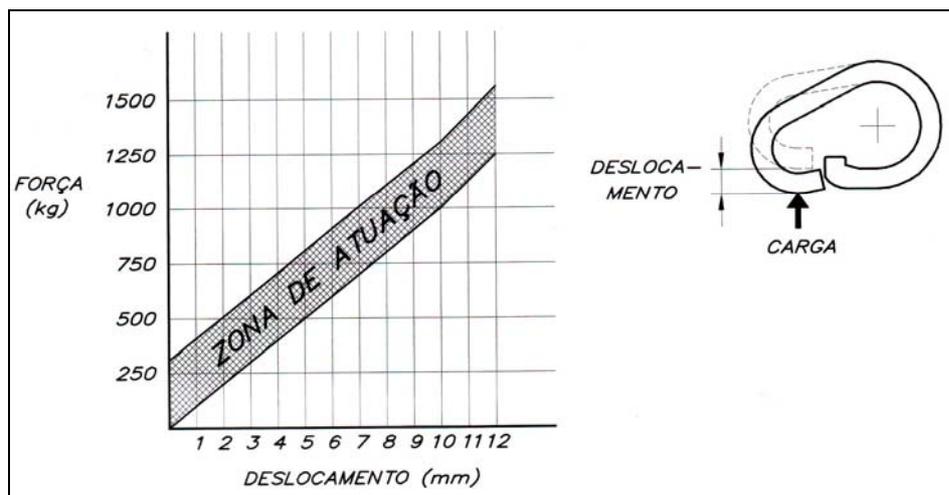


Figura 18 - Diagrama Força-Deslocamento mostrando a zona de atuação (CPTM, 2004).

O diagrama Força-Deslocamento é determinado do seguinte modo:

- colocar o grampo no dispositivo apropriado da máquina de ensaio;
- aplicar uma pré-carga de 100 kg a fim de ajustar e tirar as folgas entre dispositivo e grampo;
- ajustar o relógio-comparador em zero;
- aplicar um deslocamento de 5 mm, permanecer 10 segundos. Anotar o valor da carga (kg), não podendo ser inferior a 500 kg;

- e) descarregar o aparelho até atingir carga zero;
- f) aplicar a pré-carga de 100 kg permanecendo por 10 segundos. Anotar o valor da deformação residual no relógio comparador, esta não pode ser superior a 8% do deslocamento de 5 mm (0,4 mm);
- g) aplicar um deslocamento de 10 mm permanecendo por 10 segundos. Anotar o valor da carga (kg), não podendo ser inferior a 1.000 kg;
- h) descarregar o aparelho até atingir carga zero;
- i) aplicar a pré-carga de 100 kg permanecendo por 10 segundos. Anotar o valor da deformação residual no relógio comparador, esta não pode ser superior a 8% do deslocamento de 10 mm (0,8 mm);
- j) aplicar um deslocamento de 12 mm permanecendo por 10 segundos. Anotar o valor da carga (kg), não podendo ser inferior a 1.200 kg;
- k) descarregar o aparelho até atingir carga zero;
- l) aplicar a pré-carga de 100 kg permanecendo por 10 segundos. Anotar o valor da deformação residual no relógio comparador, esta não pode ser superior a 8% do deslocamento de 12 mm (0,96 mm).

A figura 19 mostra o equipamento em que é realizado o ensaio estático.



Figura 19 – Equipamento utilizado para realização do ensaio estático. Foto cedida pela IAT Ltda.

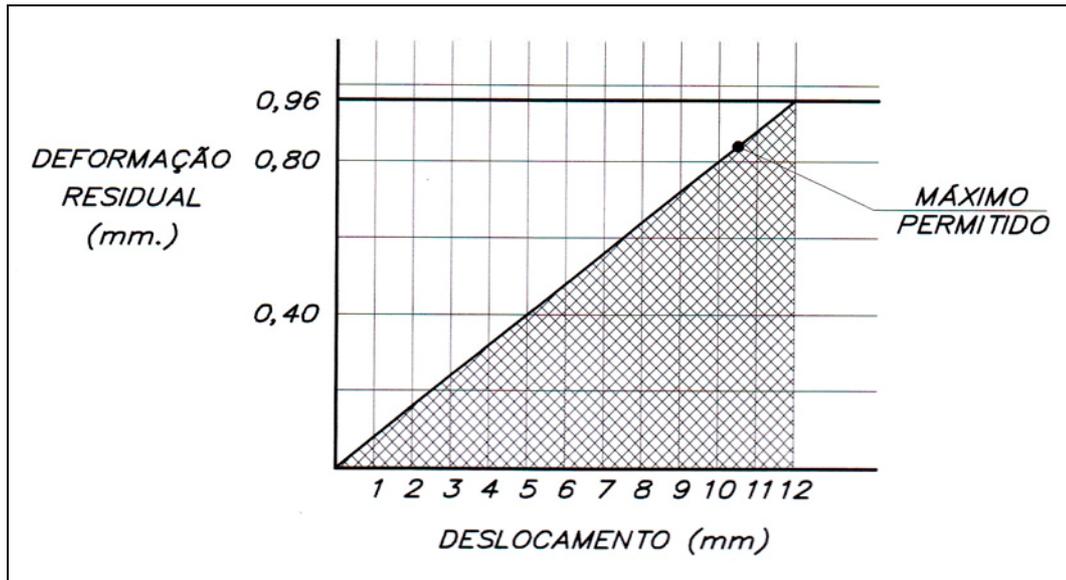


Figura 20 – Gráfico: Deformação Residual X Deslocamento (CPTM, 2004)

O lote submetido à inspeção recebe a aprovação se satisfizer as condições abaixo:

Tabela 5 – Lote submetido à aprovação para o ensaio estático

<b>Tamanho do Lote</b>	<b>ACEITA</b>	<b>REJEITA</b>	<b>Tamanho da Amostra</b>
0 a 10.000	0	1	8
10,001 a 35,000	0	1	13
35.000 a 500,000	0	1	20

O ensaio dinâmico é executado em um par de grampos por corrida de aço utilizado no lote (CPTM, 2004). O teste de fadiga consiste em solicitar um par de grampos a 10 mm de deslocamento. Nesta situação através de máquina apropriada, o par de grampos deve suportar uma frequência de 25 Hz. O par de grampos deve resistir a dois milhões de ciclos. Somente será aprovado se, após o ensaio dos grampos não apresentarem trincas nem sinais de deformação e também não romperem durante o ensaio.

A figura 21 mostra o equipamento utilizado para realização do ensaio dinâmico.



Figura 21 – Equipamento utilizado para realização do ensaio dinâmico.

Foto cedida pela IAT Ltda.

O ensaio de dureza é executado em 25% da amostragem. A dureza dos grampos deverá ser medida na região de maior curvatura em no mínimo 3 (três pontos). Para medição de dureza a superfície deve ser rebaixada em no mínimo 0,4 mm (CPTM, 2004). A dureza dos grampos deve estar na faixa de 42 a 46 HRC, sendo o valor a média dos pontos medidos. O lote submetido à inspeção recebe a aprovação se satisfizer as condições abaixo:

Tabela 6 – Lote submetido à aprovação para critério de dureza

<b>Tamanho do Lote</b>	<b>ACEITA</b>	<b>REJEITA</b>	<b>Tamanho da Amostra</b>
0 a 10.000	0	1	8
10,001 a 35,000	0	1	13
35.000 a 500,000	0	1	20

O ensaio metalográfico é executado em 3% da amostragem. Em relação à descarbonetação, o método consiste na identificação do ponto de maior descarbonetação de cada lado da amostra. Deverá ser considerado como descarbonetação final, o valor médio das

medidas. Também é importante salientar que não é permitido a carbonetação, sendo que a estrutura final deverá ser martensita revenida (CPTM, 2004). Caso o lote seja rejeitado, poderá ser objeto de uma nova inspeção. Para este caso todas as amostragens deverão ser dobradas e as condições de aceitabilidade deverão ser modificadas na mesma proporção.

### 3.2 NAVALHAS DE CORTE

A primeira etapa de fabricação do Grampo Elástico Deenik, ou seja, o corte das barras é justamente a base de estudo nesta pesquisa e análise. Será necessário analisar especificadamente a Navalha de Corte, que é o principal componente que realiza os cortes das barras, assim como analisar e estudar o processo de corte e, através de marcação e caracterização de uso das navalhas atuais, acompanhando o uso em operação, documentando o uso e, através desse acompanhamento, estabelecer os critérios da falha. O Fluxograma da metodologia aplicada nesta pesquisa está citado no apêndice B.

Devido à troca sistemática de peças desgastadas por novas peças e, em consequência um alto custo mensal, motivou esta pesquisa com finalidade de aumentar a durabilidade das navalhas de corte.

Estas peças são fabricadas atualmente em aço AISI D6, sendo este aço conhecido como aço para ferramentas e para trabalho a frio. (CHIAVERINI, 1998) Este aço é amplamente utilizado na fabricação de ferramentas de corte (matrizes e punções), ferramentas para forjamento a frio, cilindros para laminação a frio, rolos para perfiladores de tubos, coccinets e outros.

Este aço apresenta como principais características ser um aço para trabalho a frio, de elevada temperabilidade, alta resistência mecânica, alta resistência ao desgaste, alto grau de indeformabilidade e boa tenacidade. A dureza superficial, na condição de temperada e revenida, pode alcançar até a 62 HRC.

A figura 22 mostra a configuração atual das Navalhas de Corte:

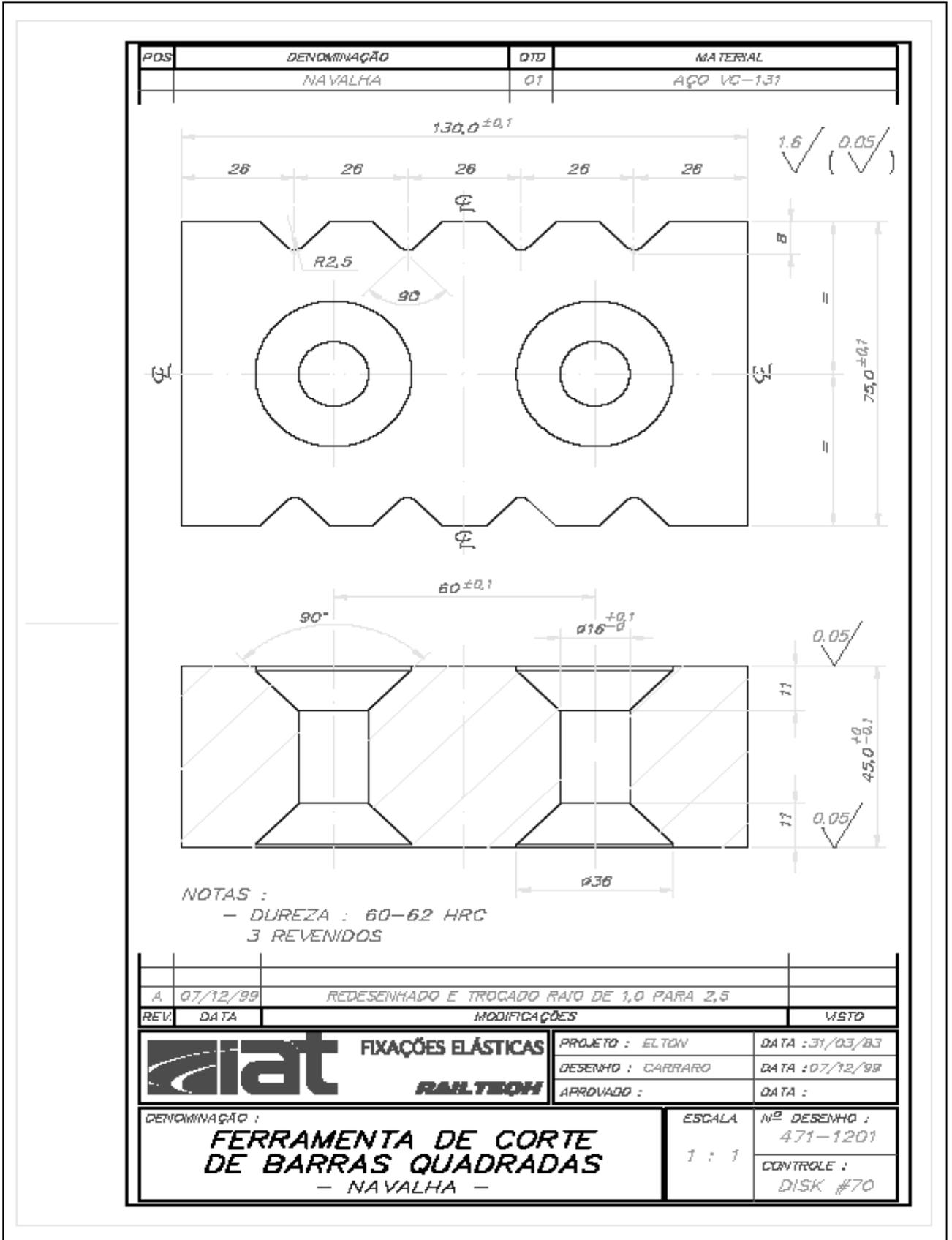


Figura 22 - Desenho da Navalha de Corte.

Desenho cedido pela IAT Ltda.

Sua composição química conforme norma AISI apresenta:

- a) Carbono (C) variando entre 2,00 e 2,25:
- b) Manganês (Mn) variando entre 0,20% e 0,60%: É o elemento que permite aumentar sua temperabilidade.
- c) Silício (Si) variando entre 0,20% e 0,40%: É desoxidante e sulfurante (nunca aparece isoladamente porque tende a decompor carbonetos).
- d) Cromo (Cr) variando entre 11% e 13%: Permite que dissolva na ferrita e formar carbonetos, aumenta a dureza a frio e a quente, aumenta temperabilidade e a resistência ao desgaste.
- e) Tungstênio (W) variando entre 0,80% e 1,25%: Aumenta a dureza a quente, a resistência ao desgaste e a temperabilidade.
- f) Enxofre (S) com teor máximo de 0,030%: São fragilizantes.
- g) Fósforo (P) com teor máximo de 0,030%: São fragilizantes.

Este aço possui normas de equivalências, neste caso são os mesmos aços, porém com fabricantes diferentes ([www.bohler-brasil.com.br](http://www.bohler-brasil.com.br), 2007).

AISI - D6

DIN - X210Cr12

W Nr - 1.2080

Villares - VC-131

Boehler - K107

A figura 23 esta representada a seqüência de processamento ([www.favorit.com.br](http://www.favorit.com.br), 2007):

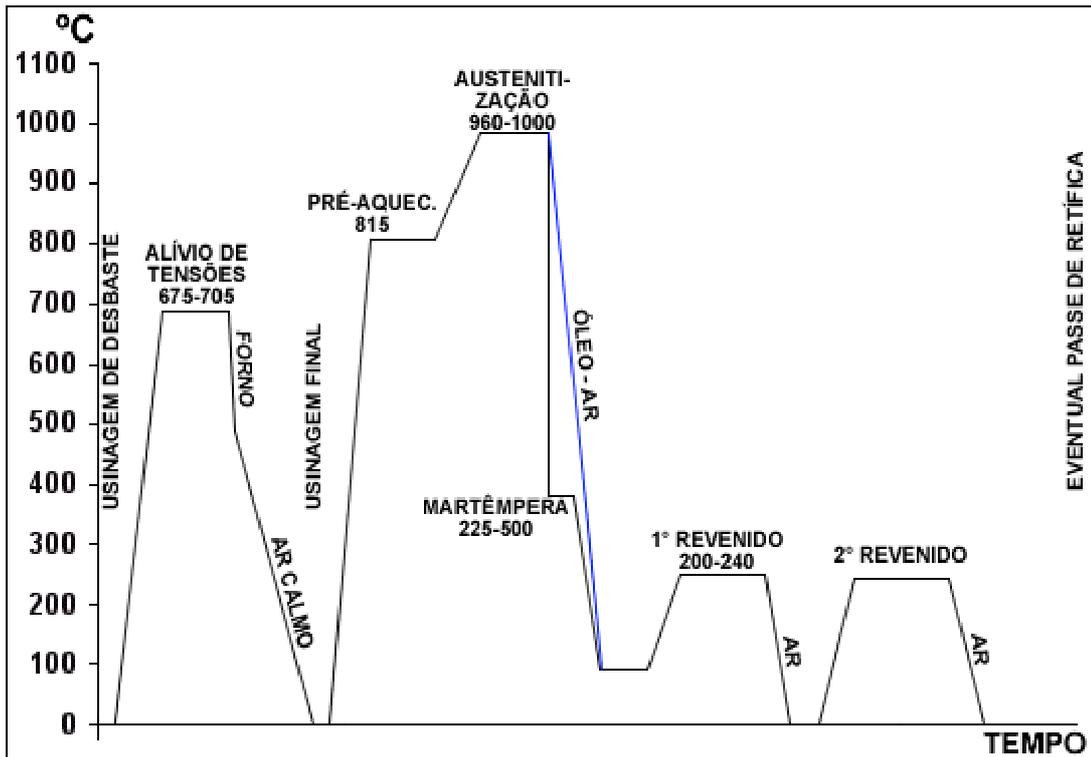


Figura 23 - Sequência de processamento do produto do aço AISI D6.

O diagrama de revenimento é mostrado abaixo ([www.favorit.com.br](http://www.favorit.com.br), 2007):

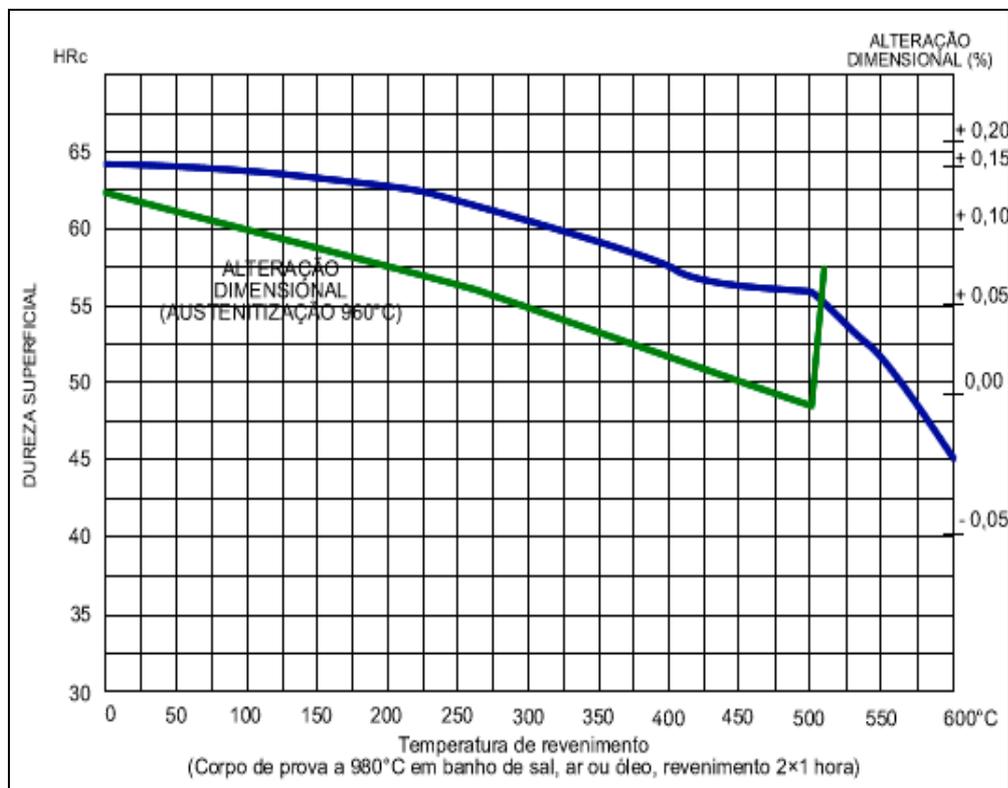


Figura 24 - Diagrama de Revenimento para o aço AISI D6.

O diagrama de transformação isotérmica esta representado da seguinte forma ([www.favorit.com.br](http://www.favorit.com.br), 2007):

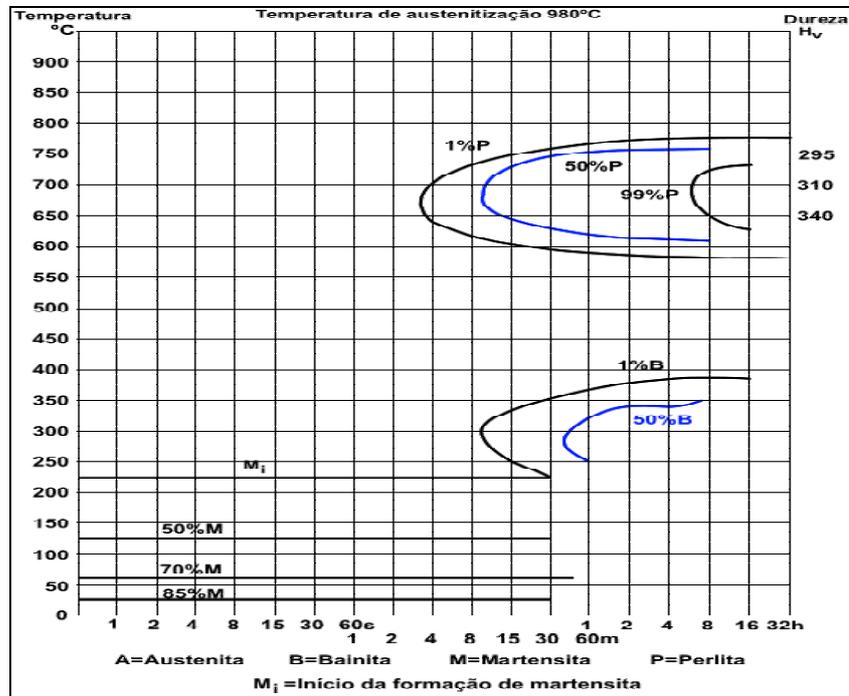


Figura 25 - Diagrama de Transformação isotérmica do aço AISI D6.

O intervalo de dureza atualmente empregado nas Navalhas de Corte é produzido no tratamento térmico e, possui uma possibilidade de variação entre 60 e 62 HRC. Analisando as características do aço e a sua composição química, este aço apresenta um alto teor de carbono, ou seja, uma elevada resistência ao desgaste. Além disso, apresenta características para trabalho a frio como alta indeformabilidade, boa tenacidade e apresenta alta temperabilidade, o que é essencial para que se permita uma elevada dureza.

Atualmente não se controla produtividade real, ou seja, não tem indicadores de número de peças cortadas e de durabilidade. Logo a primeira etapa do trabalho deverá ser de verificar nas características atuais a durabilidade da navalha de corte na condição atual, a fim de possuir posteriormente comparações com futuras alterações de material e faixas de dureza.

O aço AISI D6 apresenta características comuns em relação ao tipo de trabalho e ao esforço necessário nas Navalhas de Corte. As barras para fabricação dos grampos são cortadas a frio, ou seja, a temperatura de trabalho é inferior à temperatura de austenitização do aço e, por conseqüência as Navalhas de Corte necessitam uma grande resistência mecânica e ao desgaste. Neste caso, onde ocorre uma grande influência do aço utilizado e do tratamento térmico, é possível buscar melhorias de durabilidade das navalhas de corte, através de testes

práticos. A partir da fabricação de pares de Navalhas de Corte com diferentes aços e durezas é possível através dos testes práticos de durabilidade, fazer comparações técnicas e buscar a melhor solução.

Conforme citações da literatura, referente ao aço empregado atualmente, este aço pode apresentar bons resultados com dureza variando entre 50 e 62 HRC, por este motivo serão realizados testes práticos com pares de Navalhas de Corte para este aço, com os intervalos de durezas mencionados. Logo, como as peças trabalham em pares, serão testados quatro pares nas seguintes condições:

- a) **Situação 1 (atual):** Aço AISI D6, com tratamento térmico de têmpera e revenido com dureza variando entre 59 e 62 HRC. Nesta etapa, verificação de durabilidade, análise da fratura;
- b) **Situação 2:** Aço AISI D6, com tratamento térmico de têmpera e revenido com dureza variando entre 56 e 59 HRC. Nesta etapa, verificação de durabilidade, análise da fratura;
- c) **Situação 3:** Aço AISI D6, com tratamento térmico de têmpera e revenido com dureza variando entre 53 e 56 HRC. Nesta etapa, verificação de durabilidade, análise da fratura;
- d) **Situação 4:** Aço AISI D6, com tratamento térmico de têmpera e revenido com dureza variando entre 50 e 53 HRC. Nesta etapa, verificação de durabilidade, análise da fratura.

Apesar de teoricamente o aço utilizado atualmente ser correto para o tipo de peça e de trabalho, existem outros aços com características diferentes que podem fazer com que haja uma significativa mudança de durabilidade. Baseado nesta possibilidade realizou-se uma análise criteriosa a respeito dos diferentes aços que podem ser utilizados para este tipo de trabalho e, foi possível encontrar outras possibilidades.

Uma possibilidade de aplicação refere-se ao uso do aço AISI D2. Este aço é destinado à fabricação de matrizes de estampos de grande porte, matrizes de extrusão a frio, ferramenta de furação, cunhagem, corte e puncionagem; rolos laminadores de rosca, calibradores, entrepontos para tornos, moldes para cerâmica, etc (CHIAVERINI, 1998).

Trata-se de um aço indeformável, com altos teores de carbono e cromo, temperável ao ar ou em óleo, de alta tenacidade, alta temperabilidade, alta resistência mecânica e alta resistência ao desgaste. O alto teor de molibdênio (Mo) confere a este aço uma boa resistência ao amolecimento pelo calor. Em função da composição química, este aço apresenta um ótimo

balanceamento entre a resistência ao desgaste e a tenacidade. A dureza superficial, na condição temperada, pode alcançar 65 HRC.

Este aço possui normas de equivalências, neste caso são os mesmos aços, porém com fabricantes diferentes. A seguir, segue as equivalências ([www.bohler-brasil.com.br](http://www.bohler-brasil.com.br), 2007):

AISI – D2

DIN – X 155 Cr V Mo 12 1

W Nr – 1.2379

Villares – VD 2

Boehler – K110

Tabela 7 - Composição Química do aço AISI D2 ([www.favorit.com.br](http://www.favorit.com.br), 2007)

C	Mn	P máx	S máx	Si	Cr	V máx	Mo
1,40 - 1,60	0,15 - 0,60	0,030	0,030	0,15 - 0,60	11,0 - 13,0	1,10	0,70 - 1,20

A figura 26 está representada a seqüência de processamento térmico do produto ([www.favorit.com.br](http://www.favorit.com.br), 2007):

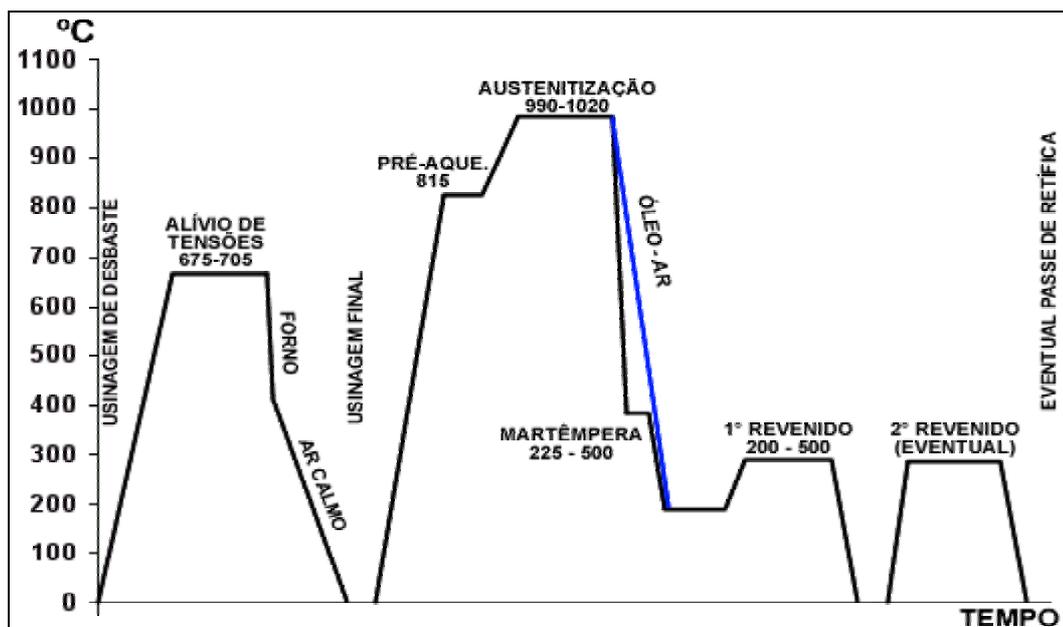


Figura 26 - Seqüência de processamento do aço AISI D2.

A figura 27 esta representada o diagrama de revenimento ([www.favorit.com.br](http://www.favorit.com.br), 2007):

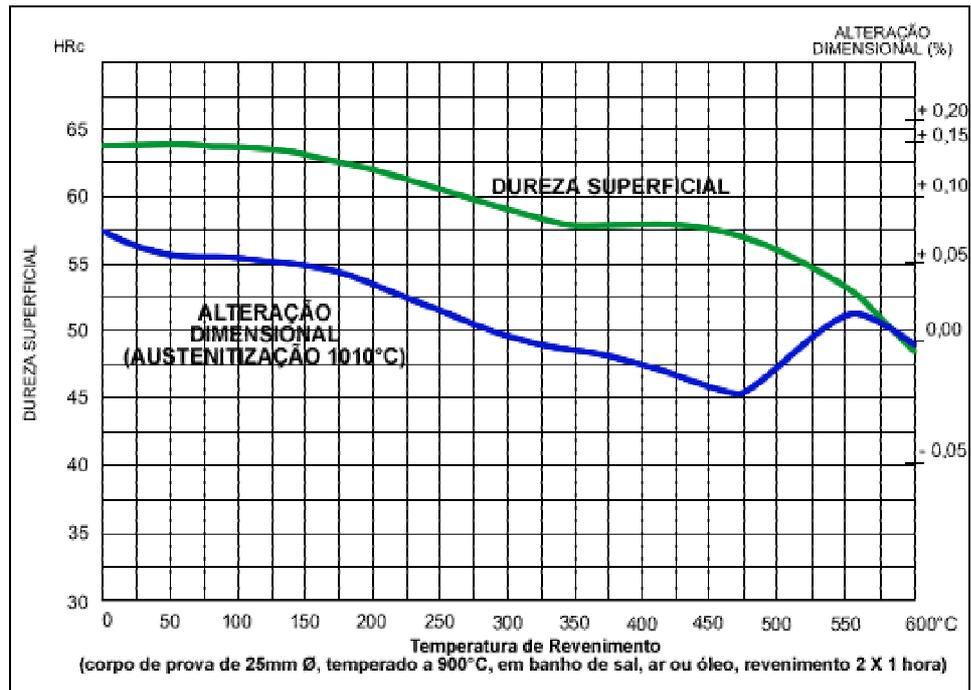


Figura 27 - Diagrama de Revenimento do aço AISI D2.

O diagrama de transformação isotérmica está representado da seguinte forma ([www.favorit.com.br](http://www.favorit.com.br), 2007):

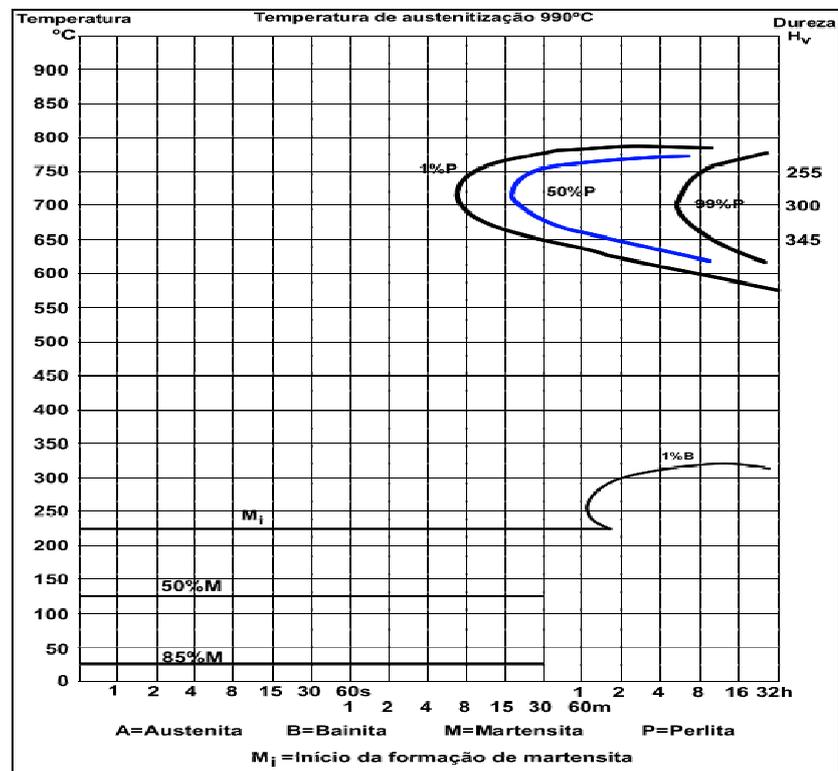


Figura 28 - Diagrama de Transformação Isotérmica do aço AISI D2.

Outra possibilidade de aplicação para este trabalho trata-se do aço AISI H13. Este aço é destinado à fabricação de matrizes para forjamento a quente em prensas, fabricação de moldes para a injeção de plásticos, ferramentas para corte a quente, matrizes para a fundição de ligas de alumínio, chumbo, estanho ou zinco, ferramentas para a extrusão de ligas leves, etc (CHIAVERINI, 1998).

Aço para trabalho a quente, ligado ao cromo, ao molibdênio e ao vanádio, temperável em óleo ou ar, de excelente tenacidade, alta resistência mecânica e boa resistência ao desgaste em temperaturas elevadas. Apresenta boa resistência à fadiga térmica, ótima resistência ao choque térmico e ao amolecimento pelo calor.

Este aço possui normas de equivalências, neste caso são os mesmos aços, porém com fabricantes diferentes. A seguir, segue as equivalências ([www.bohler-brasil.com.br](http://www.bohler-brasil.com.br), 2007):

AISI – H13

DIN – 40 Cr Mo V 5 1

W Nr – 1.2344

Villares – V H13

Boehler – W302

Tabela 8 - Composição Química do aço AISI H13 ([www.favorit.com.br](http://www.favorit.com.br), 2007).

<b>C</b>	<b>Mn</b>	<b>P máx</b>	<b>S máx</b>	<b>Si</b>	<b>Cr</b>	<b>V</b>	<b>Mo</b>
<b>0,32 - 0,45</b>	<b>0,20 - 0,50</b>	<b>0,030</b>	<b>0,030</b>	<b>0,80 - 1,20</b>	<b>4,75 - 5,50</b>	<b>0,80 - 1,20</b>	<b>1,10 - 1,75</b>

A figura 29 esta representada a seqüência de processamento do produto ([www.favorit.com.br](http://www.favorit.com.br), 2007):

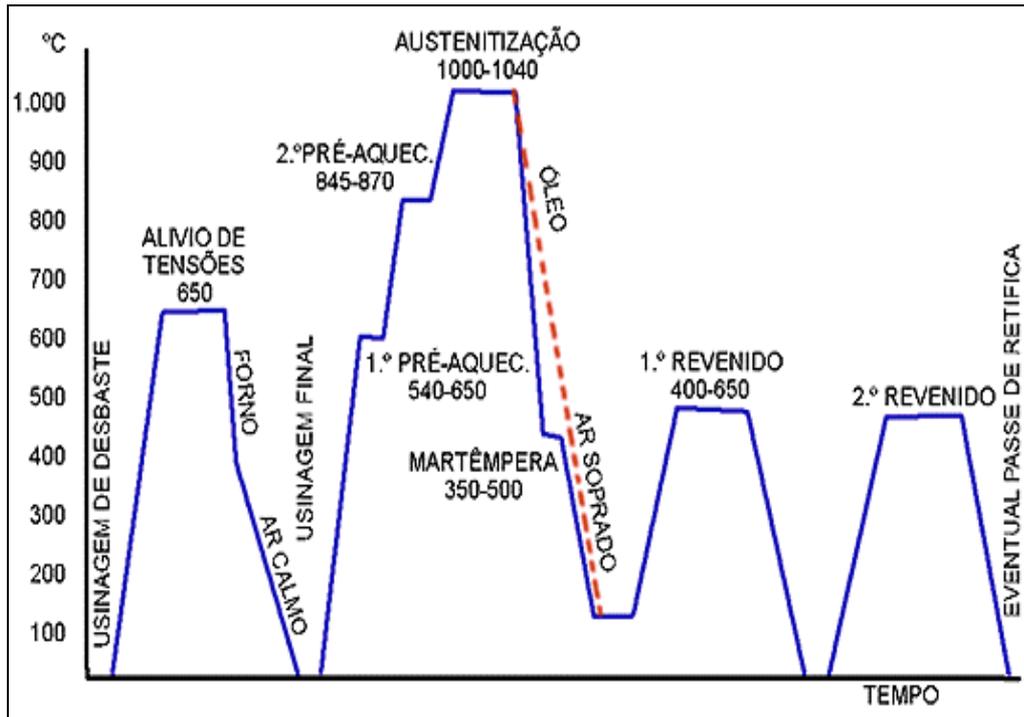


Figura 29 – Sequência de processamento do aço AISI H13.

Na figura 30 esta representada o diagrama de revenimento ([www.favorit.com.br](http://www.favorit.com.br), 2007):

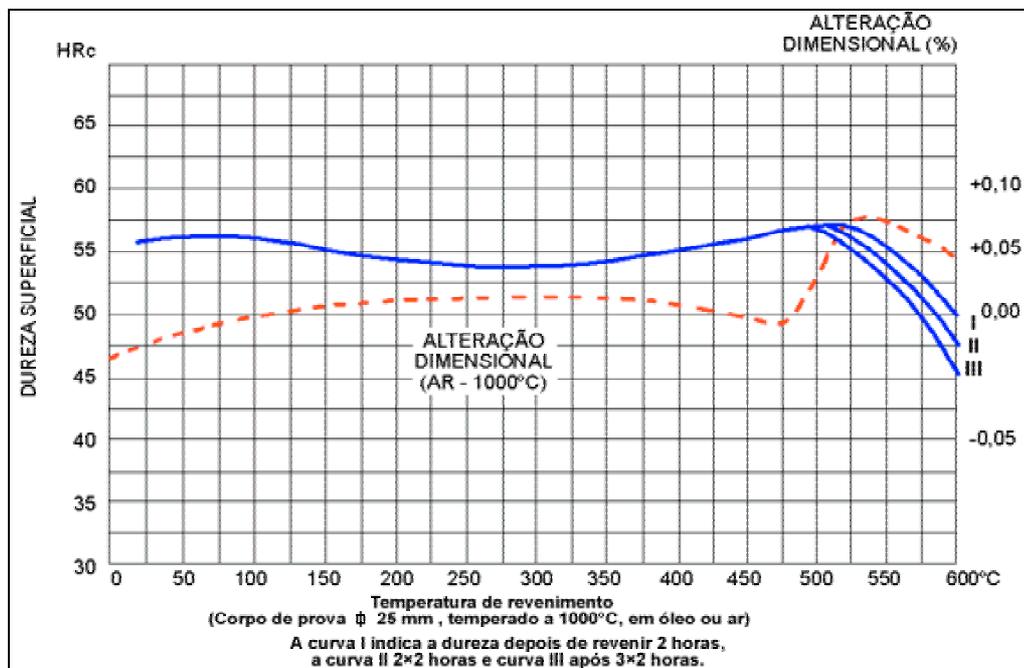


Figura 30 - Diagrama de Revenimento do aço AISI H13.

O diagrama de transformação isotérmica está representado da seguinte forma ([www.favorit.com.br](http://www.favorit.com.br), 2007):

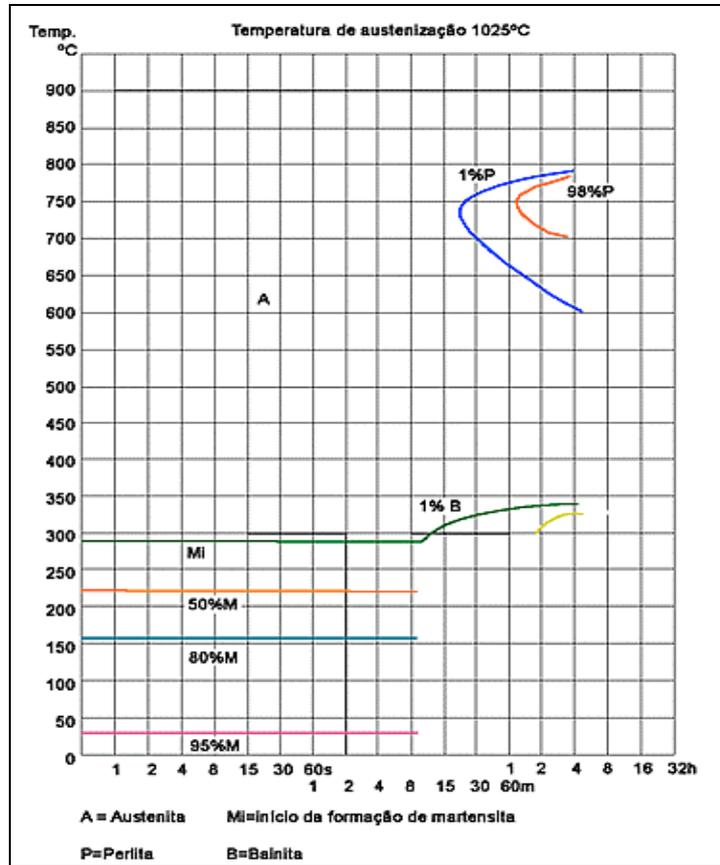


Figura 31 – Diagrama de Transformação Isotérmica do aço AISI H13.

O aço AISI S1 é outra possibilidade de uso nas Navalhas de Corte. Este aço é destinado à fabricação de ferramentas de corte e punções, nos quais se exigem alta tenacidade e boa resistência ao desgaste. Por ser um aço de extraordinária tenacidade, é amplamente utilizado em facas para corte de aço, talhadeiras, matrizes para estampagem a frio, ponteiros de martelos pneumáticos, etc (CHIAVERINI, 1998).

Em função de sua elevada resistência ao impacto e à fadiga, tanto a quente quanto a frio, pode também ser utilizado em facas para a rebarbação a quente, em moldes de injeção de plásticos, etc. É um aço que apresenta as características para trabalho a frio, ligado ao tungstênio, ao cromo e ao vanádio, temperável em óleo, de elevada tenacidade, alta resistência mecânica e boa resistência ao desgaste. A dureza superficial, na condição temperada e revenida, pode alcançar 54 HRC. Este aço possui normas de equivalências, neste caso são os mesmos aços, porém com fabricantes diferentes.

A seguir, segue as equivalências ([www.bohler-brasil.com.br](http://www.bohler-brasil.com.br), 2007):

AISI – S1

DIN – 45 W Cr V 7

W Nr – 1.2542

Villares – VW-3

Boehler – K450

Tabela 9 - Composição Química do aço AISI S1 ([www.favorit.com.br](http://www.favorit.com.br), 2007)

C	Mn	P máx	S máx	Si	Cr	W	V	Mo máx
0,40-0,55	0,10-0,40	0,030	0,030	0,15-1,20	1,00-1,80	1,50-3,00	0,15-0,30	0,50

Na figura 32 esta representada a seqüência de processamento do produto ([www.favorit.com.br](http://www.favorit.com.br), 2007):

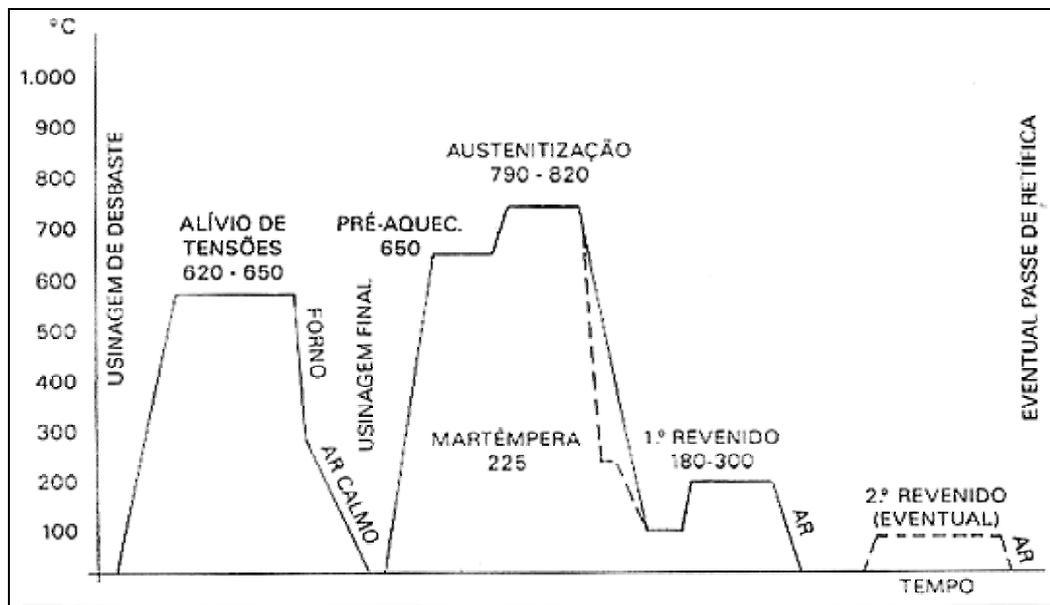


Figura 32 - Seqüência de Processamento do aço AISI S1.

A seguir, esta representada o diagrama de revenimento ([www.favorit.com.br](http://www.favorit.com.br), 2007):

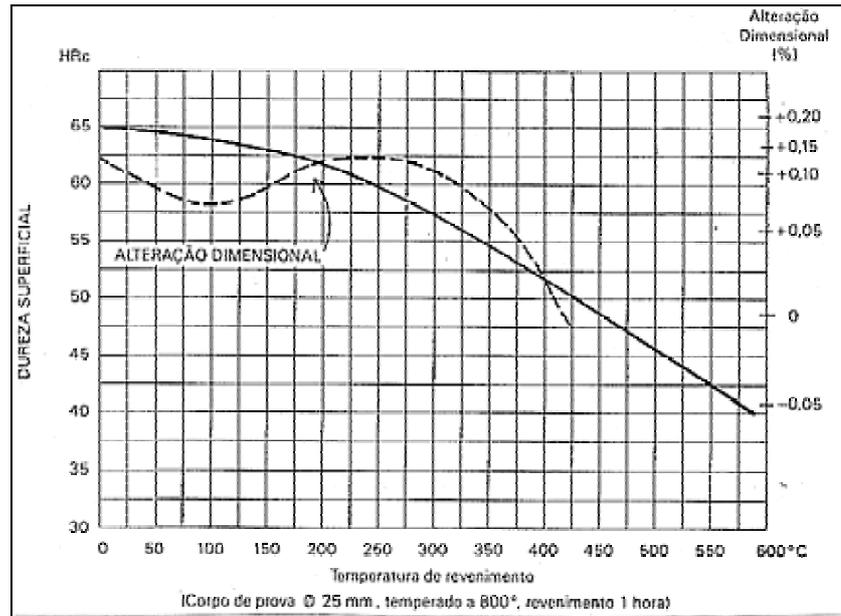


Figura 33 - Diagrama de Revenimento do aço AISI S1.

O diagrama de transformação isotérmica está representado da seguinte forma ([www.favorit.com.br](http://www.favorit.com.br), 2007):

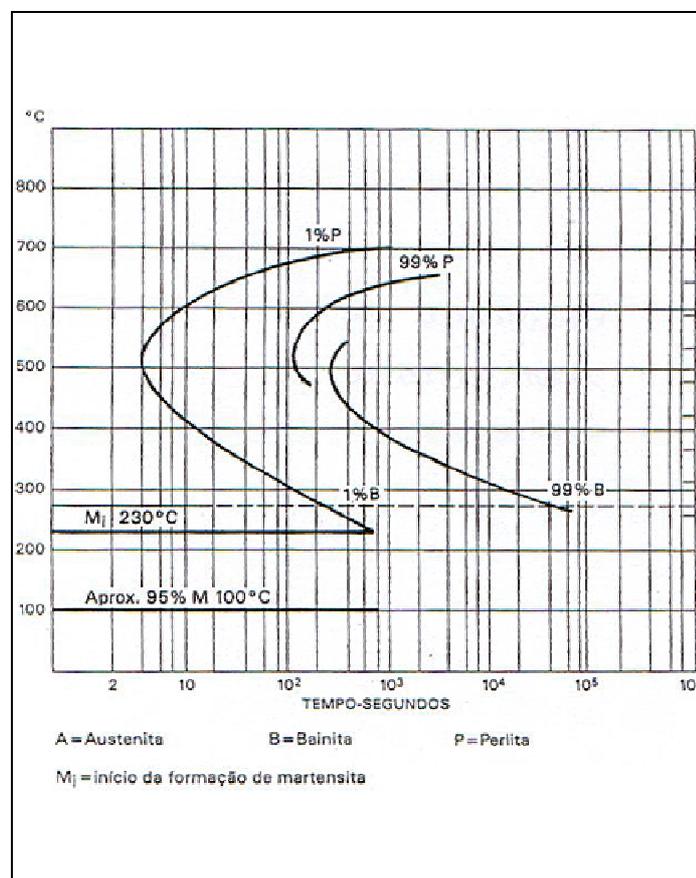


Figura 34 - Diagrama de Transformação Isotérmica.

Após esta análise de possíveis aços a serem utilizados nas Navalhas de Corte, serão realizados testes práticos, a fim de testar o aço utilizado atualmente em quatro situações diferentes de durezas, com durezas entre 50 e 62 HRC, assim como serão realizados os testes práticos com as outras possibilidades de aços mencionados, sendo eles: o aço AISI D2, o aço AISI H13 e o aço AISI S1.

Através destes testes práticos, é possível analisar o desgaste nas peças, assim como a durabilidade em relação à situação atual. Além disso, a análise da validação do ferramental atual, analisar a configuração, melhoramentos possíveis, sugestões do pessoal de chão de fábrica e analisar o melhoramento da produtividade utilizando a capacidade de máquina. A seguir, segue o quadro resumo dos testes que serão realizados:

Tabela 10: Tabela resumo de seleção dos parâmetros de material nos testes realizados.

<b>AÇO UTILIZADO</b>	<b>INTERVALO DE DUREZA</b>
<b>AISI D6</b>	<b>59 a 62 HRC</b>
<b>AISI D6</b>	<b>56 a 59 HRC</b>
<b>AISI D6</b>	<b>53 a 56 HRC</b>
<b>AISI D6</b>	<b>50 a 53 HRC</b>
<b>AISI D2</b>	<b>59 a 62 HRC</b>
<b>AISI D2</b>	<b>56 a 59 HRC</b>
<b>AISI D2</b>	<b>53 a 56 HRC</b>
<b>AISI D2</b>	<b>50 a 53 HRC</b>
<b>AISI S1</b>	<b>59 a 62 HRC</b>
<b>AISI S1</b>	<b>56 a 59 HRC</b>
<b>AISI S1</b>	<b>53 a 56 HRC</b>
<b>AISI S1</b>	<b>50 a 53 HRC</b>
<b>AISI H13</b>	<b>59 a 62 HRC</b>
<b>AISI H13</b>	<b>56 a 59 HRC</b>
<b>AISI H13</b>	<b>53 a 56 HRC</b>
<b>AISI H13</b>	<b>50 a 53 HRC</b>

### 3.2.1 Fabricação das Navalhas de Corte

Na aquisição das matérias-primas, foram realizadas análises de custos entre diversas empresas distribuidoras dos aços. Os blocos dos aços foram comprados com sobre metal de usinagem nas dimensões de 135 mm de comprimento X 80 mm de largura e 50 mm de

espessura. Foram comprados 8 (oito) blocos de cada aço, totalizando 32 (trinta e dois) blocos. Para a fabricação das 32 peças para o experimento, o custo total da matéria-prima foi de R\$ 3.640,00. Em apêndice C, tem a relação dos custos empregados nas Navalhas de Corte.

As 32 peças, sendo divididas em quatro diferentes aços, foram fabricadas por usinagem, sendo necessárias em torno de 160 horas de usinagem entre diferentes máquinas operatrizes tais como: Fresadoras Universais, Plaina Limadora, Furadeira de Coluna e Retificadora Plana (após tratamento térmico). Na usinagem, a melhor prática recomenda, sempre que possível, uma usinagem o mais simétrica possível, de modo a evitar desnecessárias concentrações de tensões. É sempre recomendável que as superfícies de trabalho sejam retificadas ou lapidadas, mas é importante observar que os riscos de usinagem, na medida do possível, estejam na direção preferencial de movimento da ferramenta. A figura 35 mostra a Fresadora CNC, onde as peças foram usinadas:



Figura 35 - Fresadora CNC Petrus 50100R, onde foram usinadas as Navalhas de Corte. Foto cedida pela Metalúrgica Joper Ltda.

As figuras 36 e 37 são algumas fotos durante a fabricação das navalhas de corte. A figura 36 mostra alguns blocos de aço no momento da fabricação, ainda não haviam sido usinados os rasgos, enquanto que na figura 37, mostra as peças já usinadas e devidamente identificadas para realização do tratamento térmico. Em todas as peças foi marcado o material empregado, assim como o intervalo de dureza sugerido para teste.

É importante salientar que o acabamento dos rasgos não precisam ser retificados, entretanto, deve ser o mais liso possível, a fim de evitar rugosidades que possam prejudicar a entrada da barra para o corte.



Figura 36 - Peças durante a fabricação.

Foto cedida pela Metalúrgica Joper Ltda.



Figura 37 - Peças já usinadas e sendo devidamente marcadas para o tratamento térmico. Foto cedida pela Metalúrgica Joper Ltda.

Baseado em um preço único de R\$ 6,85 por kg para realizar o tratamento térmico, sendo que cada peça pesa 3,4 kg, o custo total foi de R\$ 745,28. Depois de realizado o

tratamento térmico, as peças foram devidamente marcadas e identificadas. Em apêndice F, é citado o custo total empregado no tratamento térmico das Navalhas de Corte.

Após a realização do tratamento térmico, as peças devem ser obrigatoriamente retificadas para atingir a tolerância dimensional exigida e para diminuir as rugosidades externas das laterais, diminuindo a possibilidade de evitar concentradores de tensões nas navalhas. A figura 38 mostra a Retificadora Plana, onde as peças foram retificadas.

O processo de retifica é essencialmente um processo abrasivo. Assim, há sempre uma geração de elevadas temperaturas na ferramenta, que poderão causar danos irreparáveis, e/ou originar trincas durante o trabalho.



Figura 38 - Retificadora Plana, as peças foram acabadas após o tratamento térmico. Foto cedida pela Metalúrgica Joper Ltda.

Trincas de retifica é um defeito muito bem conhecido, bastante estudado e, podem ser evitadas simplesmente com uma boa prática de retifica. A figura 39 mostra todas as peças já usinadas nos materiais selecionados, temperadas de acordo o projeto de experimentos e devidamente identificadas. A partir deste momento, as peças estão prontas para iniciar os testes de durabilidade.



Figura 39 - Todas as peças já prontas. Foto cedida pela Metalúrgica Joper Ltda.

### 3.2.2 Matriz de Corte

Durante a fabricação das Navalhas de corte, uma análise em outro componente do processo, mostrou que poderia comprometer os resultados dos testes. Trata-se da Matriz de Corte, na qual este equipamento é montado em uma prensa e, sua finalidade é fixar as Navalhas de Corte em estudo. Este equipamento apresentava-se em precárias condições de uso, devido a grande tempo de uso diário, com excessivas folgas e já não contava com toda a rigidez necessária para o uso.

Com certeza, com estas péssimas condições de uso da Matriz de Corte, os resultados dos testes práticos seriam prejudicados, logo, um novo equipamento foi necessário fabricar. A figura 40 mostra o desenho de conjunto da Matriz de Corte que foi fabricada.

Com posse de todos os desenhos para fabricação, foi necessária uma pesquisa de mercado para compra dos materiais necessários. Após o levantamento de custos, todas as matérias primas necessárias para a fabricação da mesma foram adquiridas. Para fabricação deste equipamento foram necessários diferentes tipos de aços, sendo principalmente composto por chapas oxicortadas de SAE 1020, assim como blocos laminados redondos e retangulares. O custo total de matéria-prima foi de R\$ 1.244,72. A lista completa de materiais adquiridos para a fabricação da Matriz de Corte esta em apêndice D.

Assim como as Navalhas de Corte, as peças da Matriz foram fabricadas por usinagem, sendo fabricadas em diferentes máquinas operatrizes tais como: Fresadoras Universais, Torno CNC, Plaina Limadora, Furadeira de Coluna e Retificadora. Foram necessárias em torno de 80 horas de usinagem para a fabricação da Matriz de Corte.



A figura 41 mostra a matriz completa após a fabricação e antes do uso.



Figura 41 - Matriz de Corte concluída, pronta para testes.

Foto cedida pela Metalúrgica Joper Ltda.

A figura 42 mostra a matriz desmontada após a fabricação e antes do uso.



Figura 42 - Matriz de Corte desmontada, para visualização das partes.

Foto cedida pela Metalúrgica Joper Ltda.

## **4 ESTUDO DA NOVA FERRAMENTA**

Após a fabricação das peças a partir de quatro diferentes tipos de aços e com intervalos de durezas diferentes, a etapa de testes práticos é fundamental para realizar uma análise criteriosa a respeito do comportamento de cada par de Navalhas de Corte durante o uso. Com a ajuda da Matriz de Corte que também foi fabricada para ajudar a realizar os testes, através dos testes práticos foi possível encontrar o melhor projeto das Navalhas de Corte. A seguir serão mostrados os resultados encontrados, assim como algumas análises realizadas.

### **4.1 TESTE 1 - SITUAÇÃO ATUAL (AÇO AISI D6 COM DUREZA ENTRE 59 A 62 HRC)**

O primeiro tipo de aço a ser estudado e analisado foi o aço AISI D6 (ver certificado de qualidade em anexo A), sendo o aço utilizado atualmente no projeto das Navalhas de Corte. A dureza solicitada atualmente no projeto tem variação de 59 a 62 HRC após a realização do tratamento térmico. Devido ao fato de que a empresa interessada não possui dados de durabilidade das mesmas, este teste além de servir como análise do estado atual, também serve como parâmetro de comparação com os outros resultados a serem obtidos, ou seja, para verificar o aumento ou a diminuição da durabilidade. Conforme descrito anteriormente, o aço AISI D6 apresenta características de alta resistência mecânica e ao desgaste, principalmente em trabalho a frio e possui certa tenacidade.

Para este teste, o intervalo de dureza deverá estar entre 59 e 62 HRC. Após a realização do tratamento térmico, a dureza final do par de Navalhas de Corte apresentou 60 HRC (ver certificado de qualidade em anexo B), sendo obtido através de dois revenimentos com temperatura de 250°C ambos.

Desde o início até o fim dos cortes das barras com este par de Navalhas de Corte, foram cortadas cerca de 100 mil peças, com uma média de 12 mil peças por dia. Após chegar este número de peças cortadas, foi constatado principalmente pela experiência dos mecânicos que não haveria mais condições de trabalho com as mesmas peças, devido as Navalhas de Corte apresentavam um péssimo estado visualmente, não sendo mais possível continuar cortando as barras com a qualidade inicial.

A figura 43 mostra o par de Navalhas de Corte após o teste.

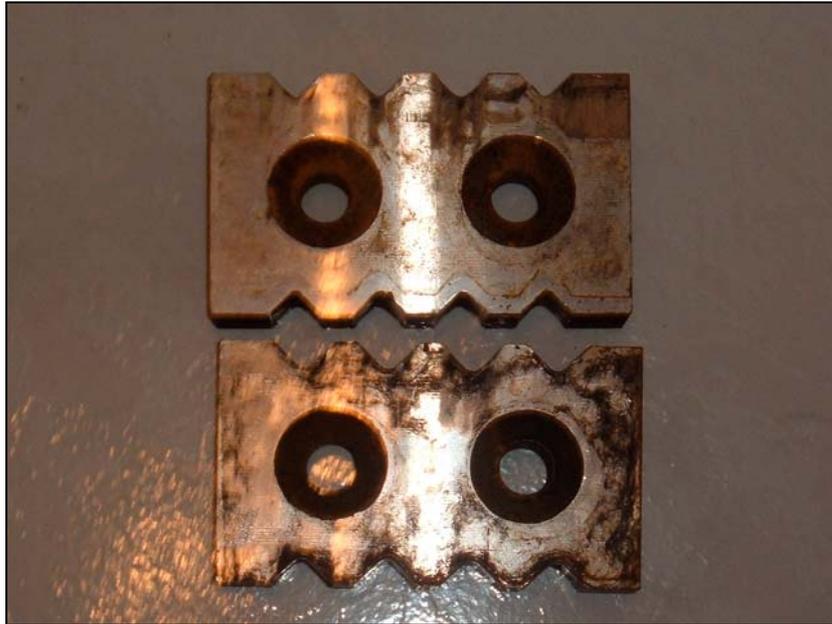


Figura 43 - Navalhas de Corte em aço AISI D6 com 60 HRC após cerca de 100 mil peças cortadas. Foto cedida pela IAT Ltda.



Figura 44 - Navalha de Corte em aço AISI D6 com 60 HRC após cerca de 100 mil peças cortadas, visualização do desgaste nas extremidades dos canais. Foto cedida pela IAT Ltda.

As Navalhas de Corte apresentam quatro rasgos onde são colocadas as barras para corte, sendo que foram usadas todas as possibilidades de cortes, tanto na navalha superior como na navalha inferior, ou seja, todos os rasgos foram utilizados no corte das barras.

Após serem cortadas cerca de 100 mil peças, foi constatado que o par de navalhas não poderia ser mais utilizado, devido a todos os lados já terem sido usados. Os rasgos não apresentavam mais condições de corte por apresentar desgaste excessivo, sendo que alguns estavam tomando a forma arredondada, contudo, as barras que estavam sendo cortadas apresentaram-se amassados em suas extremidades com deformações excessivas, além de estar fazendo um esforço maior para corte das navalhas.

A figura 45 mostra a secção de uma barra após o corte. As extremidades apresentam deformações e excessivos amassados.



Figura 45 - Secção da barra cortada com deformação.

Foto cedida pela IAT Ltda.

A partir deste primeiro teste (situação atual), é possível ter como referência para os próximos testes e analisar os resultados obtidos.

#### **4.2 TESTE 2 - USO DO AÇO AISI D6 COM DUREZA ENTRE 56 A 59 HRC**

O segundo teste que foi realizado tem como base um par de Navalhas de Corte em aço AISI D6, trata-se do mesmo aço que vem sendo utilizado pela empresa, porém com uma mudança no intervalo de dureza. O intervalo de dureza é inferior ao que esta sendo usado, devendo estar entre 56 e 59 HRC. Após a realização do tratamento térmico, a dureza do par de Navalhas de Corte apresentou 60 HRC (ver certificado de qualidade em anexo C), obtidos

através de dois revenimentos com temperatura de 250°C ambos, ou seja, foram realizados os revenimentos na mesma faixa de temperatura em relação ao par de Navalhas de Corte do teste anterior (teste 1).

Devido a dureza e o material usado ser idêntico em relação ao primeiro teste, foram encontrados resultados parecidos em relação à quantidade de peças cortadas do primeiro teste. Foram cortadas cerca de 90 mil peças. A figura 46 mostra o par de Navalhas de Corte de aço AISI D6 com 60 HRC após o uso:



Figura 46 - Navalhas de Corte em aço AISI D6 com 60 HRC após o uso. Foto cedida pela IAT Ltda.

Apesar de terem sido cortados um número de peças próximo em relação ao primeiro caso (situação atual), foi cortado cerca de 10 mil peças menos em relação ao primeiro teste e diferentemente do ocorrido anteriormente, não foi possível usar todas as possibilidades de corte das navalhas. Para a navalha superior foram usados todos os rasgos tanto de um lado quanto de outro, entretanto, na navalha inferior só foi possível usar um lado de rasgos. A navalha superior estava com os rasgos muito danificados, inclusive em um rasgo (ver figura a seguir) ocorreu um fissuramento e algumas trincas surgiram nas extremidades dos rasgos, logo, foi apresentado o desgaste adesivo, na qual foram arrancados partículas da peça, com aparecimento acentuado das trincas. Devido ao fato de que as barras que estavam sendo cortadas estavam com as pontas amassadas, foi constatado que não era mais possível continuar com os cortes com este par de Navalhas de Corte.

A figura 47 mostra o detalhe de um fissuramento em um rasgo da navalha superior:



Figura 47 - Fissuramento em um rasgo de corte na navalha superior. Foto cedida pela IAT Ltda.

### 4.3 TESTE 3 - USO DO AÇO AISI D6 COM DUREZA ENTRE 53 A 56 HRC

O terceiro teste realizado tem com base o uso de um par de Navalhas de Corte em aço AISI D6, trata-se do mesmo aço que vem sendo utilizado pela empresa, porém com variação de dureza inferior ao que vem sendo usada, neste caso, a dureza varia entre 53 e 56 HRC. Após o tratamento térmico, a dureza final para este par de Navalhas de Corte foi de 56 HRC (ver certificado de qualidade em anexo D), sendo obtido após dois revenimentos durante o tratamento térmico, um na temperatura de 450°C e o outro na temperatura de 500°C. Para esta situação, a dureza é consideravelmente inferior ao da situação atual, chegando a 4 pontos na escala HRC.

Após a realização deste teste, foi obtido um resultado de durabilidade inferior em relação à situação atual. Foram cortadas cerca de 70 mil peças, tendo como conseqüências: menor durabilidade das Navalhas de Corte e produtividade inferior ao projeto atual da ferramenta.

A figura 48 mostra o par de Navalhas de Corte em aço AISI D6 com dureza de 56 HRC após o uso:

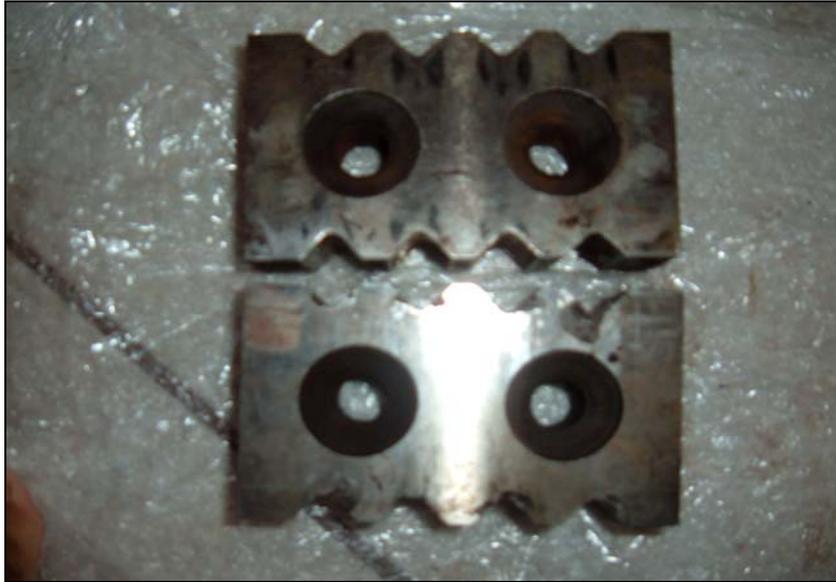


Figura 48 - Navalhas de Corte em aço AISI D6 com 56 HRC após o uso. Foto cedida pela IAT Ltda.

Realizando uma análise sobre as condições em que estava o par de Navalhas de Corte após o uso, ficou evidenciada uma piora das condições finais das peças, estando com os rasgos muito desgastados, ou seja, estava muito presente a deformação plástica fazendo inclusive com que a navalha superior tenha apresentado um péssimo estado com fissuramentos em vários rasgos.

Devido ao uso de todos os lados dos rasgos, houve necessidade de várias paradas para troca de posição dos cortes. A figura 49 mostra a navalha superior mostrando o péssimo estado após o uso.



Figura 49 - Navalha superior com vários fissuramentos nos rasgos. Foto cedida pela IAT Ltda.

Devido a todas estas evidências após o uso do par de navalhas, não é possível reduzir a dureza para este intervalo sugerido, pois as peças ficam mais macias e menos resistentes a este tipo de trabalho. O desgaste é muito acentuado, além de ter sua durabilidade muito inferior ao que estava sendo aplicada. As peças não chegaram a romper ou a quebrar, mas ocorreu um amassamento muito acentuado tanto nos rasgos quanto nas laterais das Navalhas de Corte.

#### **4.4 TESTE 4 – USO DO AÇO AISI D6 COM DUREZA ENTRE 50 A 53 HRC**

O quarto teste realizado tem como base um par de Navalhas de Corte em aço AISI D6, trata-se do mesmo aço que vem sendo utilizado pela empresa, porém com variação de dureza bem inferior ao que vem sendo usada, neste caso, a dureza varia entre 50 e 53 HRC. Após o tratamento térmico, a dureza encontrada para este par de Navalhas de Corte foi de 50 HRC (ver certificado de qualidade em anexo E), obtidos a partir de dois revenimentos, sendo um na temperatura de 520°C e o outro na temperatura de 540°C. Logo, para este caso, a dureza é muito inferior ao da situação atual, chegando a 10 pontos na escala HRC.

Devido aos resultados obtidos no teste anterior (teste 3), na qual o material era o mesmo, porém estava com uma dureza em torno de 4 HRC inferior em relação à situação atual, já foi possível diagnosticar um rendimento muito inferior para esta situação (teste 4). Com dureza de 50 HRC os resultados deveriam ser piores. Após os testes, ficou provado que os resultados foram péssimos quanto à durabilidade e a produtividade.

Foram cortadas apenas 60 mil peças até que o par de Navalhas de Corte apresentar um péssimo estado. Após o uso das navalhas, ficou demonstrado que as peças ficaram em péssimo estado.

A figura 50 mostra o par de Navalhas de Corte de aço AISI D6 com dureza 50 HRC.

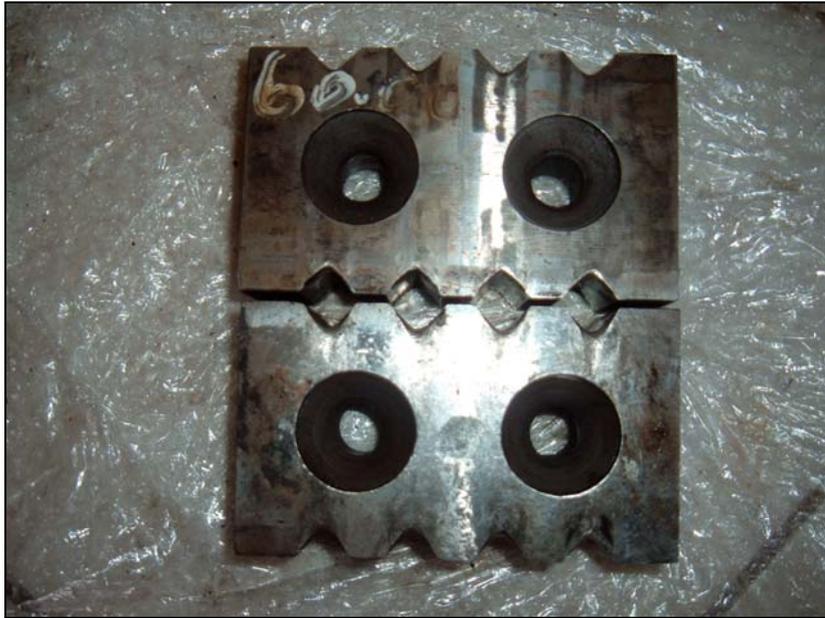


Figura 50 - Navalhas de Corte em aço AISI D6 com 50 HRC após o uso. Foto cedida pela IAT Ltda.

A figura 51 mostra os detalhes dos rasgos, na qual fica evidenciado o desgaste excessivo, tendo muitos amassamentos e arredondamentos em toda a sua seção.

Para realização deste teste, houve muitas paradas para mudança de posição das Navalhas de Corte. É notório que as laterais também ficaram muito amassadas.



Figura 51 - Vista superior da Navalha de Corte que mostra o excessivo desgaste nos rasgos. Foto cedida pela IAT Ltda.

Após esta primeira etapa de testes realizados para o mesmo tipo de material, referente ao aço AISI D6, que é o aço aplicado atualmente no projeto das Navalhas de Corte, ficou evidenciado que o mesmo deve ser usado na condição de maior dureza dentro do limite possível que o aço permite após o tratamento térmico. Tendo em vista os testes realizados com durezas inferiores de 60 HRC, as peças passam a apresentar um desgaste excessivo, apresentando como resultado uma menor durabilidade das Navalhas de Corte. Para durezas abaixo de 56 HRC, as peças passam a ter um desgaste excessivo.

#### **4.5 TESTE 5 – USO DO AÇO AISI D2 COM DUREZA ENTRE 59 A 62 HRC**

Após os testes executados anteriormente, na qual o aço usado foi o aço AISI D6 (situação atual), ocorrendo somente à variação da faixa de durezas após o tratamento térmico, o quinto teste realizado tem como base a mudança do aço AISI D6 para o aço AISI D2 (ver certificado de qualidade em anexo F).

O teste 5 teste tem características apenas mudar o tipo de aço, mantendo-se neste caso a variação de dureza recomendada pelo estado atual de uso, ou seja, ter sua dureza variando entre 59 e 62 HRC. Após o tratamento térmico, foi constatada a dureza de 60 HRC (ver certificado de qualidade em anexo G), idêntica a dureza encontrada no aço AISI D6 (situação atual) no primeiro teste, porém com uma diferença significativa, para o primeiro teste o aço AISI D6 (durante o tratamento térmico) foram necessários dois revenimentos para se atingir a dureza de 60 HRC, enquanto que para o aço AISI D2 (teste 5), para a mesma dureza de 60 HRC, foram necessários três revenimentos, um com 520°C e outros dois com 500°C.

Com o par de Navalhas de Corte em aço AISI D2 e com dureza de 60 HRC, foram cortadas cerca de 117 mil peças, com uma média de 13 mil peças por dia. Em relação à situação atual, houve um aumento de produtividade e diminuição do desgaste do par de Navalhas de Corte. Também é importante salientar que todos os rasgos das Navalhas de Corte foram utilizados, mostrando que foi possível usar as possibilidades de inversão dos lados das peças sem a necessidade de substituição por peças novas, além disso, retardou a parada para mudança de lado dos rasgos, ou seja, a peça teve uma maior durabilidade.

A figura 52 mostra o par de Navalhas de Corte após seu uso. Além dos números de durabilidade citados acima, foi notável um menor desgaste dos rasgos, tendo apenas as pontas amassadas. Não apresentou trincas e as laterais das mesmas também não apresentaram amassamentos.

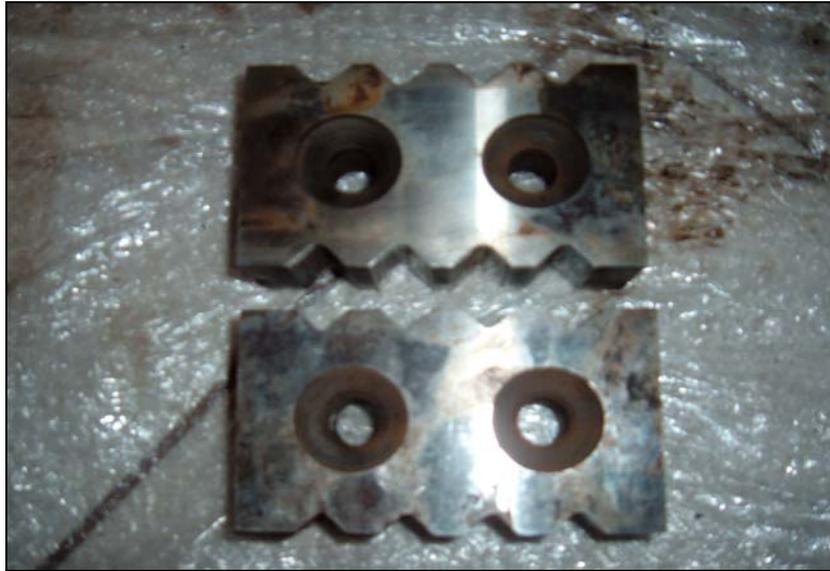


Figura 52 - Navalhas de Corte em aço AISI D2 com 60 HRC após o uso. Foto cedida pela IAT Ltda.

A figura 53 mostra os detalhes dos rasgos sem um grande amassamento ou desgaste. Após terem sido cortadas cerca de 117 mil peças e usados todos os lados dos rasgos, foi necessário substituir o par de Navalhas de Corte, visto que as extremidades das barras que estavam sendo cortadas estavam apresentando um amassamento, o que não pode ocorrer.



Figura 53 - Detalhe que mostra os rasgos sem muito amassamento e desgaste. Foto cedida pela IAT Ltda.

Relacionando ao primeiro teste (situação atual), com a troca do tipo de aço, passando de aço AISI D6 para aço AISI D2 e, mantendo o mesmo intervalo de dureza entre 59 e 62 HRC, já foi possível melhorar a durabilidade do par de Navalhas de Corte.

#### 4.6 TESTE 6 – USO DO AÇO AISI D2 COM DUREZA 56 A 59 HRC

Após a realização do teste 5, na qual foi testado um par de Navalhas de Corte, substituindo o aço AISI D6 pelo aço AISI D2 com o mesmo intervalo de durezas, o teste 6 tem como base manter o aço AISI D2, porém com um intervalo de durezas entre 56 a 59 HRC. Depois de realizado o tratamento térmico, a dureza medida para este par de Navalhas de Corte foi de 59 HRC (ver certificado de qualidade em anexo H), obtidos a partir de três revenimentos, um com temperatura de 520°C e outros dois com temperaturas 500°C.

A dureza encontrada corresponde ao limite máximo deste intervalo e apresenta uma dureza idêntica ao teste 5, realizado com este tipo de aço, onde a dureza encontrada foi de 60 HRC. Portanto, os resultados encontrados foram muito parecidos em relação à quantidade de peças cortadas do teste 5. Foram cortadas 105 mil peças.

A figura 54 mostra o par de Navalhas de Corte de aço AISI D2 com 59 HRC após o uso. No teste 6 foram cortadas 12 mil peças a menos em relação ao teste 5.

Apesar de terem sido usados todos os lados dos rasgos para o corte das barras, ocorreram um maior desgaste. Houve um maior amassamento e em alguns rasgos ocorreram alguns arredondamentos nas extremidades.



Figura 54 - Navalhas de Corte em aço AISI D2 com dureza de 59 HRC após o uso. Foto cedida pela IAT Ltda.

Apesar do desgaste dos rasgos apresentados, não ocorreram fissuras e trincas visíveis, também as laterais não sofreram grandes deformações.

A figura 55 mostra um maior desgaste dos rasgos.



Figura 55 - Mostra um maior desgaste nos rasgos superiores.

Foto cedida pela IAT Ltda.

Conforme o programa de testes práticos que foram programados, ainda seriam necessários a realização de mais dois testes para este tipo de aço (aço AISI D2), um para dureza entre 53 e 56 HRC e outro com dureza entre 50 e 53 HRC. Todavia, após os testes já realizados, principalmente através dos testes 2 e 3 realizados com o aço AISI D6, mostram que não seriam necessários realizar os testes com durezas inferiores a 56 HRC para o aço AISI D2, pois ambos os aços apresentam características parecidas de composição química, e provavelmente os resultados encontrados não seriam satisfatórios a fim de melhorar a durabilidade e a resistência das Navalhas de Corte. Logo as peças fabricadas ainda estão disponíveis para outros testes, e a tendência da resistência ao desgaste e a durabilidade diminuiriam comparada com a situação inicial.

#### **4.7 TESTE 7 – USO DO AÇO AISI S1 COM DUREZA 59 A 62 HRC**

Depois de realizados os testes com o aço AISI D6 (situação atual) e AISI D2, mostrou que os resultados obtidos com o segundo tipo de aço, com os mesmos intervalos de durezas, tiveram melhores resultados em relação ao que estava sendo utilizado no projeto. Isso ocorre

devido a ambos os aços apresentam características estruturais bastante parecidas, também apresentam uma pequena variação de composição química e ambos são para trabalho a frio. A partir de agora serão testados os aços com diferentes características de aplicação.

No teste 7 o material empregado é o aço AISI S1 (ver certificado de qualidade em anexo I), o qual suas características e aplicações foram descritas anteriormente. Através de sua composição química, este aço apresenta características de alta resistência ao choque, sendo muito utilizado na fabricação de matrizes e navalhas de corte. Logo, este tipo de aço pode ser muito bem empregado para tal trabalho, na qual se tem a necessidade de alta resistência ao desgaste com alta tenacidade, o que permite trabalhos com possibilidade de pancadas ou choques.

Para este teste, o aço empregado é o AISI S1 com dureza entre 59 e 62 HRC. Após o tratamento térmico, a dureza encontrada foi de 59 HRC (ver certificado de qualidade em anexo J), sendo obtido através de dois revenimentos, um com temperatura de 180°C e outro com temperatura de 200°C. Os resultados foram muitos satisfatórios em relação ao primeiro teste (situação atual de projeto). Foram cortadas aproximadamente 130 mil peças ao longo de 10 dias, obtendo-se a média de 13 mil peças por dia durante o horário de trabalho. A figura 56 mostra o par de Navalhas de Corte em aço AISI S1 com dureza de 59 HRC.

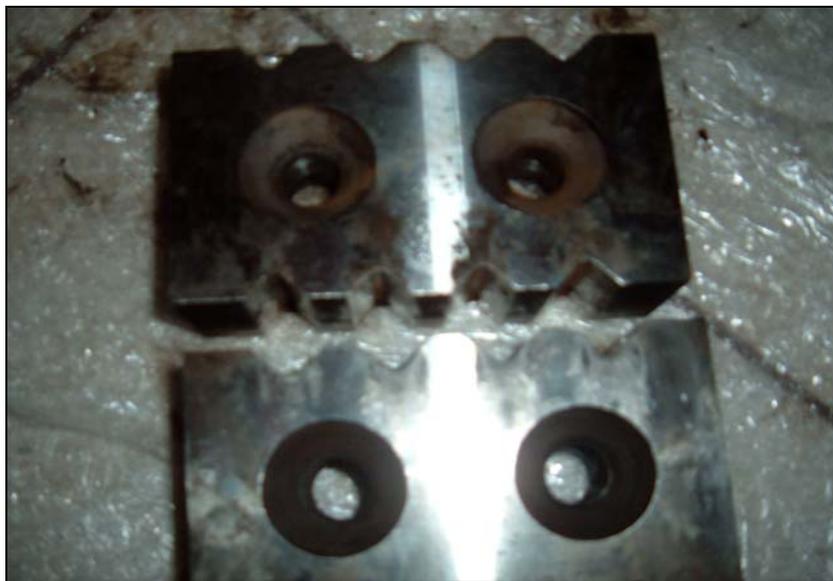


Figura 56 - Navalhas de Corte em aço AISI S1 com dureza 59 HRC após o uso. Foto cedida pela IAT Ltda.

A durabilidade das Navalhas de Corte com o aço AISI S1 e com dureza 59 HRC aumentou significativamente comparado com o estado em que elas estavam usadas. Para o

mesmo intervalo de dureza, apenas a mudança do tipo do aço permitiu um aumento da durabilidade, conseqüentemente um aumento a resistência ao desgaste. Foram usados todos os lados possíveis dos rasgos, parando de cortar as barras apenas quando estas já estavam sofrendo deformações no corte. Tanto a navalha superior quanto a inferior sofreu um desgaste homogêneo.

A figura 57 mostra o detalhe dos rasgos nas Navalhas de Corte, enfatizando o desgaste nos rasgos. É importante salientar que não ocorreram trincas e fissuramentos, sendo que as deformações ocorreram somente nas extremidades dos rasgos.

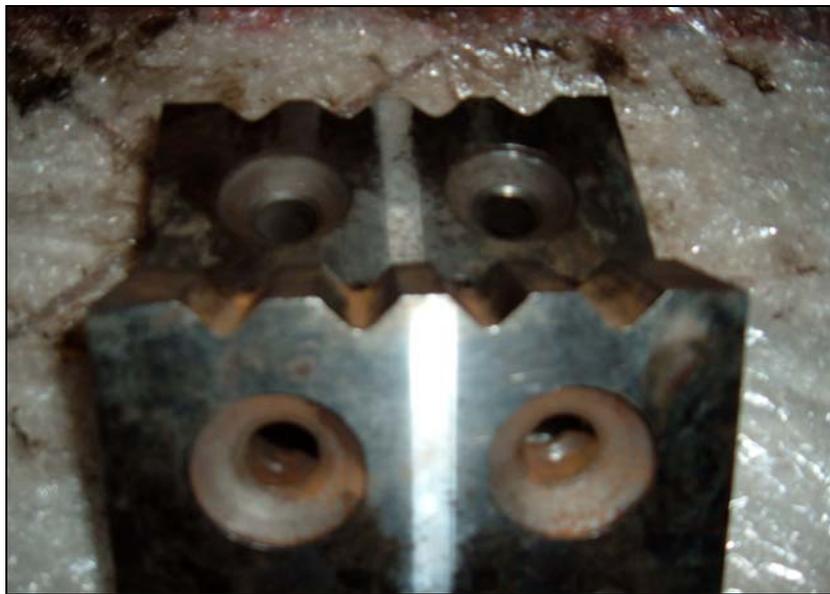


Figura 57 - Vista superior das Navalhas, destacando o desgaste nos rasgos. Foto cedida pela IAT Ltda.

#### **4.8 TESTE 8 – USO DO AÇO AISI S1 COM DUREZA 56 A 59 HRC**

Através do teste 7, ficou evidenciado que a substituição dos aços com características de trabalho a frio e com alta resistência ao desgaste, em relação ao aço AISI S1, que tem como maior característica a alta tenacidade junto com a resistência mecânica, o oitavo teste tem por base manter o aço AISI S1 com uma variação de durezas inferiores ao que foi usado no teste 7. Para o teste 8, a variação de dureza deverá ser de 56 a 59 HRC. Após a realização do tratamento térmico, foi constatada uma dureza de 59 HRC (ver certificado de qualidade em anexo L), sendo obtido através de dois revenimentos, um com temperatura de 180°C e outro com temperatura de 250°C. Esta foi a única mudança ocorrida, visto que a temperatura do segundo revenimento do teste 7 foi um pouco inferior (cerca de 200°C).

Devido ao fato de estes pares de navalhas estarem com o mesma dureza do teste 7, os resultados foram outra vez satisfatórios. Por outro lado, não foi possível analisar como seria o desgaste e o uso de um par de Navalhas de Corte com durezas um pouco abaixo de 59 HRC. Entretanto, estes resultados do teste 8, serviram para confirmar os resultados obtidos no teste 7, provando a grande durabilidade e resistência ao desgaste para este material com a dureza de 59 HRC.

Os resultados foram mais uma vez satisfatórios em relação ao primeiro teste (situação que estava sendo utilizada pela empresa). Foram encontrados os mesmos resultados do teste 7, foram cortadas cerca de 130 mil peças em torno de 10 dias, e a média mais uma vez foi de 13 mil peças por dia. A figura 58 mostra as Navalhas de Corte em aço AISI S1 com dureza de 59 HRC após o uso:



Figura 58 - Navalhas de Corte em aço AISI S1 com 59 HRC após o uso. Foto cedida pela IAT Ltda.

Referente às condições dos desgastes dos rasgos, igualmente os resultados obtidos foram similares ao do teste 7, não ocorreram trincas e fissuramentos, sendo que as deformações ocorreram somente nas extremidades dos rasgos. Também é importante salientar que todos os lados dos rasgos foram usados e que as paradas para mudança de posição dos cortes foram menores, isso mostra que foram cortadas mais barras sem a necessidade de trocar o rasgo de corte e que as barras sofreram menores deformações em suas extremidades.

A figura 59 mostra as Navalhas de Corte, a fim de destacar o desgaste dos rasgos.



Figura 59 - Navalhas de Corte em aço AISI S1 com 59 HRC após o uso, para visualização do desgaste nos rasgos. Foto cedida pela IAT Ltda.

#### **4.9 TESTE 9 – USO DO AÇO AISI S1 COM DUREZA ENTRE 53 A 56 HRC**

O teste 9 tem como base manter do aço AISI S1 com um intervalo de dureza de 53 a 56 HRC. Após o tratamento térmico realizado, a dureza final medida foi de 56 HRC (ver certificado de qualidade em anexo M), sendo obtida a partir de três revenimentos, sendo o primeiro na temperatura de 180°C, o segundo na temperatura de 250°C e o último na temperatura de 400°C.

A figura 60 mostra o par de navalhas após o uso. Os resultados encontrados foram satisfatórios. Para uma dureza inferior (56 HRC) aos testes anteriores (7 e 8), os resultados foram melhores. Cortaram-se cerca de 150 mil peças, com uma produção média diária de 15 mil peças.

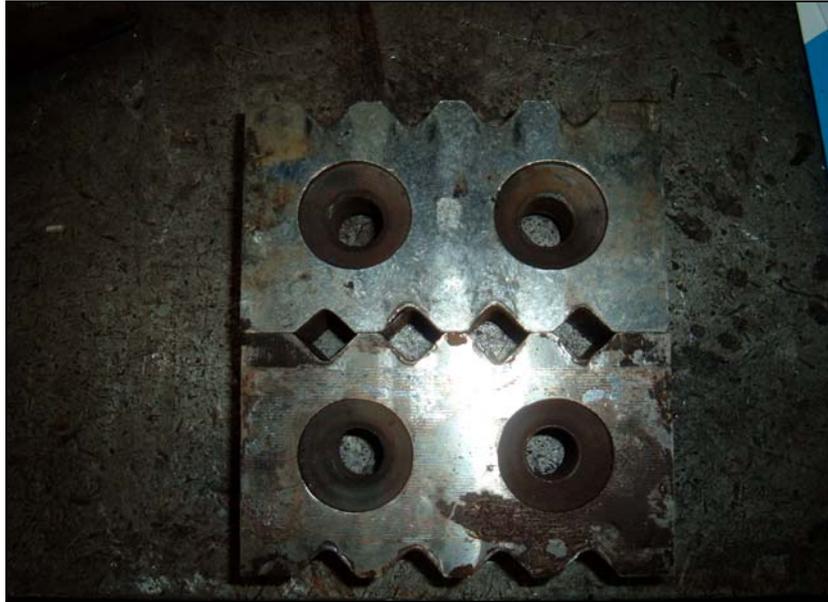


Figura 60 - Navalhas de Corte em aço AISI S1 com dureza 56 HRC após o uso. Foto cedida pela IAT Ltda.

Analisando o desgaste das peças após o uso, na qual foi possível usar todos os rasgos disponíveis para corte e, isso é de extrema importância, pois é possível aumentar a durabilidade das mesmas, houve alguns arredondamentos e amassamentos somente nas extremidades dos rasgos, ou seja, ao longo da extensão dos rasgos não houve desgaste excessivo.

A figura 61 mostra a vista superior das Navalhas de Corte, destacando o desgaste nos rasgos. Estes resultados foram bastante expressivos em relação à situação de projeto inicial. Com estes resultados, possibilitou um aumento de aproximadamente 50% da durabilidade nas Navalhas de Corte, o desgaste diminuiu e os custos também diminuíram. Devido ao fato das peças não apresentarem ruptura, o critério para avaliação do momento do descarte da peça é dado basicamente pelo uso de todos os rasgos disponíveis e principalmente pelo estado do corte, ou seja, a partir do momento em que as barras cortadas apresentarem amassamentos ou dobramentos na região do corte. A experiência dos mecânicos que acompanharam os testes, também serviu como auxílio para o momento do descarte dos pares em teste.



Figura 61 - Vista superior das Navalhas de Corte em aço AISI S1 com dureza 56 HRC após o uso.  
Foto cedida pela IAT Ltda.

Conforme o programa de testes práticos que deveriam ser realizados, ainda seria necessário a realização de mais um teste para este tipo de aço (aço AISI S1), para dureza entre 50 e 53 HRC. Porém, após estudos realizados durante o procedimento dos testes anteriores com o aço AISI D6 e AISI D2, mostrou a tendência é que não haja necessidade de realizar os testes para o aço AISI S1 com durezas inferiores a 53 HRC, devido que não teríamos resultados satisfatórios a fim de melhorar a durabilidade e resistência das navalhas de corte. Além desta tendência, a falta de tempo para realização de todos os testes, fez com que não fossem realizados os testes para o aço AISI S1 com durezas inferiores de 53 HRC. Contudo, as peças fabricadas ainda estão disponíveis para outros testes, mas a tendência da resistência ao desgaste e a durabilidade diminuiriam comparada com a situação inicial.

#### **4.10 TESTE 10 – USO DO AÇO AISI H13 COM DUREZA ENTRE 59 A 62 HRC**

A partir dos testes já realizados, foi possível atingir resultados comprovadamente satisfatórios e que já tiveram melhoras da durabilidade das Navalhas de Corte em relação à situação em que estava sendo usada inicialmente. Houve duas melhorias em relação ao início dos testes. A primeira foi no momento da troca do aço AISI D6 para o aço AISI D2 com dureza de 60 HRC, na qual se obteve uma melhor durabilidade, porém ao substituir para o aço AISI S1

com dureza 56 HRC, houve uma melhora considerável, chegando a 50% de aumento de durabilidade.

O teste 10 trata-se de analisar o desempenho de um par de Navalhas de Corte em aço AISI H13 (ver certificado de qualidade em anexo N) com dureza entre 59 e 62 HRC. Conforme citado anteriormente a respeito deste aço, ele tem como característica ser para trabalho a quente, apresenta boa tenacidade, alta resistência mecânica e boa resistência ao desgaste em temperaturas elevadas. Também é recomendado para uso em matrizes e navalhas de corte. Apresenta boa resistência à fadiga térmica e ótima resistência ao choque.

Após a realização do tratamento térmico, a dureza das peças foi de 57 HRC (ver certificado de qualidade em anexo O). Para estas peças, o tratamento térmico não ficou dentro das tolerâncias exigidas pelo projeto, visto que a dureza ficou 2 HRC inferiores à menor dureza solicitada. Neste caso, o erro aconteceu devido que para este tipo de aço, não é possível planejar uma dureza muito alta, o aço AISI H13 apresenta como característica não atingir durezas acima de 57 HRC. A dureza encontrada foi a máxima possível para este tipo de material. O tratamento térmico foi realizado dentro das características do aço, não sendo possível atingir a dureza planejada para este teste. Contudo, para efeitos de pesquisa prática, isto deve ser considerado. Esta dureza foi obtida através de três revenimentos, sendo um com temperatura de 520°C e os outros dois com temperaturas de 500°C. Para este par de Navalhas de Corte foi possível cortar cerca de 80 mil peças. Durante o uso das navalhas, foram usados todos os rasgos, houve diversas paradas para ajustar os cortes.

A figura 62 mostra o par de Navalhas de Corte após o uso:

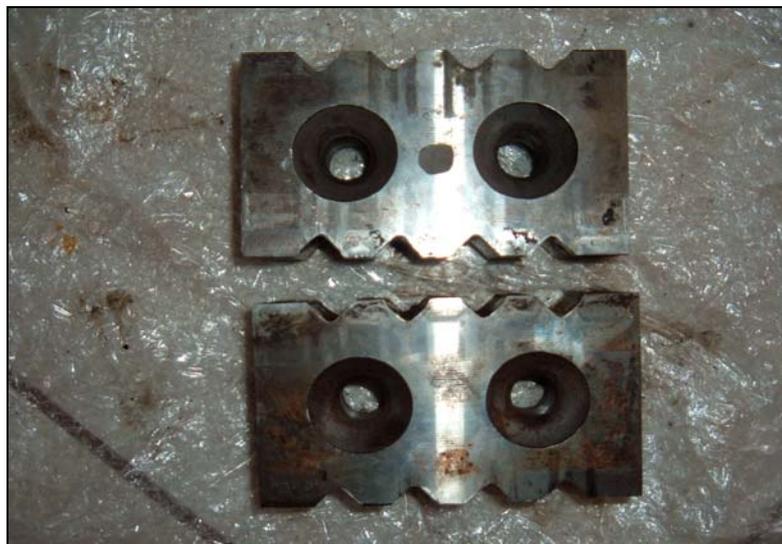


Figura 62 - Navalhas de Corte em aço AISI H13 com dureza de 57 HRC após o uso. Foto cedida pela IAT Ltda.

Realizando uma análise do estado do par de Navalhas de Corte em aço AISI H13 com dureza de 57 HRC após o uso, foi possível notar certo desgaste acentuado nos rasgos de corte, assim como um amassamento na maioria das extremidades dos rasgos. Na figura 63, é possível notar com mais nitidez o desgaste acentuado nos rasgos.



Figura 63 - Mostra o detalhe do desgaste nos rasgos.

Foto cedida pela IAT Ltda.

Conforme citado anteriormente, o teste destas peças ficou prejudicado devido ao fato de que a dureza encontrada na peça ficar inferior ao menor limite do intervalo de dureza sugerido para teste. Todavia, a quantidade de peças que foram cortadas neste teste, mostrou que a tendência seria de aumentar a durabilidade, mas não a ponto de superar os resultados no ensaio do teste 8, no qual o material empregado foi o aço AISI S1 com dureza de 56 HRC, que apresentou um número de peças cortadas de cerca de 150 mil peças.

#### **4.11 TESTE 11 - USO DO AÇO AISI H13 COM DUREZA ENTRE 56 A 59 HRC**

O teste 11 tem como base ser realizado com um par de Navalhas de Corte em aço AISI H13, similar ao utilizado no teste 10, entretanto, as peças devem estar com um intervalo de dureza entre 56 e 59 HRC. Após o tratamento térmico realizado nas peças, a dureza encontrada foi de 56 HRC (ver o certificado de qualidade em anexo P), produzida através de três revenimentos, sendo um com temperatura de 520°C e os outros dois com temperaturas de 500°C. Comparando com as características do teste 10, na qual a dureza

encontrada foi de 57 HRC, ou seja, a dureza praticamente foi a mesma em ambos os casos, sendo que os revenimentos durante o tratamento térmico tiveram as mesmas características. De maneira que, os resultados esperados neste teste deveriam ser semelhantes e, isto foi o que aconteceu.

Após a realização do teste, foram cortadas cerca de 80 mil peças com este par de Navalhas de Corte, sendo o mesmo número de peças cortadas no teste anterior. Analisando o desgaste do par de Navalhas de Corte, evidencia características muito parecidas com a do teste anterior. Foi possível usar todos os rasgos das Navalhas de Corte, fazendo também que se tivessem várias paradas para troca da posição das mesmas para uso dos rasgos.

A figura 64 mostra o par das Navalhas de Corte em aço AISI H13 com dureza de 56 HRC, destacando-se a péssimo estado em que as peças se encontravam após o uso.



Figura 64 - Navalhas de Corte em aço AISI H13 com dureza de 56 HRC. Foto cedida pela IAT Ltda.

Na figura 65, será possível notar o desgaste dos rasgos. Todos os rasgos tiveram amassamentos principalmente nas extremidades, junto com alguns arredondamentos. Alguns rasgos também sofreram desgaste ao longo dos mesmos, sendo que aconteceram alguns fissuramentos. É importante salientar que as faces das Navalhas de Corte também ficaram evidenciados alguns amassados. Como já foi colocada anteriormente, a paralisação do uso das navalhas são dadas a partir do momento em que as barras cortadas apresentam amassamentos no local do corte.



Figura 65 - Detalhe dos rasgos com desgaste e inclusive com algumas fissuras. Foto cedida pela IAT Ltda.

Conforme o programa de testes práticos que deveriam ser realizados, ainda seriam necessários a realização de mais dois testes para este tipo de aço (aço AISI H13), um para dureza variando entre 53 e 56 HRC e outro com dureza variando entre 50 e 53 HRC. Porém, após estudos realizados durante a realização dos testes anteriores com o aço AISI D6 e AISI D2, e principalmente pelos resultados obtidos com o uso do aço AISI H13, onde evidencia a baixa durabilidade das navalhas de corte, não há necessidade de realizar os testes para o aço AISI H13 com durezas inferiores a 56 HRC. Também a falta de tempo hábil para a realização de todos os testes contribuiu para a não realização dos testes mencionados. Logo, as peças fabricadas ainda estão disponíveis para outros testes, mas a tendência da resistência ao desgaste e a durabilidade é diminuir comparada com a situação inicial.

Tendo como base todos os testes realizados, com diferentes tipos de aços especiais e, principalmente pela variação de dureza para pares de peças, foi possível construir uma tabela resumo sobre a quantidade de peças fabricadas.

Analisando os resultados mostrados na tabela 11, a situação inicial de projeto estava usando as Navalhas de Corte em aço AISI D6, com dureza entre 59 e 62 HRC. Esta situação apresenta bons resultados em relação a outros tipos de aços que poderiam ser utilizados neste tipo de trabalho, mas na prática os melhores resultados foram obtidos quando da aplicação do aço AISI S1 com dureza de 56 HRC.

Conforme citado anteriormente, os resultados chegaram a atingir cerca de 50% do melhoramento do processo. Além do material e da dureza alterada, é sempre bom lembrar que a fabricação de uma nova Matriz de Corte, na qual permitiu um equipamento novo, isentos de folgas e de desgastes, contribuíram para o melhor resultado obtido.

Tabela 11 – Tabela resumo dos testes realizados.

<b>Material utilizado</b>	<b>Intervalo de dureza previsto</b>	<b>Dureza medida</b>	<b>Quantidade de peças cortadas</b>	<b>Número de rasgos utilizados</b>
<b>AISI D6</b>	<b>59 / 62 HRC</b>	<b>60 HRC</b>	<b>100 mil</b>	<b>16 rasgos</b>
<b>AISI D6</b>	<b>56 / 59 HRC</b>	<b>60 HRC</b>	<b>90 mil</b>	<b>12 rasgos</b>
<b>AISI D6</b>	<b>53 / 56 HRC</b>	<b>56 HRC</b>	<b>70 mil</b>	<b>16 rasgos</b>
<b>AISI D6</b>	<b>50 / 53 HRC</b>	<b>50 HRC</b>	<b>60 mil</b>	<b>16 rasgos</b>
<b>AISI D2</b>	<b>59 / 62 HRC</b>	<b>60 HRC</b>	<b>117 mil</b>	<b>16 rasgos</b>
<b>AISI D2</b>	<b>56 / 59 HRC</b>	<b>59 HRC</b>	<b>105 mil</b>	<b>16 rasgos</b>
<b>AISI D2</b>	<b>53 / 56 HRC</b>	<b>SEM TESTE</b>		
<b>AISI D2</b>	<b>50 / 53 HRC</b>	<b>SEM TESTE</b>		
<b>AISI S1</b>	<b>59 / 62 HRC</b>	<b>59 HRC</b>	<b>130 mil</b>	<b>16 rasgos</b>
<b>AISI S1</b>	<b>56 / 59 HRC</b>	<b>59 HRC</b>	<b>130 mil</b>	<b>16 rasgos</b>
<b>AISI S1</b>	<b>53 / 56 HRC</b>	<b>56 HRC</b>	<b>150 mil</b>	<b>16 rasgos</b>
<b>AISI S1</b>	<b>50 / 53 HRC</b>	<b>SEM TESTE</b>		
<b>AISI H13</b>	<b>59 / 62 HRC</b>	<b>57 HRC</b>	<b>80 mil</b>	<b>16 rasgos</b>
<b>AISI H13</b>	<b>56 / 59 HRC</b>	<b>56 HRC</b>	<b>80 mil</b>	<b>16 rasgos</b>
<b>AISI H13</b>	<b>53 / 56 HRC</b>	<b>SEM TESTE</b>		
<b>AISI H13</b>	<b>50 / 53 HRC</b>	<b>SEM TESTE</b>		

Para podermos comprovar os resultados obtidos com este material e com esta dureza aplicada, foram realizados novos testes com um novo par de navalhas em aço AISI S1 e com a mesma dureza (56 HRC), tendo como objetivo, comprovar a mudança em relação ao projeto inicial. Devido a este novo fato criado durante a obtenção de resultados, novas peças tiveram que ser fabricadas, assim como novo tratamento térmico realizado e principalmente um novo teste deveria ser executado.

Novamente as peças foram produzidas por meio de usinagem. Foram fabricadas mais um par de Navalhas de Corte em aço AISI S1. Os custos na compra da matéria-prima estão em apêndice E.

A figura 66 mostra as peças fabricadas após o final da fabricação (já com tratamento térmico) e antes dos testes.

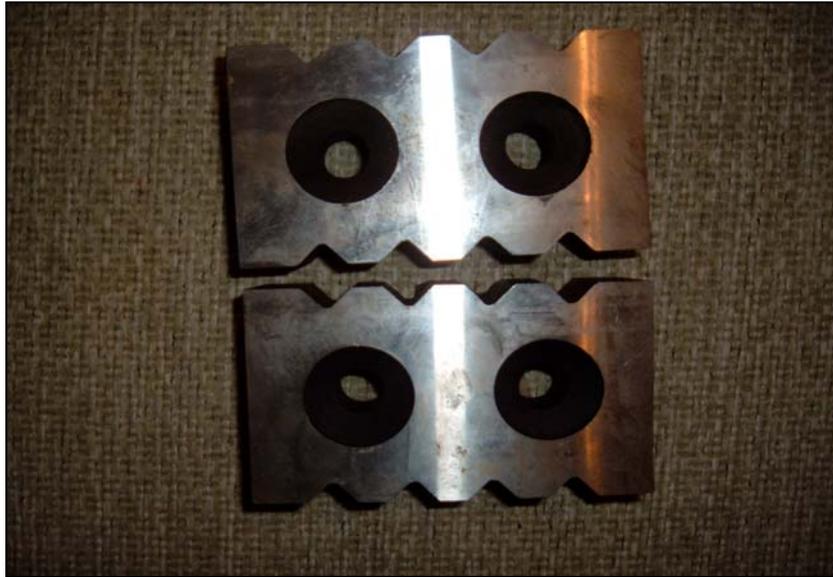


Figura 66 - Novas Navalhas de Corte fabricadas em aço AISI S1 com dureza 56 HRC antes do uso. Foto cedida pela IAT Ltda.

#### **4.12 TESTE 12 - USO DO AÇO AISI S1 COM DUREZA 56 HRC**

Após a realização do tratamento térmico, a dureza encontrada foi novamente de 56 HRC, ou seja, novamente os testes seriam realizados com o mesmo aço e com a mesma dureza que obtiveram os melhores resultados. Lembrando que após o processo de tratamento térmico, foi necessário realizar o serviço de retificação para acabamento das dimensões das peças. E partir deste momento, novos testes foram realizados.

Os resultados obtidos vieram a confirmar os evidenciados anteriormente, ou seja, foram praticamente iguais considerando o volume de peças cortadas. Foi possível cortar 145 mil peças. Devido a grande quantidade de peças cortadas, este número apresentado de peças cortadas é calculado pela média de peças cortadas durante uma hora em relação ao número de horas trabalhadas.

A figura 67 mostra o par de Navalhas de Corte após o uso:

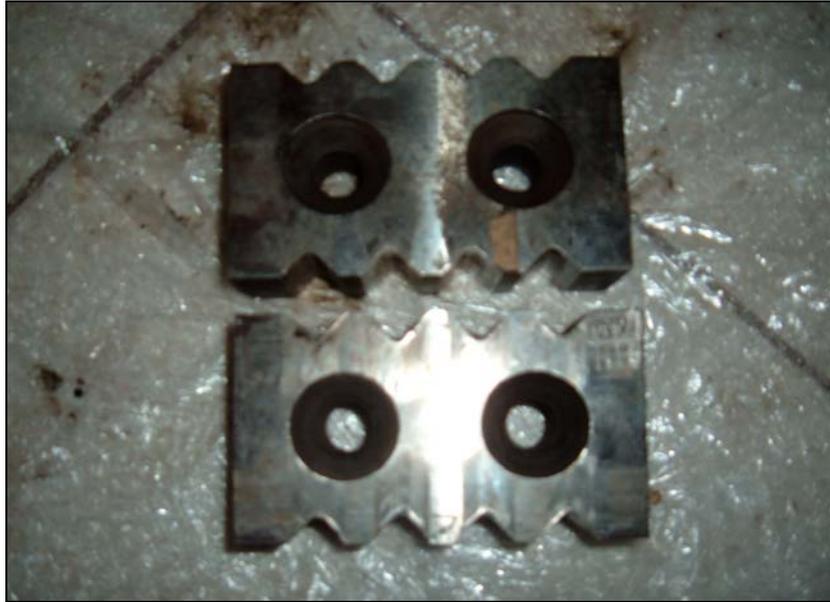


Figura 67 - Navalha de Corte em aço AISI S1 com dureza 56 HRC após o uso (145 mil peças). Foto cedida pela IAT Ltda.

Analisando o desgaste nos rasgos neste par de Navalhas de Corte, fica evidente a semelhança com os resultados obtidos no teste 9. Analisando o desgaste das peças após o uso, onde foi possível usar mais uma vez, todos os rasgos disponíveis para corte, foi visível que houve alguns arrendamentos e amassamentos somente nas extremidades dos rasgos, ou seja, ao longo da extensão dos rasgos não houve desgaste excessivo. A figura 68 mostra a vista superior das Navalhas de Corte, para destacar o desgaste nos rasgos.

Estes resultados mais uma vez se confirmaram, comprovou o bom rendimento para uso das Navalhas de Corte sendo fabricado em aço AISI S1 com dureza de 56 HRC. É importante salientar que nos testes 9 e 12, se tiveram os melhores resultados, assim como em ambos os casos, foram realizados durante o tratamento térmico três estágios de revenimento. Apesar das temperaturas de revenido variarem durante o tratamento térmico, é importante destacar que este fator influencia no estado de tensões das peças e, por resultado, tem influencia no desgaste durante o uso.



Figura 68 - Detalhe dos rasgos da Navalha de Corte, na qual é possível visualizar desgaste. Foto cedida pela IAT Ltda.

## **5 COMPARAÇÕES DAS CONFIGURAÇÕES DA FERRAMENTA DE CORTE**

Baseado em tudo que foi visto durante os testes realizados e, através da troca de experiências entre os responsáveis da empresa IAT Ltda, com informações obtidas com os técnicos encarregados do tratamento térmico e, através dos conhecimentos adquiridos neste trabalho de pesquisa, os resultados foram aprovados por todos, ocorrendo a mudança do projeto inicial. Logo, foi redesenhado novo sistema para uso. Lembrando que não houve mudanças na geometria da peça e o aço AISI D6 foi substituído pelo aço AISI S1, sendo o intervalo de dureza também modificada de 60 a 62 HRC anteriormente para o intervalo de 55 a 57 HRC, acrescentando a nota de obrigatoriedade de três revenimentos para uniformizar as tensões das peças.

A figura 69 mostra o novo desenho aprovado pela IAT Ltda.

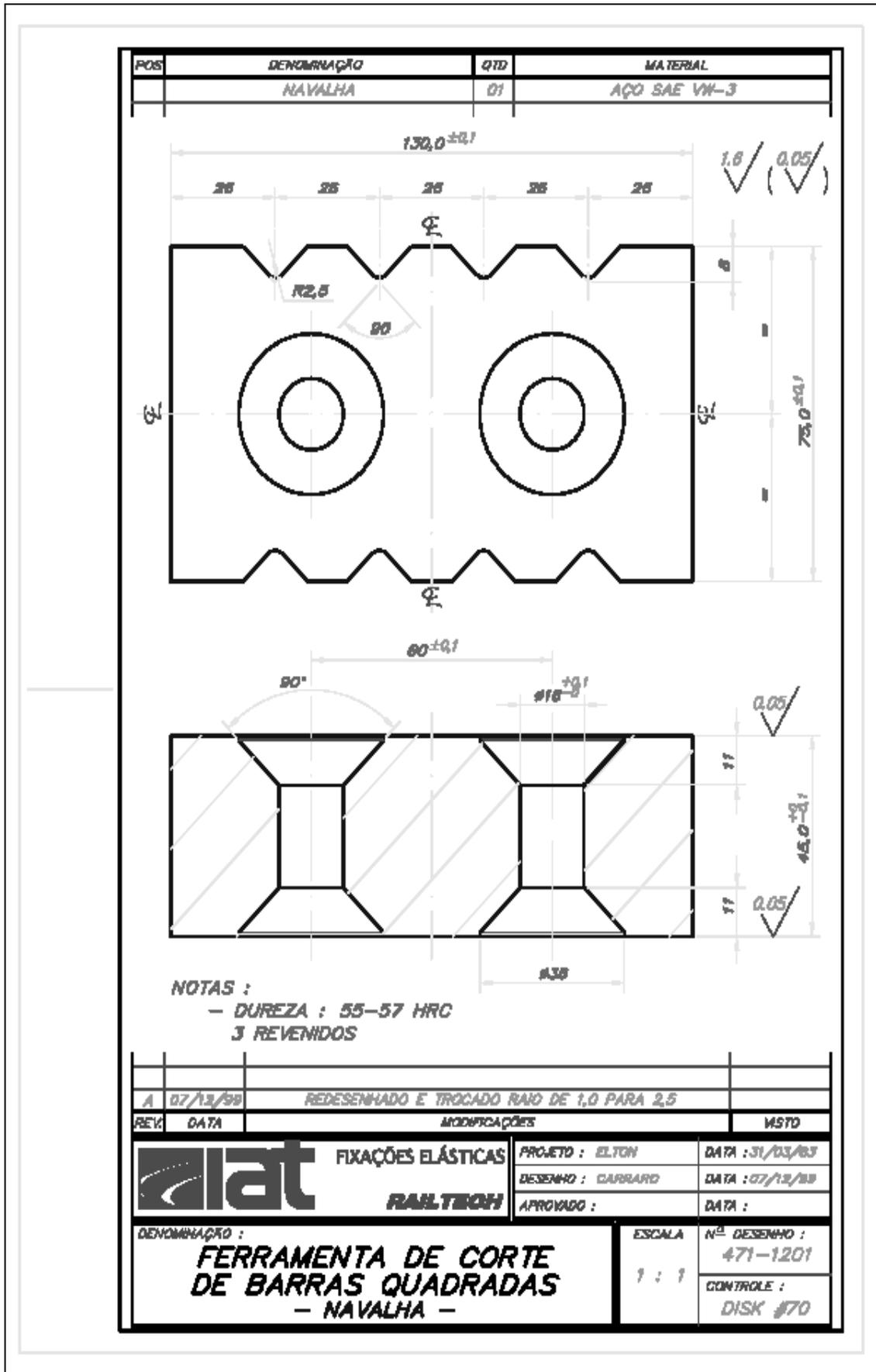


Figura 69 - Novo desenho aprovado, cedido pela IAT Ltda.

## 6 APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para realizar este trabalho de pesquisa, algumas dificuldades foram encontradas. Uma das dificuldades esta relacionada com a fabricação da Matriz de Corte. Inicialmente, na elaboração do trabalho, não estava programado a fabricação de uma nova matriz. Após a fabricação das Navalhas de Corte e antes do inicio dos testes práticos, constatou-se a necessidade de fabricação de uma Matriz de Corte. Esta constatação tem como base o fato de que a matriz que estava em operação apresentava-se em péssimo estado de trabalho. Apresentava-se com excesso de folgas na fixação das navalhas e não contava com a rigidez necessária para realização dos testes. O uso da mesma, com certeza iria prejudicar os testes e os resultados. Foi necessário um custo extra de R\$ 1.244,72 de matéria-prima empregada e de 80 horas trabalhadas de usinagem, na fabricação de uma nova Matriz de Corte.

Outra dificuldade encontrada é referente a execução dos testes. Os testes em diversas vezes, tiveram que ser interrompidos pela necessidade de troca de posição das Navalhas de Corte e, quando isto era necessário, a troca era demorada. Além disso, não foi possível acompanhar o corte das barras em todos os momentos e, neste caso, ficou a cargo dos operadores.

Um problema encontrado tem como base a contagem das peças cortadas. Pelo fato que não haver um contador de peças digital, assim como a grande quantidade de peças cortadas com cada tipo de navalha, o número de peças cortadas foi calculado como média de peças cortadas por hora, multiplicado pelo número de horas trabalhadas com aquele tipo de navalha. É importante salientar que o tempo de paradas para troca de posições das navalhas foram devidamente consideradas. Por estes motivos, o número de peças cortadas apresentadas no trabalho foi calculado através de média por hora trabalhada. O cálculo foi realizado fazendo a contagem durante um período de uma hora, multiplicando-se pelos números de horas trabalhadas, porém quando do momento de alguma parada, seja por mudança de posição dos cortes ou parada para alguma análise, o tempo parado foi descontado e neste caso, é calculado o número de peças por hora.

Um dos problemas mais importantes apresentados neste trabalho de pesquisa trata-se a respeito do critério de descarte das Navalhas de Corte. Este critério é basicamente definido por uma análise visual tanto das deformações apresentadas nas barras cortadas, tanto no aspecto visual das Navalhas de Corte após o uso. A análise de descarte foi definido em conjunto com os operadores e encarregado de produção. Para o descarte das Navalhas de Corte, além de uma possível ruptura (se acontecer), este baseado nas condições de corte das

barras, por exemplo, fazendo com que as extremidades estejam amassadas prejudicando a condição dimensional. Além disso, uma deformação nos rasgos pode fazer com que haja amassamento nas barras, conseqüentemente, as grampos serão produzidos deformados.

Referente à não execução de alguns testes que haviam sido programados, estão relacionados a dois fatores, o primeiro pela economia de tempo na execução dos testes e em segundo, pela constatação que não haveria necessidade de realização dos experimentos, a partir de análise resultados encontrados em testes anteriores e que estes não trariam melhores resultados em relação aos já obtidos. Em alguns casos, para o mesmo material fica evidenciado que uma redução de dureza terá como conseqüência durabilidades inferiores, porque os testes comprovam que com a diminuição da dureza, as navalhas têm maior desgaste.

O intervalo de durezas escolhidos para os testes, segue recomendação da literatura e dos fabricantes de materiais para navalhas de corte para tal tipo de trabalho e esforço necessário, sendo sugerido durezas entre 50 e 62 HRC, sendo o limite superior, aquele que o aço pode atingir após o tratamento térmico. Logo, para que se tivesse uma boa avaliação da melhor situação de projeto, dividiu-se os intervalos de dureza para poder após os testes determinar qual a melhor faixa de dureza para a situação estudada.

Uma grande dificuldade encontrada na prática industrial em situações similares, está em encontrar a melhor relação entre a dureza e a tenacidade, do material: muito mole, acelera o desgaste, mas garante resistência ao impacto e vibrações de serviço; muito duro, garante melhor vida ao desgaste, mas reduz a vida por vibrações e impactos. Além disto, todos os aços utilizados têm características similares (de aços ferramentas), mas cada um deles apresenta características particulares que podem mudar os resultados. Além disso, o tratamento térmico tem extrema influência nos resultados obtidos, não só pela dureza que produz nas peças, mas também pelo estado de tensões internas (residuais) entre as fases presentes na microestrutura obtida, fazendo que em casos idênticos de dureza e tipo de aço, possamos ter resultados diferentes.

Um dos piores casos de durabilidade das Navalhas de Corte foi para o aço AISI H13, independente da dureza utilizada. Mesmo este aço ser sugerido para navalhas e matrizes, este aço tem como principal peculiaridade o uso em trabalhos em que se necessite uma resistência em temperaturas elevadas. Analisando sua composição química, os altos teores de tungstênio e principalmente o vanádio, fazem com que tenha esta característica de suportar a altas temperaturas.

Contudo, para utilização das Navalhas de Corte em aço AISI S1, foram obtidos os melhores resultados para dureza de 56 HRC. Este aço tem como particularidade o uso em peças em que se necessite de alta tenacidade, visto o corte ser através de pancadas da prensa, fazendo com que o aço tenha capacidade de suportar impacto e vibrações sem que haja quebra da ferramenta. Comparando os testes 7 e 9, com base na utilização do mesmo aço (AISI S1), mostra que nem sempre aquele que possui a maior dureza terá como consequência o melhor resultado.

Em relação à situação que estava sendo usada, ou seja, a utilização do aço AISI D6, com dureza entre 60 e 62 HRC, não estava em desacordo com o que a literatura recomenda e, através dos testes realizados ficou evidenciado que se obtém alguns bons resultados, visto que se trata de um corte a frio, sendo este aço amplamente usado para este tipo de trabalho.

Analisando a tabela 11 que se refere ao resumo dos testes realizados, para o teste 2, utilizado em aço AISI D6 com dureza de 59 HRC e que foi cortada cerca de 90 mil peças, foi o único caso em que não foi possível usar os 16 rasgos possíveis da Navalha de Corte. Conforme foi apresentado no item 4.2, a navalha superior apresentava-se em péssimo estado de uso, logo, mesmo tendo a possibilidade do uso da navalha inferior, não poderiam ser continuados os cortes, as operações de corte ficaram prejudicadas.

## 7 CONCLUSÕES

Com base no exposto na formulação do problema e na revisão bibliográfica; e tendo em vista resultados e discussão apresentados, conclui-se que:

1) A metodologia de teste proposta se mostrou adequada para a prática industrial, no processo de corte das barras de grampos ferroviários. Os resultados foram validados e estão em prática, cumprindo os objetivos propostos no trabalho.

2) De todos os materiais selecionados para análise, escolhidos de acordo com as recomendações e especificações de dureza conhecidas pela literatura e fabricantes de aços para este tipo de trabalho, o que se mostrou mais adequado para uso foi o aço AISI S1 com dureza de 56 HRC que produziu 150 mil peças na sua vida útil.

3) A fabricação esmerada das navalhas foi recompensada porque se conseguiu manter todas as exigências de acabamentos e tolerâncias dimensionais do projeto da ferramenta, e conseqüentemente do grampo produzido. Houve ganho em qualidade dimensional no grampo forjado.

4) A eliminação de folgas e desgastes dos testes pela construção de uma nova Matriz de Corte foi acertada, pois permitiu comparar melhor o desempenho dos diversos materiais e faixas de dureza, retirando estes efeitos indesejáveis no processo de produção.

5) A produtividade e a qualidade dos grampos produzidos foram consideravelmente melhoradas com o emprego dos resultados obtidos na construção da ferramenta otimizada, validando o esforço empregado no estudo.

6) Através da realização do teste 1, na qual trata-se da situação antiga, as peças eram fabricadas em aço AISI D6, com dureza entre 60 e 62 HRC, foi possível cortar cerca de 100 mil peças com o mesmo par de navalhas.

7) Estes resultados foram satisfatórios para a empresa interessada e o projeto da nova ferramenta foi validado. O aço AISI S1 tem como peculiaridade o uso em peças em que se necessita de alta tenacidade, sendo este requisito um fator adequado às condições de corte.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR14724**: Informação e documentação - Trabalhos acadêmicos - Apresentação. 2. ed. Rio de Janeiro: 2005.

BACK, N. Metodologia de Projeto de Produtos Industriais. Guanabara Dois, 1983.

BAXTER, Mike. Projeto de Produto – Guia Prático para o desenvolvimento de novos produtos. São Paulo. Edgard Blucher, 2002.

BOTHROYD, G. & DEWHURST, P. Product Design for Assembly.

BRALLA, J. e outros. Handbook of Product Design for Manufacturing.

CHIAVERINI, Vicente. Aços e Ferros Fundidos. São Paulo. Makron Books, 1998.

CHIAVERINI, Vicente. Tecnologia Mecânica. Volume 1, 2ª edição. São Paulo. Editora McGraw-Hill, 1986.

COLLINS, J. A. Projeto Mecânico de Elementos de Máquinas. Editora LTC, 2006.

COLPAERT, Hubertus. Metalografia dos produtos siderúrgicos comuns. São Paulo. Editora Edgard Blucher Ltda, 1997.

CPTM – Companhia Paulista de Trens Metropolitanos. ET Especificação Técnica. Grampo Elástico Tipo Deenik. Elaborado por: Eng. José Augusto Lorga. 12/11/2004.

GARRAT, J. Design And Technology. Cambridge Press University, 1996.

MITSUBISHI MATERIALS – Catalago Geral 2007-2008. Ferramentas de Torneamento. Ferramentas Rotativas. Soluções em Fixações.

NORTON, Robert L. Machine Design. Prentice Hall, 1998.

PAHL, G. & BEITZ, W. Projeto na Engenharia. Edgard Blucher, São Paulo, 2005.

SHIGHLEY, J. E. & MISCHKE, C.R. Mechanical Eng. Design 6th McGraw Hill, 2001.

STEMMER, C. E. Projeto e construção de máquinas. Porto Alegre. Ed. Globo, 1974.

Yoshida, Shun. Engenheiro de aplicação da BRASIMET COMÉRCIO E INDÚSTRIA S.A. Seleção de Aços e tratamentos térmicos para ferramentas de conformação.

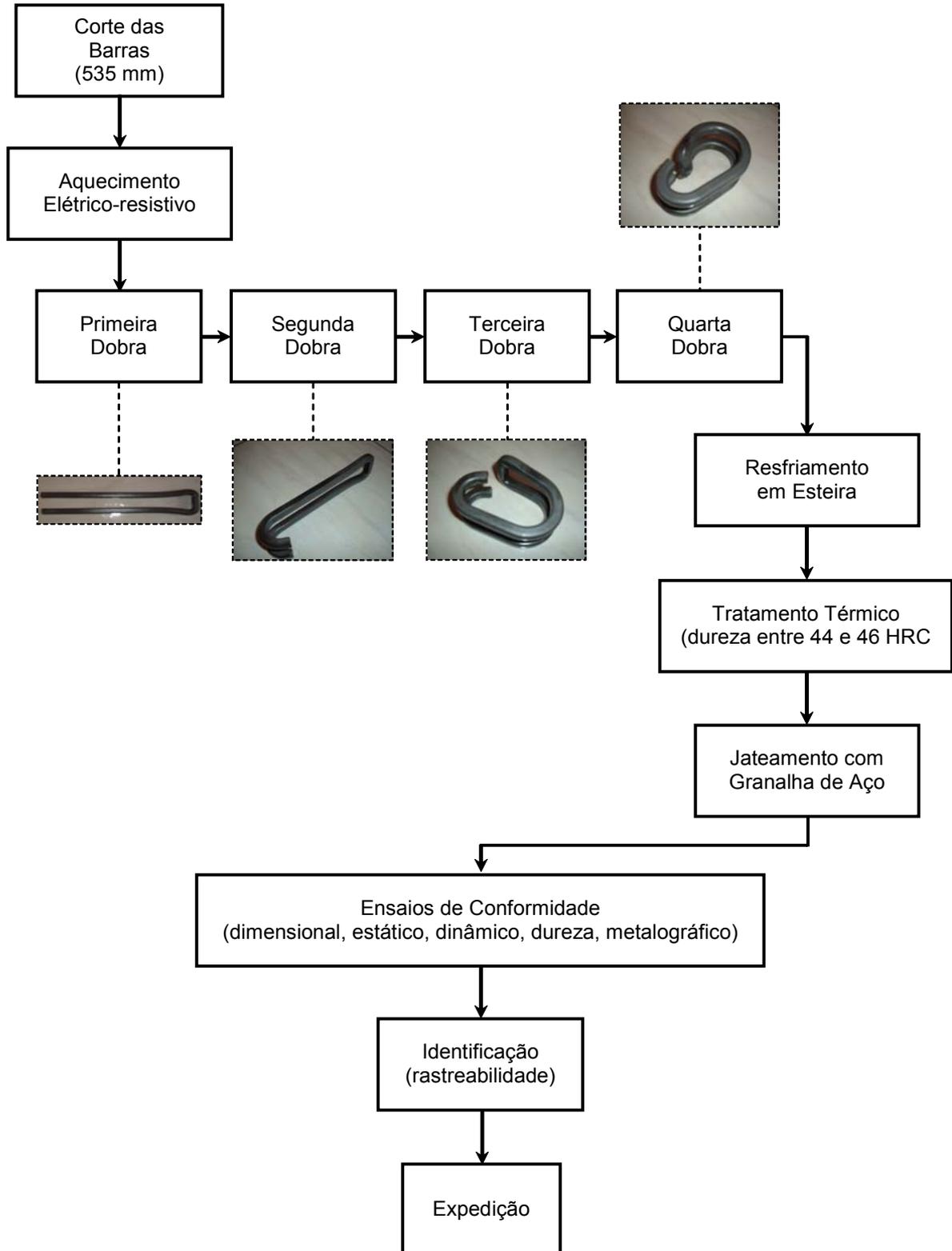
[www.bohler-brasil.com.br](http://www.bohler-brasil.com.br) (15/10/2007)

[www.favorit.com.br](http://www.favorit.com.br) (10/10/2007)

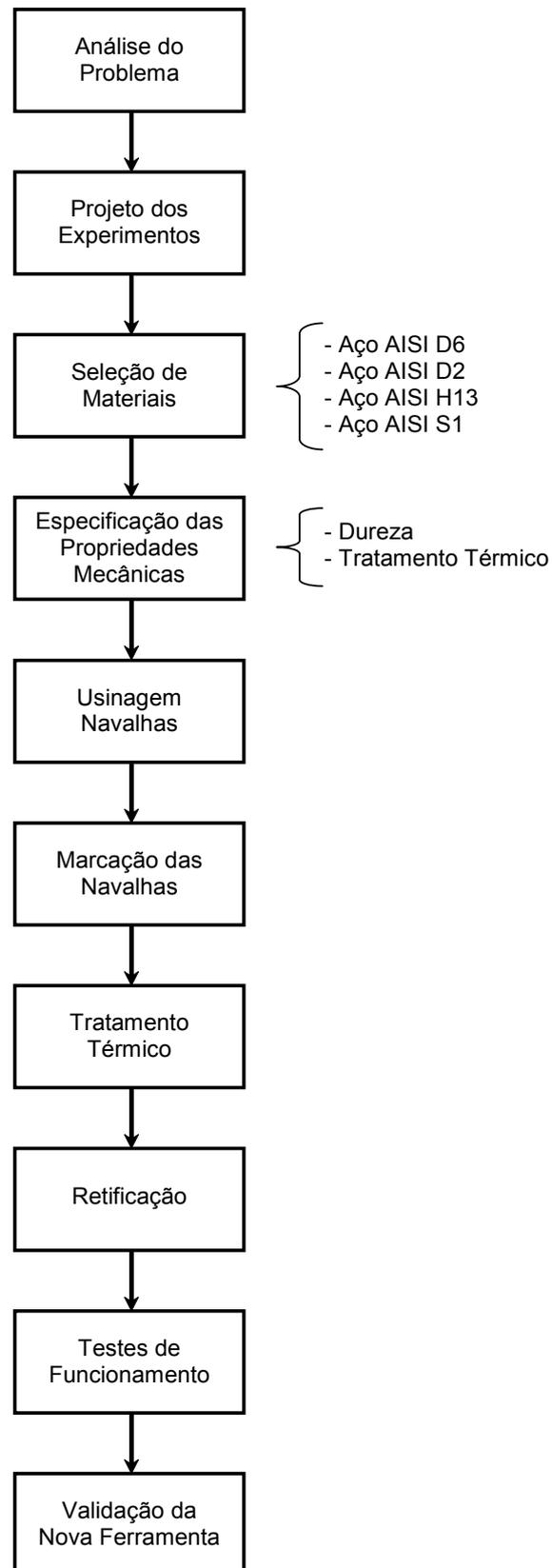
[www.inda.org.br](http://www.inda.org.br) (18/12/2007)

## **APÊNDICES**

## APÊNDICE A – Fluxograma da fabricação do Grampo Elástico DEENIK



## APÊNDICE B – Fluxograma da metodologia empregada



APÊNDICE C - Relação de matérias-prima e custos dos blocos de aço para fabricação das  
Navalhas de Corte

- **Aço AISI D6: Aços Favorit**

Custo Unitário:  $4,3\text{kg} \times \text{R\$ } 22,01/\text{kg} = \text{R\$ } 95,00$

Custo Total:  $\text{R\$ } 95,00 \times 8 \text{ peças} = \text{R\$ } 760,00$

- **Aço AISI H13: Aços Favorit**

Custo Unitário:  $4,3\text{kg} \times \text{R\$ } 29,33/\text{kg} = \text{R\$ } 126,00$

Custo Total:  $\text{R\$ } 126,00 \times 8 \text{ peças} = \text{R\$ } 1.008,00$

- **Aço AISI D2: Aços Finos Tarumã Ltda**

Custo Unitário:  $4,3\text{kg} \times \text{R\$ } 27,07/\text{kg} = \text{R\$ } 116,00$

Custo Total:  $\text{R\$ } 116,00 \times 8 \text{ peças} = \text{R\$ } 928,00$

- **Aço AISI S1: Aços Finos Tarumã Ltda**

Custo Unitário:  $4,3\text{kg} \times \text{R\$ } 27,42/\text{kg} = \text{R\$ } 118,00$

Custo Total:  $\text{R\$ } 118,00 \times 8 \text{ peças} = \text{R\$ } 944,00$

Para a fabricação de 32 peças para o experimento, o custo total da matéria-prima foi de R\$ 3.640,00.

APÊNDICE D - Relação de matérias-primas e custos dos blocos de aço para fabricação da Matriz de Corte

Abaixo, a relação de chapas em aço SAE 1020:

- 2" (50,80 mm) X 355 mm X 315 mm - 1 peça; = R\$ 234,08 por peça;
- 2" (50,80 mm) X 75 mm X 185 mm - 1 peça; = R\$ 30,90 por peça;
- 2" (50,80 mm) X 445 mm X 355 mm - 1 peça; = R\$ 329,20 por peça;
- 2" (50,80 mm) X 95 mm X 185 mm - 1 peça; = R\$ 38,60 por peça;
- 1 1/4" (31,75 mm) X 105 mm X 45 mm - 1 peça; = R\$ 6,98 por peça;
- 1" (25,40 mm) X 110 mm X 45 mm - 1 peça; = R\$ 5,85 por peça;
- 1" (25,40 mm) X 180 mm X 45 mm - 1 peça; = R\$ 9,40 por peça;
- 1 1/4" (31,75 mm) X 555 mm X 80 mm - 2 peças; = R\$ 60,45 por peça;
- 2" (50,80 mm) X 195 mm X 127 mm - 1 peça; = R\$ 53,65 por peça;
- 7/8" (22,22 mm) X 148 mm X 195 mm - 1 peça; = R\$ 26,65 por peça;
- 1/4" (6,35 mm) X 315 mm X 180 mm - 2 peças; = R\$ 12,35 por peça;
- 1/4" (6,35 mm) X 150 mm X 130 mm - 2 peças; = R\$ 4,35 por peça;
- 1/4" (6,35 mm) X 120 mm X 180 mm - 1 peça; = R\$ 4,80 por peça;
- 1/4" (6,35 mm) X 110 mm X 225 mm - 2 peças; = R\$ 5,50 por peça;
- 1/4" (6,35 mm) X 130 mm X 225 mm - 1 peça; = R\$ 6,45 por peça.

**Total de chapas em SAE 1020: R\$ 911,86**

Abaixo a relação de outros materiais empregados na fabricação da Matriz de Corte:

- Aço D6 bloco retangular - 25 mm X 35 mm X 180 mm - 1 peça = R\$ 25,45 por peça;
- Aço D6 bloco retangular - 23 mm X 35 mm X 195 mm - 1 peça = R\$ 25,35 por peça;
- Aço D6 bloco retangular - 30 mm X 97 mm X 185 mm - 1 peça = R\$ 86,98 por peça;
- Aço D6 bloco retangular - 30 mm X 43 mm X 135 mm - 1 peça = R\$ 28,14 por peça;

- Aço SAE 8640 Laminado - Red. 57,15 mm X 210 mm - 2 peças = R\$ 29,91 por peça;
- Aço SAE 8640 Laminado - Red. 76,20 mm X 153 mm - 2 peças = R\$ 38,75 por peça;
- Aço SAE 1045 Laminado - Red. 31,75 mm X 120 mm - 2 peças = R\$ 3,13 por peça;
- Aço SAE 1045 Laminado - Red. 25,40 mm X 88 mm - 2 peças = R\$ 1,47 por peça;
- Aço SAE 1045 Laminado - Red. 44,45 mm X 103 mm - 1 peça = R\$ 5,27 por peça.

**Total de aços diversos: R\$ 317,71**

**Total de matéria-prima utilizada na fabricação da Matriz = R\$ 1.244,72**

APÊNDICE E – Relação de matéria-prima e custos dos blocos de aço para fabricação de Navalhas de Corte para teste 12

- **Aço AISI S1: Aços Favorit**

- Custo Unitário:  $4,3\text{kg} \times \text{R\$ } 28,72/\text{kg} = \text{R\$ } 123,5$
- Custo Total:  $\text{R\$ } 123,50 \times 2 \text{ peças} = \text{R\$ } 247,00$

Os preços na aquisição da compra da matéria-prima foram acrescidos de 4,5% em virtude da mudança de fornecedor, visto a necessidade de anteciparmos a entrega das peças. Em primeiro momento, as peças foram compradas na empresa Aços Finos Tarumã Ltda, enquanto que neste momento, as peças foram compradas na empresa Aços Favorit. Para a fabricação deste par, foi necessário em torno de 10 horas de usinagem. Após a fabricação destes pares, as peças foram novamente encaminhadas para realização do tratamento térmico. O custo para realização do tratamento térmico foi de R\$ 24,00.

## APÊNDICE F – Custo total empregado na fabricação e tratamento térmico

- CUSTO TOTAL DE MATÉRIA-PRIMA (FABRICAÇÃO DAS NAVALHAS DE CORTE E MATRIZ DE CORTE):

**R\$ 5.116,57**

- CUSTO TOTAL DE TRATAMENTO TÉRMICO (FABRICAÇÃO DAS NAVALHAS DE CORTE E MATRIZ DE CORTE):

**R\$ 791,86**

- CUSTO TOTAL EMPREGADO NA MATÉRIA-PRIMA E TRATAMENTO TÉRMICO:

**R\$ 5.908,43**

## **ANEXOS**

## ANEXO A – Certificado de qualidade do aço AISI D6, fornecido pela Aços Favorit.

		ACOS FAVORIT DISTRIBUIDORA LTDA AV. FREDERICO AUGUSTO RITTER, 2570 CEP: 94.930-000 - DISTRITO INDUSTRIAL - CACHOEIRINHA FONE: (51) 3470-9000 - FAX: (51) 3471-7436 CNPJ: 92.216.209/0001-05 - INSC. EST.: 177/0103446		<b>CERTIFICADO DE QUALIDADE</b> <b>QUALITY CERTIFICATE</b>  <b>Nº 287102/003</b>					
CLIENTE / CUSTOMER									
MET JOPER LTDA									
Produto / Product ACO AISID6 BLOCO 133.000 x 78.000 x 0.048				I. L. / Batch F37725					
Nota Fiscal / Invoice Nº 287102		Data / Date 16/03/2007		Peso / Weight (Kg) 35.000					
Corrida / Heat B10100									
Análise Química / Chemical Composition									
C	Si	Mn	P	S	W	Cr	V	Mo	Cu
2.0600	0.3300	0.2200	0.0260	0.0040	0.6700	11.4200	0.0600	0.0600	0.1300
Al									
0.0190									
Propriedades Mecânicas / Mechanical Prop									
Dureza Hardness HB	Limite Resistência Tensile Strength MPa	Limite Escoamento Yield Point MPa	Alongamento Elongation %	Estricção Reduction of Area %	Tam. Grão Austenítico Austenitic Grain Size ASTM				
207									
Observações / Observation Ni:0.3;W:0.67;Ti:0.003;				 Gelson Luis Telles Jung Controle de Qualidade Quality Control					
<b>CÓPIA FIEL DO CERTIFICADO ORIGINAL FORNECIDO PELA USINA</b> COPY OF THE ORIGINAL CERTIFICATE PROVIDED BY THE MILL CACHOEIRINHA, 17 DE SETEMBRO DE 2007									

ANEXO B – Certificado de qualidade em aço AISI D6, com dureza de 60 HRC, fornecido pela Metalécnica Metalúrgica Ltda (teste 1).



**METALÉCNICA**  
Tratamento Térmico de Metais

CERTIFICADO DE QUALIDADE

Número do Certificado: 156032	Data: 18/9/2007
NF de Entrada: 5121	Nome da Peça: MATRIZ
NF de Saída: 193540	Material: D 6
Nº OS: 217963	Quantidade: 2,00 PC
Cliente: METALURGICA JOPER LTDA	

Especificações

Tratamento Térmico: TÊMPERA - REVENIMENTO (250°) - REVENIMENTO (250°)

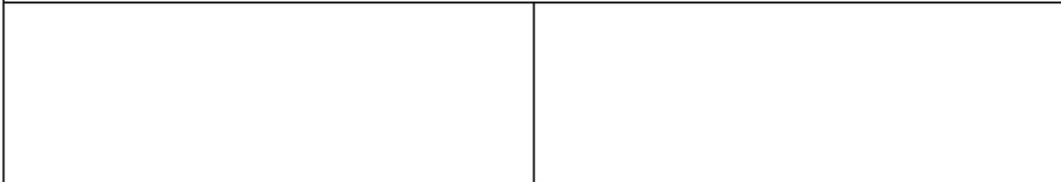
Dureza Solicitada: 59/62 HRC  
Camada Solicitada:

Dureza Verificada: 60HRC  
Camada Verificada:

Observações

Referência da Peça: 0  
Tamanho do Grão:

Imagens



CAROLINE SANTANNA  
Dept. de Controle de Qualidade  
CECÍLIA BIZOTTO

ANEXO C - Certificado de qualidade em aço AISI D6, com dureza de 60 HRC, fornecido pela Metalécnica Metalúrgica Ltda (teste 2).



**METALTÉCNICA**  
Tratamento Térmico de Metais

CERTIFICADO DE QUALIDADE

Número do Certificado: 156031	Data: 18/9/2007
NF de Entrada: 5121	Nome da Peça: MATRIZ
NF de Saída: 193540	Material: D 6
Nº OS: 217961	Quantidade: 2,00 PC
Cliente: METALURGICA JOPER LTDA	

Especificações

Tratamento Térmico: TEMPERA - REVENIMENTO (250°) - REVENIMENTO (250°)

Dureza Solicitada: 56/59 HRC  
Camada Solicitada:

Dureza Verificada: 60 HRC  
Camada Verificada:

Observações

Referência da Peça: 0  
Tamanho do Grão:

Imagens

CAROLINE SANTANNA  
Dept. de Controle de Qualidade  
CECÍLIA BIZOTTO

ANEXO D - Certificado de qualidade em aço AISI D6, com dureza de 56 HRC, fornecido pela Metalécnica Metalúrgica Ltda (teste 3).



**METALTÉCNICA**  
Tratamento Térmico de Metais

CERTIFICADO DE QUALIDADE

Número do Certificado:156030	Data:18/9/2007
NF de Entrada: 5121	Nome da Peça:MATRIZ
NF de Saída: 193540	Material:D 6
Nº OS: 217965	Quantidade:2,00 PC
Cliente:METALURGICA JOPER LTDA	

Especificações

Tratamento Térmico: TEMPERA - REVENIMENTO (450°) - REVENIMENTO (500°)

Dureza Solicitada: 53/56 HRC  
Camada Solicitada:

Dureza Verificada: 56 HRC  
Camada Verificada:

Observações

Referência da Peça:0  
Tamanho do Grão:

Imagens

CAROLINE SANTANNA  
Dept. de Controle de Qualidade  
CECILIA BIZOTTO

ANEXO E - Certificado de qualidade em aço AISI D6, com dureza de 50 HRC, fornecido pela Metalécnica Metalúrgica Ltda (teste 4).



**METALTÉCNICA**  
Tratamento Térmico de Metais

CERTIFICADO DE QUALIDADE

Número do Certificado:156029	Data:18/9/2007
NF de Entrada:5121	Nome da Peça:MATRIZ
NF de Saída:193540	Material:D 6
Nº OS: 217962	Quantidade:2,00 PC
Cliente:METALURGICA JOPER LTDA	

Especificações

Tratamento Térmico: TEMPERA - REVENIMENTO (520°) - REVENIMENTO (540°)

Dureza Solicitada: 50/53 HRC  
Camada Solicitada:

Dureza Verificada: 50HRC  
Camada Verificada:

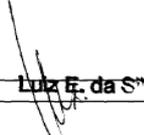
Observações

Referência da Peça:0  
Tamanho do Grão:

Imagens

CAROLINE SANTANNA  
Dept. de Controle de Qualidade  
CECILIA BIZOTTO

ANEXO F - Certificado de qualidade do aço AISI D2, fornecido pela Aços Finos Tarumã Ltda

AÇOS FINOS TARUMÃ LTDA		AÇOS FINOS TARUMÃ LTDA.		059638		
		AV MARGINAL DIREITA DO TIETÊ, 952 - VILA JAGUARA - CEP 05118-100 - SÃO PAULO - SP FONE: (11) 3621-9000 - FAX: (11) 3621-9020 C.N.P.J.: 02.504.770/0001-05 - INSCRIÇÃO: 115.248.440.111 e-mail: acostaruma@acostaruma.com.br				
<b>CERTIFICADO DE QUALIDADE</b>						
CLIENTE: METALURGICA JOPER LTDA		DATA: 18/05/2007		PEDIDO: VERBAL/		
NOTA FISCAL: 40035						
<b>COMPOSIÇÃO QUÍMICA</b>						
ITENS	1º ITEM	2º ITEM	3º ITEM	4º ITEM	5º ITEM	
MATERIAL	S1	D2				
Nº CORRIDA	4826007	5501637				
BITOLA	CH 135.00X 80.00X 50	CH 135.00X 80.00X 50				
ACABAMENTO	FOR	FOR				
CARBONO	0.490	1.500				
MANGANÊS	0.310	0.320				
SILÍCIO	0.970	0.420				
FÓSFORO	0.010	0.029				
ENXOFRE	0.003	0.001				
CROMO	1.130	11.900				
NÍQUEL	0.100	0.320				
MOLIBDÊNIO	0.220	0.820				
VANADIO	0.170	0.800				
TUNGSTÊNIO	1.650	0.050				
<b>PROPRIEDADES MECÂNICAS</b>						
LIMITE RESISTÊNCIA	LIMITE ESCOAMENTO	ESTRICAÇÃO (Redução de Área)	ALONGAMENTO	DUREZA	RESILIÊNCIA	
					Temperatura	Kgm/cm² ( )
kg/mm² ( )	kg/mm² ( )	%	%	HB ( )	°C	Kjcm² ( )
N/mm² ( )	N/mm² ( )			RC ( )		
0.000	0.000	0.000	0.000		0.000	0.000
TRATAMENTO TÉRMICO:						
OBS:						
2. VIA						
						
DATA: 25/04/2008		_____ GARANTIA DA QUALIDADE				

ANEXO G - Certificado de qualidade em aço AISI D2, com dureza de 60 HRC, fornecido pela Metalécnica Metalúrgica Ltda (teste 5).



**METALÉCNICA**  
Tratamento Térmico de Metais

CERTIFICADO DE QUALIDADE

Número do Certificado: 156044	Data: 18/9/2007
NF de Entrada: 5130	Nome da Peça: PEÇAS
NF de Saída: 196156	Material: D2
Nº OS: 227994	Quantidade: 2,00 PC
Cliente: METALURGICA JOPER LTDA	

Especificações

Tratamento Térmico: TÊMPERA - REVENIMENTO (520°) - REVENIMENTO (500°) - REVENIMENTO (500°)

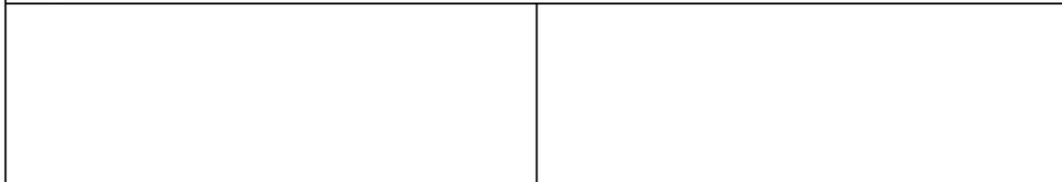
Dureza Solicitada: 59/62 HRC  
Camada Solicitada:

Dureza Verificada: 60HRC  
Camada Verificada:

Observações

Referência da Peça: 0  
Tamanho do Grão:

Imagens



CAROLINE SANTANNA  
Dept. de Controle de Qualidade  
CECILIA BIZOTTO

ANEXO H - Certificado de qualidade em aço AISI D2, com dureza de 59 HRC, fornecido pela Metalécnica Metalúrgica Ltda (teste 6).



**METALÉCNICA**  
Tratamento Térmico de Metais

CERTIFICADO DE QUALIDADE

Número do Certificado: 156038	Data: 18/9/2007
NF de Entrada: 5130	Nome da Peça: PEÇAS
NF de Saída: 196156	Material: D2
Nº OS: 227996	Quantidade: 2,00 PC
Cliente: METALURGICA JOPER LTDA	

Especificações

Tratamento Térmico: TEMPERA - REVENIMENTO (520°) - REVENIMENTO (500°) - REVENIMENTO (500°)

Dureza Solicitada: 56/59 HRC  
Camada Solicitada:

Dureza Verificada: 59 HRC  
Camada Verificada:

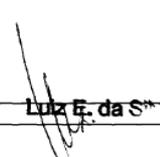
Observações

Referência da Peça: 0  
Tamanho do Grão:

Imagens

CAROLINE SANTANNA  
Dept. de Controle de Qualidade  
CECÍLIA BIZOTTO

ANEXO I - Certificado de qualidade do aço AISI S1, fornecido pela Aços Finos Tarumã Ltda.

		<b>AÇOS FINOS TARUMÃ LTDA.</b> AV. MARGINAL DIREITA DO TIETÊ, 952 - VILA JAGUARA - CEP 05118-100 - SÃO PAULO - SP FONE: (11) 3621-9000 - FAX: (11) 3621-9020 C.N.P.J.: 02.504.770/0001-05 - INSCRIÇÃO: 115.248.440.111 e-mail: acostaruma@acostaruma.com.br		<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;">059638</div>		
<b>CERTIFICADO DE QUALIDADE</b>						
CLIENTE: METALURGICA JOPER LTDA NOTA FISCAL: 40035		DATA: 18/05/2007		PEDIDO: VERBAL/		
<b>COMPOSIÇÃO QUÍMICA</b>						
ITENS	1º ITEM	2º ITEM	3º ITEM	4º ITEM	5º ITEM	
MATERIAL	S1	D2				
Nº CORRIDA	4826007	3501637				
BITOLA	CH 135.00X 80.00X 50	CH 135.00X 80.00X 50				
ACABAMENTO	FOR	FOR				
CARBONO	0.490	1.500				
MANGANÊS	0.310	0.320				
SILÍCIO	0.970	0.420				
FÓSFORO	0.010	0.029				
ENXOFRE	0.003	0.001				
CROMO	1.130	11.200				
NÍQUEL	0.100	0.320				
MOLIBDÊNIO	0.220	0.820				
VANADIO	0.170	0.800				
TUNGSTÊNIO	1.650	0.050				
<b>PROPRIEDADES MECÂNICAS</b>						
LIMITE RESISTÊNCIA	LIMITE ESCOAMENTO	ESTRICAÇÃO (Redução de Área)	ALONGAMENTO	DUREZA	RESILIÊNCIA	
kg/mm² ( ) N/mm² ( )	kg/mm² ( ) N/mm² ( )	%	%	HB ( ) RC ( )	Temperatura °C	Kgm/cm² ( ) kJcm² ( )
0.000	0.000	0.000	0.000		0.000	0.000
TRATAMENTO TÉRMICO:						
OBS:  2. VIA						
DATA: 25/04/2008		 <b>Luiz E. da S.</b>				
GARANZIA DA QUALIDADE						

ANEXO J - Certificado de qualidade em aço AISI S1, com dureza de 59 HRC, fornecido pela  
Metaltécnica Metalúrgica Ltda (teste 7).



**METALTÉCNICA**  
Tratamento Térmico de Metais

CERTIFICADO DE QUALIDADE

Número do Certificado: 156042	Data: 18/9/2007
NF de Entrada: 5130	Nome da Peça: PEÇAS
NF de Saída: 196157	Material: VW-3
Nº OS: 228007	Quantidade: 2,00 PC
Cliente: METALURGICA JOPER LTDA	

Especificações

Tratamento Térmico: TÊMPERA - REVENIMENTO (180°) - REVENIMENTO (200°)

Dureza Solicitada: 59/62 HRC  
Camada Solicitada:

Dureza Verificada: 59 HRC  
Camada Verificada:

Observações

Referência da Peça: 0  
Tamanho do Grão:

Imagens

CAROLINE SANTANNA  
Dept. de Controle de Qualidade  
CECÍLIA BIZOTTO

ANEXO L - Certificado de qualidade em aço AISI S1, com dureza de 59 HRC, fornecido pela  
Metaltécnica Metalúrgica Ltda (teste 8).



**METALTÉCNICA**  
Tratamento Térmico de Metais

CERTIFICADO DE QUALIDADE

Número do Certificado: 156041	Data: 18/9/2007
NF de Entrada: 5130	Nome da Peça: PEÇAS
NF de Saída: 196157	Material: VW-3
Nº OS: 228009	Quantidade: 2,00 PC
Cliente: METALURGICA JOPER LTDA	

Especificações

Tratamento Térmico: TÊMPERA - REVENIMENTO (180°) - REVENIMENTO (250°)

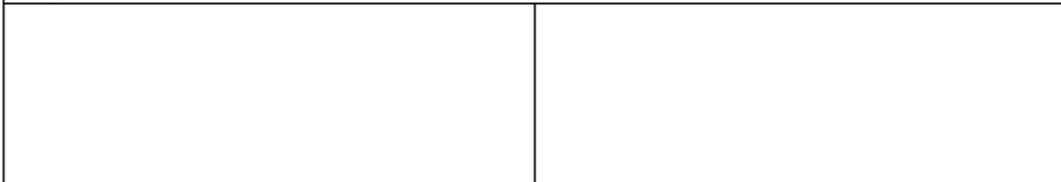
Dureza Solicitada: 56/59 HRC  
Camada Solicitada:

Dureza Verificada: 59HRC  
Camada Verificada:

Observações

Referência da Peça: 0  
Tamanho do Grão:

Imagens



CAROLINE SANTANNA  
Dept. de Controle de Qualidade  
CECILIA BIZOTTO

ANEXO M - Certificado de qualidade em aço AISI S1, com dureza de 56 HRC, fornecido pela Metaltécnica Metalúrgica Ltda (teste 9).



**METALTÉCNICA**  
Tratamento Térmico de Metais

CERTIFICADO DE QUALIDADE

Número do Certificado: 156037	Data: 18/9/2007
NF de Entrada: 5130	Nome da Peça: PEÇAS
NF de Saída: 196157	Material: WW-3
Nº OS: 228008	Quantidade: 2,00 PC
Cliente: METALURGICA JOPER LTDA	

Especificações

Tratamento Térmico: TÊMPERA - REVENIMENTO (180°) - REVENIMENTO (250°) - REVENIMENTO (400°)

Dureza Solicitada: 53/56 HRC  
Camada Solicitada:

Dureza Verificada: 56HRC  
Camada Verificada:

Observações

Referência da Peça: 0  
Tamanho do Grão:

Imagens

CAROLINE SANTANNA  
Dept. de Controle de Qualidade  
CECILIA BIZOTTO



ANEXO O - Certificado de qualidade em aço AISI H13, com dureza de 57 HRC, fornecido pela Metaltécnica Metalúrgica Ltda (teste 10).



**METALTÉCNICA**  
Tratamento Térmico de Metais

CERTIFICADO DE QUALIDADE

Número do Certificado:156033	Data:18/9/2007
NF de Entrada: 5130	Nome da Peça:PEÇAS
NF de Saída: 196156	Material:H-13
Nº OS: 228003	Quantidade:2,00 PC
Cliente:METALURGICA JOPER LTDA	

Especificações

Tratamento Térmico: TEMPERA - REVENIMENTO (520°) - REVENIMENTO (500°) - REVENIMENTO (500°)

Dureza Solicitada: 59/62 HRC  
Camada Solicitada:

Dureza Verificada: 57HRC  
Camada Verificada:

Observações

Referência da Peça:0  
Tamanho do Grão:

Imagens

CAROLINE SANTANNA  
Dept. de Controle de Qualidade  
CECILIA BIZOTTO

ANEXO P - Certificado de qualidade em aço AISI H13, com dureza de 56 HRC, fornecido pela Metaltécnica Metalúrgica Ltda (teste 11).



**METALTÉCNICA**  
Tratamento Térmico de Metais

CERTIFICADO DE QUALIDADE

Número do Certificado: 156045	Data: 18/9/2007
NF de Entrada: 5130	Nome da Peça: PEÇAS
NF de Saída: 196156	Material: H-13
Nº OS: 228001	Quantidade: 2,00 PC
Cliente: METALURGICA JOPER LTDA	

Especificações

Tratamento Térmico: TEMPERA - REVENIMENTO (520°) - REVENIMENTO (500°) - REVENIMENTO (500°)

Dureza Solicitada: 56/59 HRC  
Camada Solicitada:

Dureza Verificada: 56HRC  
Camada Verificada:

Observações

Referência da Peça: 0  
Tamanho do Grão:

Imagens

CAROLINE SANTANNA  
Dept. de Controle de Qualidade  
CECÍLIA BIZOTTO

ANEXO Q – Especificação na matéria-prima utilizada na fabricação dos Grampos Elásticos  
DEENIK.

<b>mat</b> FIXAÇÕES ELÁSTICAS MULTI-TECH		<b>ESPECIFICAÇÃO DE MATÉRIA-PRIMA</b> BT-132					
<b>BITOLA : <math>\varnothing</math> 12 mm</b>		<input type="checkbox"/> DIN 55 SI 7 <input type="checkbox"/> XX 9261					
<b>COMPOSIÇÃO QUÍMICA</b>							
<b>55 SI 7</b>	<b>ELEMENTOS</b>	<b>C</b>	<b>SI</b>	<b>Mn</b>	<b>P</b>	<b>S</b>	
	<b>ESPECIFICAÇÃO</b>	0,82 0,90	1,80 1,80	0,70 1,00	0,048 MÁX	0,045 MÁX	
<b>XX 9261</b>	<b>ELEMENTOS</b>	<b>C</b>	<b>SI</b>	<b>Mn</b>	<b>P</b>	<b>S</b>	<b>Cr</b>
	<b>ESPECIFICAÇÃO</b>	0,88 0,88	1,70 2,20	0,70 1,00	0,08 MÁX	0,08 MÁX	0,10 0,25
<b>CARACTERÍSTICAS DIMENSIONAIS (mm)</b>							
		<b>COMPRIMENTO (55 SI 7) :</b> $5835^{+100}_{-0}$ <b>COMPRIMENTO (XX 9261) :</b> $5880^{+100}_{-0}$ <b>EMPENSO :</b> 4 mm/m <b>TORÇÃO :</b> 8°/m					
<b>CARACTERÍSTICAS METALÚRGICAS</b>							
<b>TAMANHO DO GRÃO :</b>	5 A 8	<b>NORMA ASTM E-112</b>					
<b>INCLUSÕES :</b>	MÁX 2,5 F - 1,5 G	<b>NORMA ASTM E-45</b>					
<b>DECARBONETAÇÃO :</b>	MÁX 0,15 mm (PARCIAL)						
<b>DUREZA :</b>	MÁX 380 HB						
<b>OBSERVAÇÕES :</b>							
<ol style="list-style-type: none"> <li>NÃO SE ACEITA A REMOÇÃO DE DEFETOS SUPERFICIAIS.</li> <li>ACEITA-SE ATÉ 10 % DO PESO EM BARRAS CURTAS, COM O MÍNIMO DE 3000 mm EM AMARRADOS SEPARADOS.</li> <li>O PESO MÁXIMO DO AMARRADO É DE 3000 kg.</li> <li>PONTAS COM CORTE A 90° E ISENTAS DE REBARBAS E AMASSAMENTO.</li> <li>DEFETOS SUPERFICIAIS DE NO MÁXIMO 0,15 mm.</li> <li>NO CASO DO AÇO XX-9261 NÃO É PERMITIDA A UTILIZAÇÃO DE SUCATA NA AÇARIA PARA PRODUÇÃO DO AÇO.</li> <li>O TRANSPORTE DO MATERIAL DEVE SER FEITO COBERTO COM LONA.</li> </ol>							
<b>REVISÃO :</b> 03	<b>ITENS REVISADOS :</b>	<b>ELABORADO</b>	<b>APROVADO</b>	<b>FOLHA</b>			
<b>DATA :</b> 03/12/01	<b>ALTERADA AS ESPECIFICAÇÕES</b>						



## ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 – Composição química da matéria-prima utilizada nos grampos .....	20
Tabela 2 – Plano de amostragem conforme norma NBR 5426 (1985) .....	24
Tabela 3 – Relação: Tamanho do Lote X Tamanho da Amostra .....	24
Tabela 4 – Lote submetido à aprovação para inspeção visual.....	27
Tabela 5 – Lote submetido à aprovação para ensaio estático.....	29
Tabela 6 – Lote submetido à aprovação para critério de dureza .....	30
Tabela 7 – Composição química do aço AISI D2 .....	37
Tabela 8 – Composição química do aço AISI H13 .....	39
Tabela 9 – Composição química do aço AISI S1 .....	42
Tabela 10 – Tabela resumo de seleção dos parâmetros de material nos testes .....	44
Tabela 11 – Tabela resumo dos testes realizados .....	73

# AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO DE NAVALHAS DE CORTE

por

Márcio Britto Silvano

Engenheiro Mecânico

Dissertação submetida ao Corpo Docente do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, PROMEC, da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como parte dos requisitos necessários para a obtenção do Título de:

Mestre em Engenharia

Área de Concentração: Processos de Fabricação

Orientador: Prof. Dr. Joyson Luiz Pacheco

Comissão de Avaliação:

Prof. Dr. Carlos Alexandre dos Santos

Prof. Dr. Arnaldo Rubén Gonzalez

Prof. Dr. José Antônio Ermerio Mazzaferro

Prof. Dr. Flávio José Lorini

Coordenador do Promec

Porto Alegre, Maio de 2008