

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
Escola de Engenharia

Departamento de Metalurgia

ESTUDO PARA OTIMIZAÇÃO DO PROJETO DE NAVALHA PARA CORTE A  
QUENTE DE VERGALHÃO DE 25 MILIMETROS

**Marcel Eduardo Staats**

Trabalho de Diplomação

Orientador: Professor Dr. Telmo Roberto Strohaecker

Porto Alegre  
2010

Dedico este trabalho de diplomação aos meus pais, Ditmar e Elenir, aos meus irmãos, Charley e Jacson pelo apoio e incentivo.

## AGRADECIMENTO

Aos meus pais que sempre me ajudaram e deram apoio durante toda a minha graduação.

Ao meu irmão, Charley Staats, pela sabedoria e amizade.

Ao professor Telmo Roberto Strohaecker pela orientação.

À minha namorada Eliara, pelo apoio e paciência.

Aos caros Jones Tubino, Fabiano Bertoni, Robson Brsoztek e Alexandre Baumgaertner pela ajuda no desenvolvimento deste trabalho.

Aos colegas de trabalho da Laminação 2 da Gerdau Riograndense, pela amizade e pelo companheirismo.

Aos meus grandes colegas de faculdade Álvaro Pritzel dos Santos, Guilherme Kowalski, Kevin Campos, Fernando Schaurich e Felipe Motta.

Aos meus ilustres amigos Daniel Pulcherio, Eduardo Wendling e Maciel Colli.

## SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	VI
LISTA DE TABELAS.....	VIII
LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS.....	IX
RESUMO .....	X
ABSTRACT .....	XI
<b>1.0 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
<b>2.0 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>2</b>
2.1. FLUXO DO PROCESSO .....	2
2.2. O PROCESSO DE LAMINAÇÃO .....	3
2.2.1. <i>Laminadores</i> .....	4
2.2.1.1. Programa de produção.....	4
2.2.1.2. Tipo de produto.....	5
2.2.1.3. Tipo de cadeira .....	5
2.2.1.4. Disposição das cadeiras.....	5
2.2.1.4.1. Trem aberto .....	6
2.2.1.4.2. Trem contínuo .....	6
2.2.1.4.3. Laminador da Laminação 2 da Gerdau Riograndense .....	7
2.2.1.5. Temperatura de trabalho .....	7
2.2.2. <i>Cilindros de laminação</i> .....	8
2.3. SISTEMA TOYOTA DE PRODUÇÃO.....	9
2.3.1. <i>Mecanismo de Função Produção</i> .....	10
2.3.2. <i>Processo</i> .....	10
2.3.3 <i>Just-in-Time</i> .....	11
2.3.4. <i>Autonomação</i> .....	11
2.3.5. <i>Kanban</i> .....	13
2.3.6. <i>Os sete tipos de perdas relacionadas ao processo</i> .....	13
2.3.7. <i>Troca Rápida de Ferramentas</i> .....	15

2.3.7.1. Metodologia para a Troca Rápida de Ferramentas .....	17
2.4. AÇOS .....	18
2.4.1. Aços estruturais .....	18
2.4.2. Aços ferramenta .....	21
2.4.2.1. Aço ferramenta resistente ao choque.....	23
<b>3.0 PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL .....</b>	<b>25</b>
3.1 ANÁLISE DO PROJETO ATUAL.....	25
3.2 MODELO DO PROJETO ATUAL.....	26
3.3 MODELAMENTO MATEMÁTICO DO PROJETO ATUAL.....	28
3.4 MODELO PARA AS MODIFICAÇÕES DE PROJETO .....	30
3.5 MODELAMENTO MATEMÁTICO PARA AS MODIFICAÇÕES DE PROJETO .....	31
3.6 ANÁLISE DE CUSTO E TEMPO DESPRENDIDO PARA TROCA DE NAVALHA .....	32
<b>4.0 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>33</b>
4.1 DISTRIBUIÇÃO DE TENSÕES .....	33
4.1.1 Projeto atual .....	33
4.1.2 Distribuição de tensões na modificação de projeto.....	36
4.2 ANÁLISE DE CUSTO E TEMPO .....	39
<b>5.0 CONCLUSÕES .....</b>	<b>40</b>
<b>6.0 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS .....</b>	<b>41</b>
<b>7.0 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>42</b>

## LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1	Fluxograma do processo global da Gerdau Riograndense. ....	2
Figura 2.2	Desenho esquemático de uma peça sendo laminada. ....	3
Figura 2.3	Seção transversal de um tarugo evidenciando porosidades com grãos heterogêneos em um aço fundido e a sua estrutura final com grãos homogêneos após o processo de laminação.. ....	4
Figura 2.4	Disposição dos cilindros e sentido de laminação de gaiolas típicas de trens abertos.....	6
Figura 2.5	Representação esquemática de um trem contínuo com gaiolas horizontais e verticais .....	7
Figura 2.6	Representação do layout da laminação 2 da Gerdau Riograndense.....	8
Figura 2.7	Representação do processo de laminação a quente.....	8
Figura 2.8	Desenho esquemático de um par de cilindros de laminação usinados.....	9
Figura 2.9	Estrutura do STP, ressaltado a relação entre Autonomia e Just-i-Time .....	12
Figura 2.10	O Sistema Toyota de Produção e seus elementos.....	15
Figura 2.11	Relação entre tempo e as etapas de setup. ....	17
Figura 2.12	Seção transversal de um aço CA-50 indicando uma camada externa conferida pelo tratamento térmico.....	21
Figura 2.13	Perfil representando a camada obtida pelo tratamento térmico após a laminação de um aço CA-50. Profundidade da camada 1,27mm. Aumento 50x .....	21
Figura 2.14	Microestrutura representativa de um aço AISI S1, ataque Nital, 200x .....	24
Figura 3.1	Foto representativa da tesoura rotativa de corte a quente. ....	25
Figura 3.2	Navalha de corte para vergalhões .....	26
Figura 3.3	Modelo em três dimensões do braço de acoplamento da navalha. ....	27
Figura 3.4	Modelo em três dimensões da navalha de corte .....	27
Figura 3.5	Modelo em três dimensões da cunha de fixação da navalha.....	28
Figura 3.6	Conjunto montado do projeto atual.....	28
Figura 3.7	Figura representando o conjunto com malhas do projeto atual.....	30
Figura 3.8	Modelo em três dimensões do novo modelo de navalha .....	30
Figura 3.9	Modelo em três dimensões do novo modelo de suporte .....	31
Figura 3.10	Figura representando o novo conjunto com malhas.....	32
Figura 4.1	Distribuição de tensões no conjunto do projeto atual.....	33
Figura 4.2	Distribuição de tensões na parte superior do braço de acoplamento da navalha .....	34
Figura 4.3	Distribuição de tensões na cunha de fixação da navalha .....	35

Figura 4.4	Distribuição de tensões na navalha de corte.....	35
Figura 4.5	Distribuição de tensões no novo projeto .....	36
Figura 4.6	Distribuição de tensões na nova navalha .....	37
Figura 4.7	Distribuição de tensões na parte superior do braço de acoplamento da navalha .....	37
Figura 4.8	Distribuição de tensões oriundas do torque sobre parafusos de fixação do suporte e da navalha. ....	38
Figura 4.9	Distribuição de tensões na parte superior do braço de acoplamento da navalha .....	38

## LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1	Composição química dos materiais utilizados na fabricação de cilindros de laminação -----	9
Tabela 2.2	Relação entre as classes de aços para concreto armado e o mínimo limite de escoamento ---	20
Tabela 2.3	Propriedades mecânicas exigíveis para fios e barras destinados a armaduras de concreto armado -----	20
Tabela 2.4	Habilidade dos elementos de liga em conferir características aos aços ferramenta -----	22
Tabela 2.5	Composição química do aço ferramenta S1 -----	23
Tabela 3.1	Composição química das navalhas de corte -----	26
Tabela 3.2	Tabela representando as características das malhas aplicadas as peças do conjunto. -----	39
Tabela 3.3	Tabela representando as características das malhas aplicadas as peças do conjunto -----	32

## LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

A1H1	Volume antes do passe de laminação
A2H2	Volume após o passe de laminação
V1	Velocidade antes do passe de laminação
V2	Velocidade após o passe de laminação
C	Carbono
Si	Silício
Mn	Manganês
Ni	Níquel
Cr	Cromo
Mo	Molibdênio
Co	Cobalto
W	Tungstênio
V	Vanádio
P	Fósforo
S	Enxofre
AISI	American Iron and Steel Institute
S1	Aço ferramenta resistente ao choque
GPa	Giga Pascal
N	Newton
M	Metro
Kg	Quilograma
Mm	Milímetro
STP	Sistema Toyota de Produção
JIT	Just-in-time
TRF	Troca Rápida de Ferramentas
MPa	Mega Pascal

## **RESUMO**

Este trabalho buscou analisar uma proposta para o projeto de corte de vergalhão CA50 – 25 mm, visando redução da quantidade de aço ferramenta S1 empregado e redução do tempo destinado a troca de navalha durante o processo de laminação na Gerdau Riograndense.

Foram produzidos novos modelos de navalha e suporte de acoplamento desta navalha a partir do software SolidWorks. Posteriormente, estes suportes foram simulados conforme as condições de corte no software Abacus.

Os resultados, a partir da comparação entre o projeto atual e a proposta, mostram que ocorre um aumento das distribuições de tensão na proposta de projeto, mas não a ponto de levar o material a falhar em serviço. Em relação ao tempo de troca de navalha, ocorreu uma redução apreciável do tempo de troca.

## **ABSTRACT**

This study sought to analyze a proposed project to cut rebar CA50 - 25 mm, aiming to reduce the amount of S1 tool steel used and a reduction of time devoted to exchange the razor during the lamination process at Gerdau Riograndense.

New models were produced razor and razor holder of this coupling from the SolidWorks software. Subsequently, these stands were simulated as the cutting conditions in Abacus software.

The results from the comparison between the current project proposal and show that there is an increase of stress distributions in the proposed project, but not enough to bring the material to fail in service. Regarding the exchange time knife, there was a significant reduction of changeover time.

## 1.0 INTRODUÇÃO

O aço é na atualidade um dos materiais mais versáteis se na construção de componentes, estruturas, edifícios entre outros. Existe uma enorme gama de aços produzidos pelo processo siderúrgico, dentre eles, um de grande importância para a construção civil são os vergalhões. Estes apresentam características mecânicas e metalúrgicas que potencializam seu uso para fabricação de armaduras para concreto armado.

A Gerdau Riograndense, usina siderúrgica localizada no município de Sapucaia do Sul – Rio Grande do Sul, é uma indústria multinacional pioneira no processo de produção de vergalhões para construção civil. O processo para produção deste produto é a laminação a quente e, nesta usina em questão, este produto é produzido na Laminação 2.

Com a crescente competitividade entre as empresas, a busca pelo melhor desempenho do processo visando o menor custo para produção de barras e perfis produzidos pela laminação a quente, leva a necessidade do emprego de conceitos apresentados pelo Sistema Toyota de produção. Um deles é a troca rápida de ferramentas, tendo sido apresentado por Shingo para melhorar o desempenho do processo produtivo da indústria automobilística japonesa no século passado. A troca rápida de ferramentas visa reduzir os tempos de parada das máquinas a fim de aumentar o tempo de produção.

Tendo como base o processo de laminação e a constante melhoria de processo, este trabalho tem como objetivo o estudo de melhoria relacionada ao projeto da navalha de corte do vergalhão CA50 de 25 milímetros, produzido pela Laminação 2 da Gerdau Riograndense, visando a redução do uso de aço ferramenta e a redução dos tempos de parada para troca de navalha.

## 2.0 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1. Fluxo do processo

Por definição, o processo siderúrgico é o conjunto de técnicas empregadas na produção do ferro e do aço. Na Gerdau Riograndense a aciaria que utiliza sucata como matéria-prima fornece tarugos para as laminações que são definidas como clientes internos perante o fluxo do processo. As laminações são divididas conforme seus produtos. Na Gerdau Riograndense a laminação 1 produz pequenos perfis e matéria-prima para a fábrica de pregos e para as trefilarias. Já a laminação 2 produz perfis e vergalhões. A figura 2.1 ilustra o fluxo global do processo na Gerdau Riograndense.

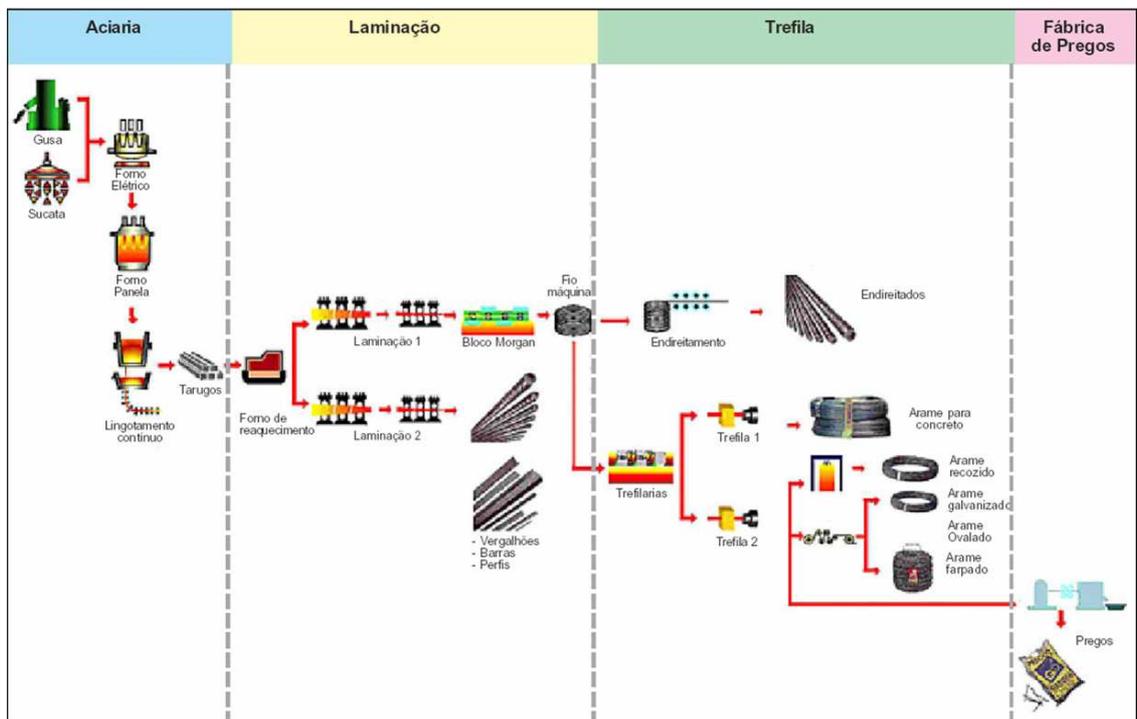


Figura 2.1 – Fluxograma do processo da Gerdau Riograndense. Fonte: Gerdau, 2004

## 2.2. O processo de laminação

A Laminação de aços é classificada como um processo de conformação mecânica em que um material de dimensões conhecidas é deformado plasticamente ao passar entre dois cilindros que giram em sentidos opostos e apresentam uma mesma velocidade superficial. A figura 2.2 apresenta uma peça de seção de entrada definida por  $A_1H_1$  e a área de saída por  $A_2H_2$  sendo laminada. Em virtude de ocorrer uma redução de área da peça devido à deformação plástica e respeitando a constância de volume teremos uma velocidade de entrada  $V_1$  e uma velocidade de saída  $V_2$  ao que definimos como “passe de laminação”(MEIRELLES 2004).

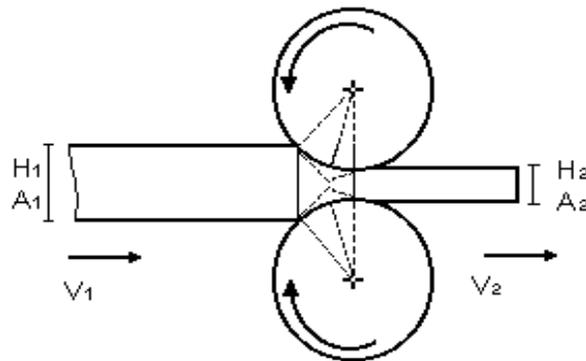


Figura 2.2 – Desenho esquemático de uma peça sendo laminada. Fonte: Gerdau, 2004.

A laminação tem como objetivo básico dar forma a barra, melhorar a estrutura interna, propriedades mecânicas e qualidade superficial (DIETER 1981). Os aspectos metalúrgicos da barra são diretamente afetados pelo processo de laminação dependendo se este for a quente ou a frio. A figura 2.3 ressalta a modificação microestrutural promovida pela laminação de um tarugo. Pode-se observar que a partir de um tarugo com porosidades, grãos colunares e grãos heterogêneos típicos de um aço fundido a laminação permite obter uma estrutura final com grãos homogêneos.

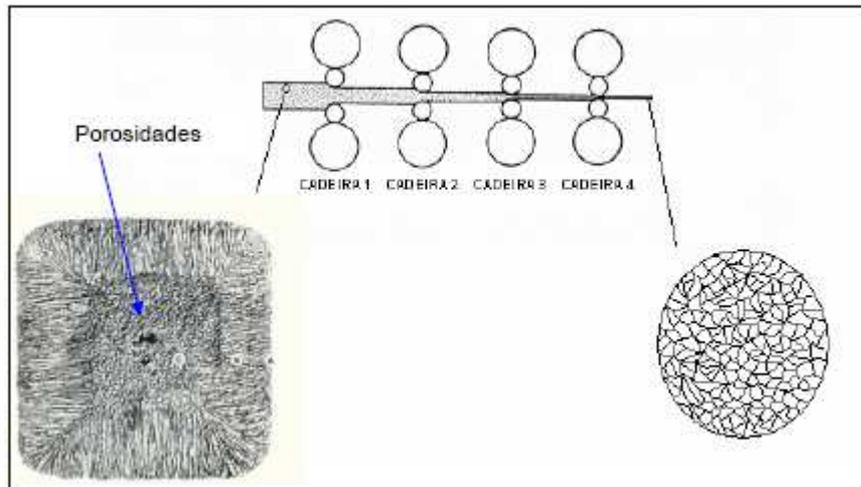


Figura 2.3 – Seção transversal de um tarugo original e a sua estrutura final com grãos homogêneos após o processo de laminação. Fonte: Elements of Rolling Practicing.

As definições em relação ao processo de laminação foram obtidas no livro Processos de Laminação: Uma introdução, Ernandes Marcos Da Silveira Rizzo, para maiores informações este deverá ser consultado.

### 2.2.1. Laminadores

Para apresentar uma classificação e definição mais detalhada de um laminador deve-se ter conhecimento de:

- Programa de produção;
- Tipo de produto;
- Tipo de cadeiras (gaiola);
- Disposição das cadeiras de trabalho;
- Temperatura de trabalho.

#### 2.2.1.1. Programa de produção

Sob o ponto de vista do programa de produção pode-se classificar o laminador como sendo:

- Laminador Primário: Também chamados laminador de semi-produtos, estes produzem placas ou blocos destinados ao trem acabador ou forjarias;
- Laminador de produto acabado: São aqueles que transformam os semi-produtos em produtos acabados como perfis, barras redondas entre outros.

#### 2.2.1.2. Tipo de produto

Este critério de avaliação se restringe aos laminadores de produtos acabados. De acordo com o tipo de produto tem-se:

- Laminadores de perfis pequenos;
- Laminadores de perfis pesados;
- Laminadores de fio-máquina;
- Laminadores de chapas grossas;
- Laminadores de tubos com costura e sem costura;
- Laminadores de esferas entre outros

#### 2.2.1.3. Tipo de cadeira

Cadeira é definida como o conjunto que compreende os cilindros de laminação, seus mancais, montantes, suportes, carcaça entre outros. Um conjunto de cadeiras compõe o trem de laminação. O critério que promove a classificação de cadeiras é quanto a número de cilindros de laminação que esta possui conforme mostra a figura 2.4. A seguir algumas das cadeiras utilizadas na laminação 2 da Gerdau Riograndense:

- Cadeiras Duo: Possuem dois cilindros acoplados podendo ser aplicada nas posições vertical e horizontal nos trens intermediário e acabador;
- Cadeiras Trio: Possuem três cilindros dispostos um sobre o outro, utilizada no trem desbastador;

#### 2.2.1.4. Disposição das cadeiras

Conforme as cadeiras de laminação são dispostas pode-se obter diferentes trens de laminação. Porém estas estão associadas ao tipo de produto a ser produzido e conseqüentemente com o numero de passes necessários para se obter as dimensões desejadas deste produto.

Existem vários tipos de trens de laminação, mas neste será dado foco especial aos trens de laminação aberto e contínuo.

#### 2.2.1.4.1. Trem aberto

Um laminador aberto possui as gaiolas dispostas aleatoriamente, sem uma especificação bem definida, dependendo do material que será produzido e do espaço físico definido. As cadeiras do trem aberto possuem diversas configurações sendo as mais comuns as cadeiras duo, duo reversíveis e as gaiolas trio. A figura 2.4 mostra os sentidos e a disposição dos cilindros nas cadeiras.

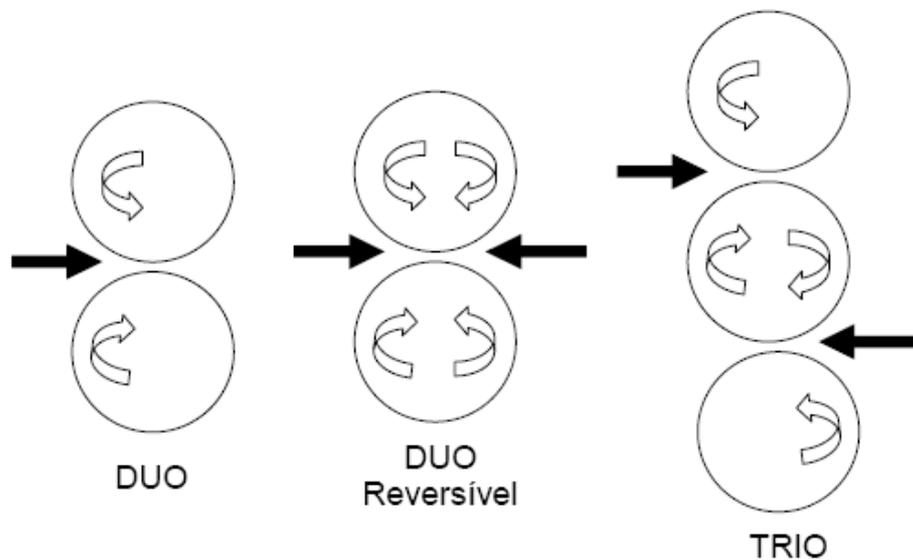


Figura 2.4 – Disposição dos cilindros e sentido de laminação de gaiolas típicas de trens abertos. Fonte: (Plentz 2009)

#### 2.2.1.4.2. Trem contínuo

Neste caso, a disposição das gaiolas é feita de forma que uma fique com certo espaçamento em um mesmo eixo de laminação. Este espaçamento é otimizado de tal forma que se tenha uma menor perda de temperatura reduzindo, assim, o consumo de energia e desgaste de cilindros. Este tipo de arranjo pode possuir cadeiras horizontais, verticais ou uma combinação destes. A figura 2.5 representa um esquema de um trem de laminação contínuo com cadeiras horizontais e verticais intercaladas.

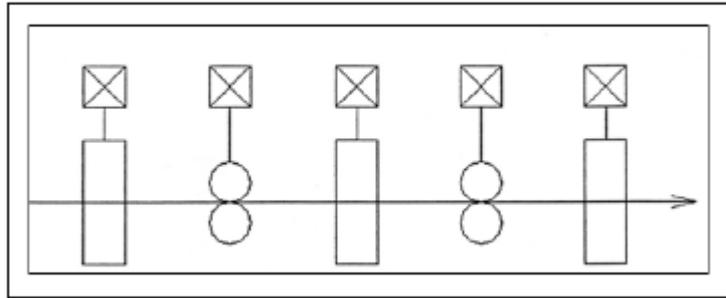


Figura 2.5 – Representação esquemática de um trem contínuo com gaiolas horizontais e verticais. Fonte: (Plentz 2009)

#### 2.2.1.4.3. Laminador da Laminação 2 da Gerdau Riograndense

O laminador da Gerdau Riograndense possui uma combinação entre trem aberto e trem contínuo, sendo o desbaste trem aberto e os trens médio e acabador contínuos. A figura 2.6 faz uma representação do layout.

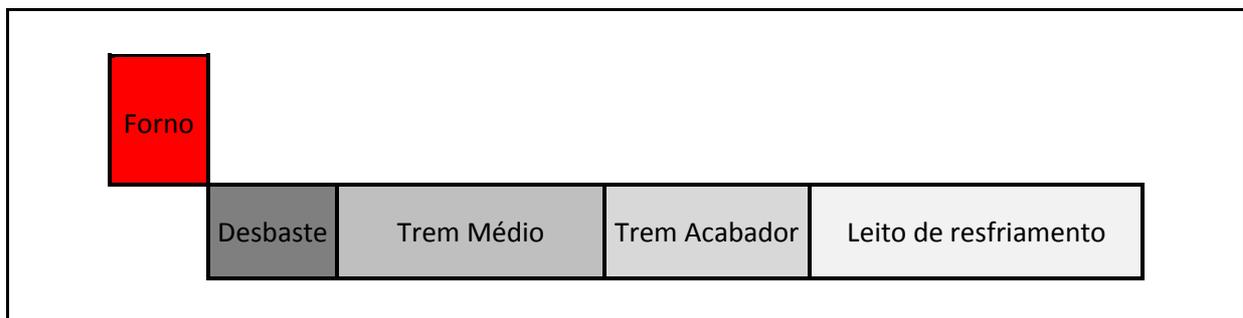


Figura 2.6 – Representação do layout da laminação 2 da Gerdau Riograndense.

#### 2.2.1.5. Temperatura de trabalho

A laminação de aços pode ser feita a quente ou a frio. No caso da laminação a quente esta é efetuada a temperaturas elevadas de tal forma que após a deformação ocorra um equilíbrio entre o encruamento e a recristalização, sendo assim o efeito do encruamento não é acumulativo se a velocidade de laminação for suficientemente baixa.

O aquecimento do aço se dá através de fornos de reaquecimento alimentados, geralmente, por gás natural ou óleo, onde os tarugos são aquecidos a temperaturas acima da austenitização. O tempo e a temperatura em que o tarugo permanece no forno irão

definir as propriedades mecânicas do aço a ser laminado. A figura 2.7 apresenta uma representação esquemática do processo de laminação a quente.

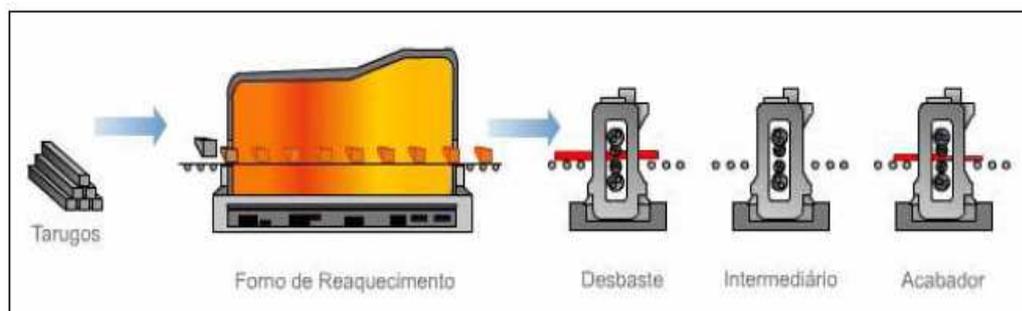


Figura 2.7 – Representação do processo de laminação a quente. Fonte: Gerdau Aços Especiais Piratini

### 2.2.2. Cilindros de laminação

Os cilindros de laminação possuem grande importância na produção em virtude de manterem contato direto com o material sendo processado além de apresentarem um elevado percentual no custo de laminação. Estes cilindros devem apresentar características especiais em função do seu uso, vale destacar:

- Resistência à formação de trincas térmicas;
- Resistência ao lascamento;
- Resistência ao desgaste;
- Resistência a impactos mecânicos.

Estas características são critérios a serem avaliados na seleção de materiais para a fabricação de cilindros. Os materiais mais utilizados são ferros fundidos, aços especiais e carbeto de tungstênio acrescido de elementos de liga, também conhecido como “metal duro”. A tabela 2.1 mostra algumas composições químicas destes materiais.

Tabela 2.1 – Composição química dos materiais utilizados na fabricação de cilindros de laminação Fonte: Processos de laminação dos aços: Uma Introdução

Classe	%C	%Si	%Mn	%Ni	%Cr	%Mo	Dureza (HSc)	Resistência a tração (Kg/mm <sup>2</sup> )
<b>Ferro Fundido Nodular</b>	3,0 - 3,6	1,3 - 2,2	0,3 - 1,0	1,0 - 2,5	1,0 - 3,0	0,1 - 1,0	40 - 75	35 - 70
<b>Ferro Fundido Coquilhamento Indefinido</b>	2,8 - 3,6	0,5 - 1,4	0,3 - 1,0	0,3 - 4,6	0,5 - 2,1	0,2 - 0,6	55 - 85	30 - 55
<b>Ferro Fundido Coquilhamento Definido</b>	2,8 - 3,6	0,3 - 0,7	0,2 - 0,6	0,3 - 4,5	0,3 - 1,5	0,2 - 0,6	60 - 85	20 - 35
<b>Ferro Fundido Alto Cromo</b>	2,1 - 3,0	0,45 - 0,95	0,8 - 1,3	0,9 - 1,9	14,0 - 18,0	0,9 - 1,9	60 - 80	X
<b>Aço Adamite</b>	1,4 - 2,3	0,3 - 1,6	0,3 - 1,0	0,2 - 2,0	0,6 - 2,0	0,2 - 1,0	40 - 60	60 - 100
<b>Aço Forjado</b>	0,4 - 0,8	0,3 - 0,6	0,3 - 1,0	0,2 - 1,0	1,0 - 3,0	0,2 - 1,0	55	100 - 120

Os cilindros para laminação de perfis são dotados de veios usinados denominados canais. São por estes canais que o material a ser laminado é conformado em cada passe de laminação, sendo que cada cilindro pode apresentar diferentes tipos de canais. A figura 2.8 mostra um par de cilindros de laminação.

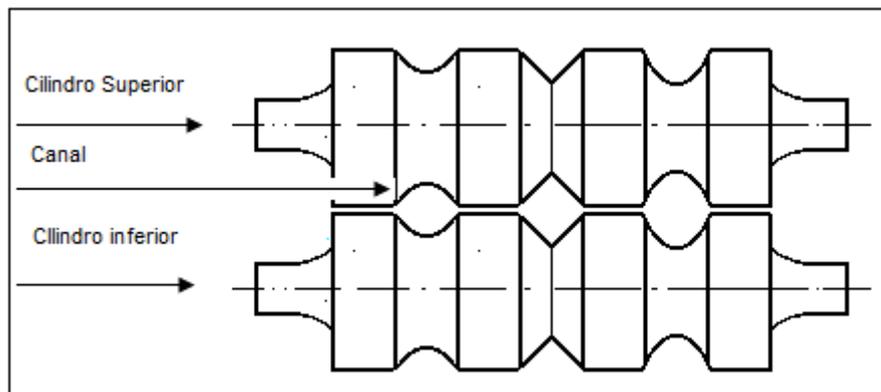


Figura 2.8 – Desenho esquemático de um par de cilindros de laminação usinados. Fonte: Gerdau 2004

### 2.3. Sistema Toyota de Produção

O sistema Toyota de Produção vem demonstrando historicamente se constituir em uma potente estratégia da competição inter-capitalista. Seu escopo se baseia na capacitação

das organizações visando uma resposta rápida às flutuações de demanda do mercado atuando diretamente nas principais dimensões de competitividade:

- Flexibilidade;
- Custo;
- Qualidade;
- Atendimento;
- Inovação.

Sendo assim podemos definir o STP, como sendo o auge no campo de um sistema competitivo. (Shingo, 1996a, p. 37). Segundo Ghinato (1996), este sistema de gerenciamento de produção tem como objetivo o aumento do lucro através da redução de custos e este objetivo é alcançado através da eliminação de perdas, isto é, atividades que não agregam valor ao produto. Sendo assim, para podermos explicar com clareza o STP, alguns conceitos chaves deverão ser conhecidos.

#### 2.3.1. Mecanismo de Função Produção

“Antes de estudar o Sistema Toyota de Produção é necessário entender a Função Produção!” (Shingo, 1996a, p. 37) O mecanismo da Função Produção é definido por Shingo (1996a), seu criador, como uma rede de processos e operações. Este é um mecanismo utilizado para visualizar as perdas no setor produtivo, mapeando todo processo de produção.

Segundo Antunes Junior (1994), a análise deste mecanismo permite:

- Compreender a lógica de concepção do STP;
- Esclarecer um método de análise de produção que possibilita a construção de outros sistemas alternativos ou complementares ao STP;
- Uma análise sistemática das perdas relacionadas ao processo.

#### 2.3.2. Processo

Para melhor entender esse sistema produtivo, faz-se necessária a introdução do conceito de processo. Este pode ser visualizado como o fluxo de materiais no tempo e no espaço, ou seja, a transformação da matéria-prima em componentes produtos através de operações que integram os equipamentos com as pessoas envolvidas na atividade. (Shingo, 1996)

### 2.3.3 Just-in-Time

Caracterizado como um dos pilares que sustenta o STP, o JIT pode ser definido como: “A filosofia JIT constitui-se em uma estratégia de competição industrial, desenvolvida inicialmente no Japão, e que objetiva fundamentalmente dar uma resposta rápida e flexível às flutuações do mercado (orientado para o consumidor), e isto associado a um elevado nível de qualidade e custos reduzidos para os produtos. Ou seja, trata-se de uma estratégia que dá ênfase à redução da quantidade de produtos em processo, de matérias-primas e de produtos acabados, o que acaba proporcionando uma maior circulação do capital.” (Antunes Júnior & Kliemann Neto, 1999).

Outra definição para o JIT é a de que em um processo produtivo o sistema é alimentado por matéria-prima na hora certa, no local certo e na quantidade certa a fim de reduzir o tempo de paradas de processo e evitar perdas. (MÜLLER, Cláudio José.)

### 2.3.4. Automação

O outro pilar do STP é denominado Automação que visa a interrupção ou parada total de qualquer equipamento ou processo ao momento em que for identificada qualquer anomalia no produto sendo produzido a fim de evitar que sejam produzidas um número maior de peças defeituosas ou quando a produção planejada for atingida. (Shingo, 1996a)

Uma ferramenta útil para a implantação da automação é a utilização de Poka-Yokes. Esta ferramenta pode ser definida como um dispositivo implantado junto ao processo, máquinas e componentes com o intuito de evitar que o processo continue assim que for detectada uma anomalia no produto. Outra vantagem desta ferramenta é a de inspeção na fonte, ou seja, e feita uma verificação na fonte causadora do problema, melhorando o sistema de resolução de problemas de processo. A figura 2.9 mostra a relação entre Just-in-Time e automação. (Shingo, 1996a)

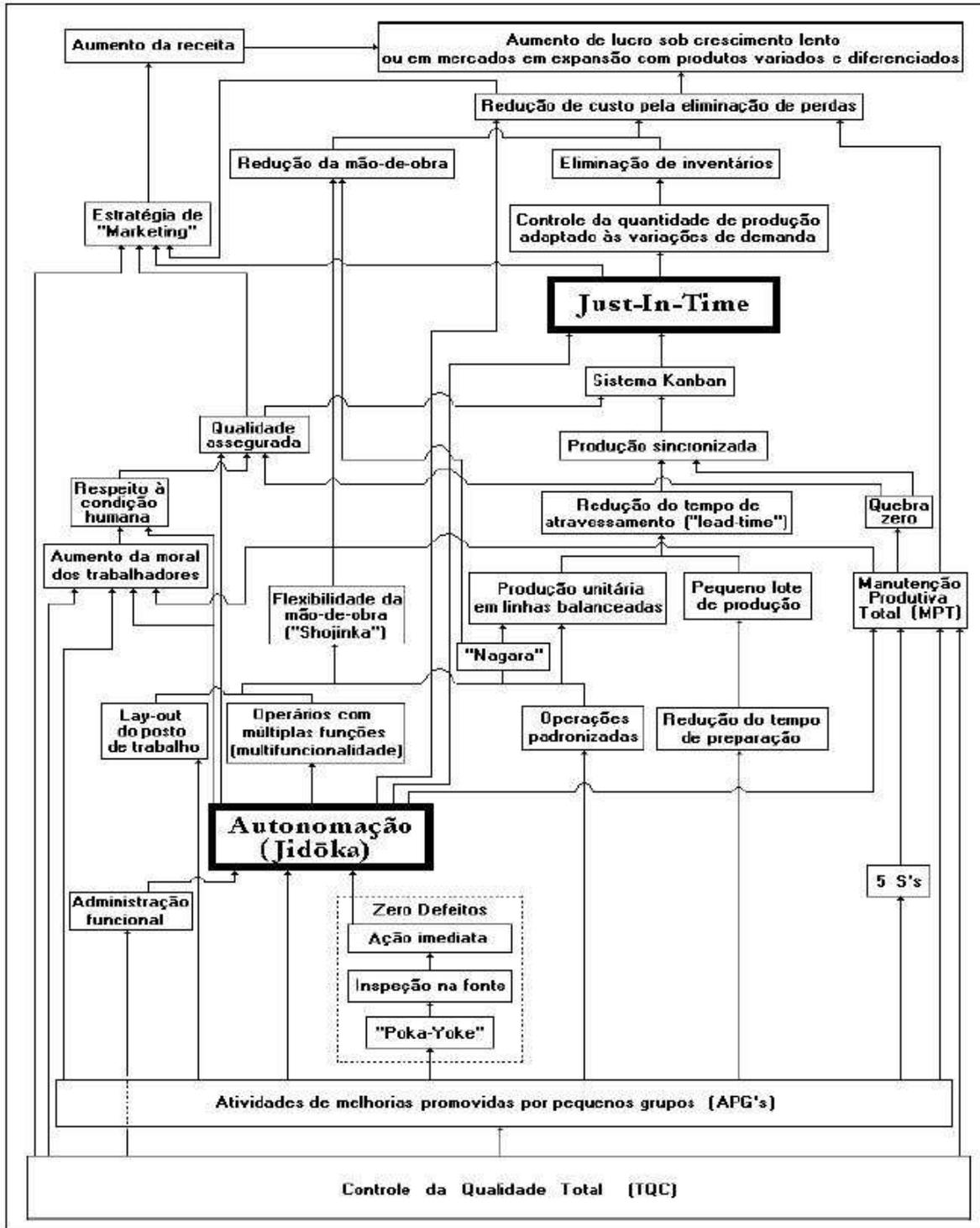


Figura 2.9 – Estrutura do STP, ressaltado a relação entre Automação e Just-in-Time.  
 Fonte: (Ghinato , 1996, p.132.)

### 2.3.5. Kanban

O kanban é um instrumento de controle da produção que operacionaliza o STP e é o responsável direto pelo funcionamento e organização do Just-in-time. Este instrumento foi desenvolvido por Ohno em 1953 ao observar como era o sistema de reabastecimento de produtos em supermercados. À medida que os produtos iam sendo consumidos, era freqüentemente repostos durante o horário de trabalho mantendo assim o local sempre abastecido para atendimento do cliente. Desta forma surgiu o sistema de controle de estoque puxado ao invés de empurrado.

Neste sistema de controle de estoque puxado, a produção é movida pela necessidade do passo seguinte, ou seja, a próxima etapa do processo que vai enviar um sinal para o passo anterior indicando que está apta para realizar o processo, então esta primeira etapa envia o semi-produto que vai ser transformado por esta segunda etapa.

Este sinal indicativo pode ser representado por um pedaço de papel dentro de um envelope de vinil (Ohno, 1997, p.46). Neste envelope estão informações relacionadas ao produto como descrição do produto, quantidade, onde foi produzido, destino e quem deverá efetuar a operação. Um dos grandes benefícios do uso do Kanban é o fato de evitar a superprodução, isso é justificável pelo fato de que apenas é produzido o que é retirado.

### 2.3.6. Os sete tipos de perdas relacionadas ao processo

Somado ao Mecanismo da Função Produção e ao princípio do não-custo, onde é visada a minimização dos custos relacionados à produção, o estudo das perdas relacionadas ao processo tende a aumentar o lucro obtido no produto. (MEIRELLES, 2004)

Estas perdas foram detalhadas juntamente por Shingo e Ohno (SHINGO, 1996) e agrupadas em sete classes:

- Superprodução: quando é produzido mais do que o necessário ou antes do prazo gerando um inventário a ser mantido e consequentes custos relacionados;
- Espera: quando se geram estoques em processo tem-se perda por espera. Este se caracteriza por um intervalo de tempo em que nenhum processamento está sendo realizado, podendo ser decorrente das máquinas ou dos operadores;

- Transporte: a movimentação de materiais é um custo que não agrega valor ao produto sendo assim deve ser eliminado;

- Processamento em si: melhorias relacionadas ao processo podem reduzir perdas provenientes deste, sendo assim é fundamental o estudo para melhoria de processo;

- Estoque: o estoque pode ser definido como um capital de giro parado que gera custos de guarda e manutenção;

- Desperdício nos movimentos: este se refere às ineficiências das operações que acabam por reduzir a produtividade.

- Desperdício na elaboração de produtos defeituosos: talvez a mais aparente das perdas, pois esta gera desperdício de matéria prima, de processo e ainda a perda de tempo envolvida na produção de produtos não conformes. (MEIRELLES 2004)

O STP é expresso pela articulação de técnicas e princípios que foram utilizados para reduzir e eliminar estas sete classes de perdas envolvendo o processo. (ANTUNES JR., J. A.). São as seguintes técnicas:

- Layout e fabricação de peças em fluxo unitário;
- Procedimentos operacionais padronizados;
- Troca Rápida de ferramentas;
- Sincronização (Kanban);
- Inspeção na fonte e Poka-Yoke;
- Engenharia e análise de valor.

A figura 2.10 faz a relação entre o STP, as sete classes de perdas e as ferramentas aplicáveis para redução destas perdas.

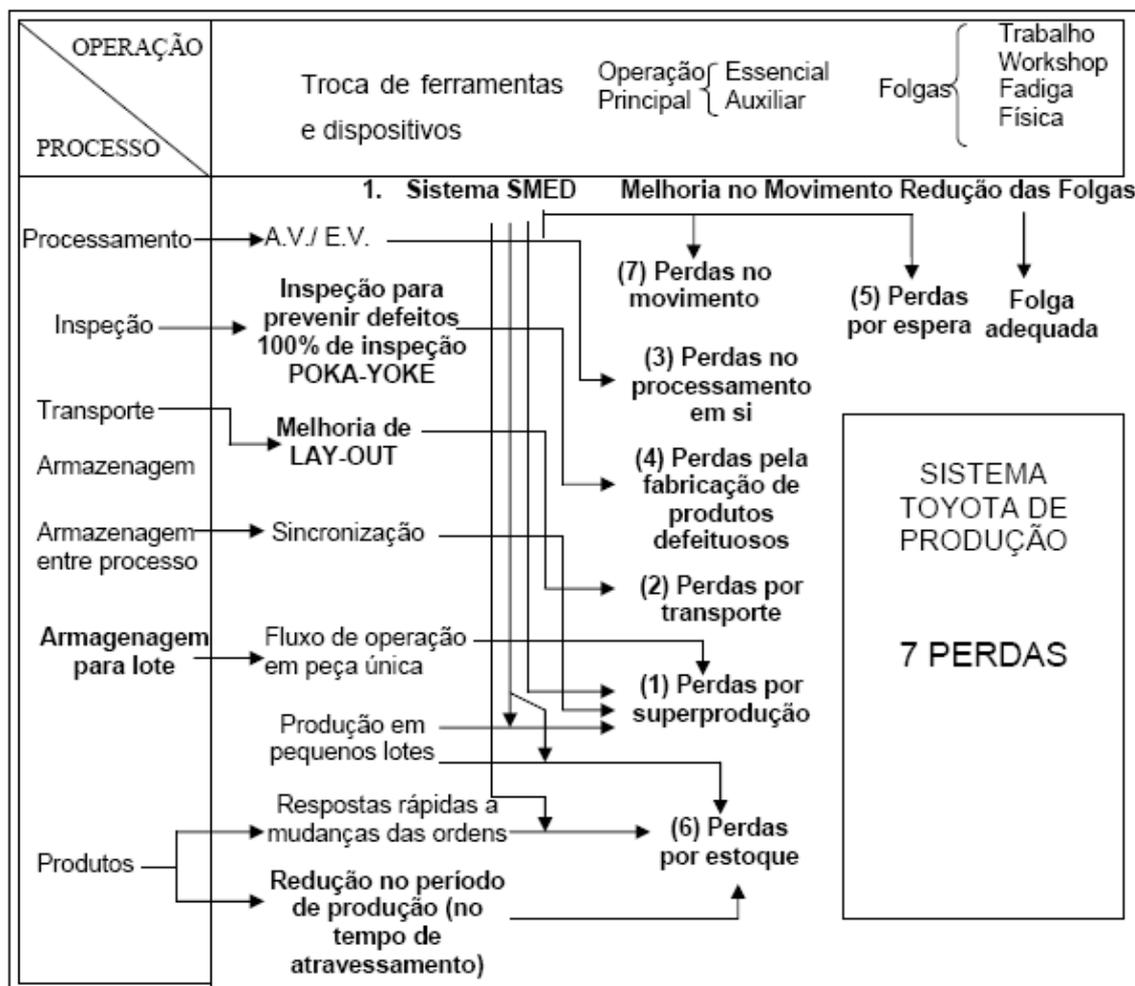


Figura 2.10 – O Sistema Toyota de Produção e seus elementos. Fonte: (MEIRELLES, F. M)

Como um dos objetivos deste trabalho é a redução do tempo de troca de navalha, serão concentradas as explicações na técnica de troca rápida de ferramentas.

### 2.3.7. Troca Rápida de Ferramentas

A Troca Rápida de ferramentas pode ser definida como a ferramenta mais eficiente para a implementação da produção Just-in-time. (Shingo, 1996) A TRF pode fornecer quatro vantagens com sua implantação:

- a redução dos tempos de preparação possibilitando a produção de lotes menores, conseqüentemente gerando uma maior flexibilidade em relação às flutuações do mercado;
- a redução de estoques intermediários, reduzindo os custos com estocagem e reduzindo o capital de giro parado;

- simplificação das atividades de preparação reduzindo as possibilidades de erro;
- atuação em gargalos produtivos atuando de forma a reduzir o efeito gargalo.

Segundo Foggliato & Fagundes (2003), o TRF é definido como uma metodologia de redução de tempos de preparação de equipamentos possibilitando uma produção econômica em pequenos lotes. A utilização desta ferramenta auxilia na redução dos tempos de atravessamento (Lead time) que é um fator expressivo no custeio da manufatura.

A preparação de equipamentos para produção de diferentes materiais é um fator que resulta em um tempo ocioso no processo, este tempo é denominado tempo de setup. Segundo HIRANO (1990), setup é todo tipo de arranjo ou preparação que deve ser realizado para iniciar um conjunto de novas operações. Da mesma forma podemos definir através de SHINGO (2000) que o tempo de setup é o tempo de corrido entre a troca do produto A até a primeira peça boa do produto B.

Tendo como base estes conceitos pode-se dividir o setup em quatro etapas:

- A- Preparação e verificação de materiais e ferramentas: esta etapa consiste na localização de ferramentas necessárias para a atividade e a movimentação destas para próximo do local onde vai ser realizada a atividade; (shingo 2000)
- B- Montagem e desmontagem de equipamentos: nesta fase ocorrem as mudanças do ferramental envolvido na manufatura do produto;
- C- Medições, ajustes e calibrações: são realizadas as regulagens, ajustes, medições sobre a etapa anterior;
- D- Testes e ajustes para o início da produção: etapa em que são feitos testes para verificação do procedimento efetuado, de forma a garantir as especificações de produto.

A figura 2.11 mostra o gráfico que representa as percentagens referentes às etapas do setup.

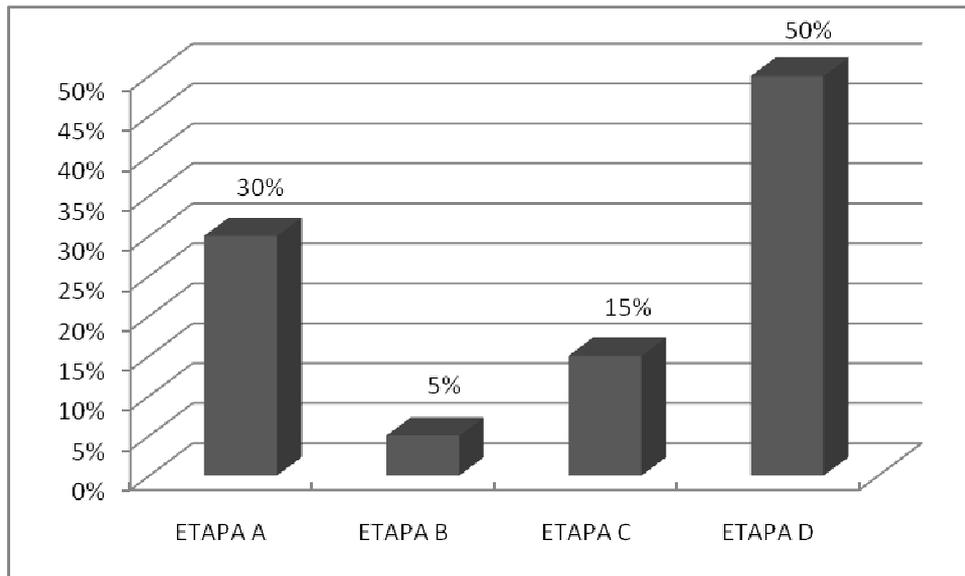


Figura 2.11 – Relação entre tempo e as etapas de setup. Fonte: Adaptado de SHINGO (2000)

#### 2.3.7.1. Metodologia para a Troca Rápida de Ferramentas

Conforme SHINGO (2000), uma metodologia de TRF deve ser aplicada a todas as atividades produtivas do processo de manufatura que contenham operações de setup. Para esta teoria ser posta em pratica, uma metodologia deve ser seguida:

- A- Definição de processo e produto em que vai ser implantada esta ferramenta;
- B- Observação e filmagem das tarefas que envolvem operações de setup;
- C- Análise das filmagens dando foco ao tempo;
- D- Separação das atividades internas e externas. Onde as atividades internas são aquelas em que as atividades necessitam que o maquinário esteja parado para sua realização. Enquanto as atividades externas são aquelas em que não há necessidade de que o maquinário esteja parado para sua realização.
- E- Converter atividades internas em externas;
- F- Praticar as operações de setup já modificadas e padronizar estes procedimentos;
- G- Eliminar ajustes;
- H- Eliminar setup.

Esta metodologia visa a redução de tempos de setup para apenas 1 dígito de minuto, o que fora proposto por SHINGO(2000) quando formulou a troca rápida de ferramentas.

SHINGO (2000) propõe seis técnicas para o TRF:

- 1- Padronização das atividades de preparação externa;
- 2- Padronização somente das partes essenciais do maquinário;
- 3- Utilizar mecanismos que facilitem as tarefas, ex: engate rápido;
- 4- Utilizar ferramentas auxiliares;
- 5- Utilizar operações paralelas;
- 6- Utilizar sistemas mecânicos de operação.

Para esta ferramenta se tornar eficiente e eficaz deve-se formar uma equipe que formule e estabeleça planos de ação e metas que devem ser cumpridas a fim de obter os resultados desejados.

#### 2.4. Aços

Segundo CHIAVERINI (2008), aço é a liga ferro-carbono contendo geralmente 0,0218% até aproximadamente 2,11% de carbono, além de certos elementos residuais provenientes do processo de fabricação. A partir desta definição pode ser feita uma subdivisão onde podemos dividir os aços em aços-carbono e aços-liga.

O que diferencia um aço-carbono de um aço-liga é o fato de o segundo apresentar um teor de elementos de liga acima dos que são considerados normais não sendo apenas resíduos decorrentes do processo e sim adicionados ao aço para conferir determinadas características para sua aplicação.

Para melhor compreender este trabalho, serão descritos mais detalhadamente os aços estruturais e os aços ferramenta resistentes ao impacto.

##### 2.4.1. Aços estruturais

Para garantir um melhor projeto buscando um menor custo na construção civil, o aço tem destaque ao combinar tenacidade, resistência mecânica, baixo peso e homogeneidade. Por esta combinação de fatores é fácil de entender sua grande aplicação na maioria das estruturas que existem na atualidade.

Segundo CHIAVERINI (2008), os requisitos fundamentais para os aços-carbono destinados a este fim devem apresentar os seguintes requisitos:

- Ductilidade e homogeneidade;
- Valor elevado da relação entre o limite de resistência e o limite de escoamento;
- Soldabilidade;
- Suscetibilidade de corte por chama, sem endurecimento;
- Resistência razoável a corrosão.

O teor de carbono desempenha um papel fundamental na garantia da ductilidade combinado ao fato deste ser produzido por laminação a quente. Isto se dá em virtude de o teor deste elemento influenciar diretamente no limite de escoamento do aço e assim garantindo um bom desempenho em cortes, dobras e trabalhos de conformação realizados sobre este material.

Visto que o processo de soldagem é comumente utilizado neste ramo, os aços carbono para estruturas apresentam um bom desempenho quando expostos a soldagem em virtude de não apresentarem expressivas modificações estruturais. Para garantir um bom desempenho deste aço quando está exposto a meios agressivos, a resistência a corrosão é alcançada pela adição de pequenos teores de cobre.

Uma das grandes aplicações deste produto é em concreto armado. Para atender as características necessárias, a Associação Brasileira de Normas e Técnicas, através da norma NBR 7480 – 1996, apresenta requisitos que devem ser atendidos pelo produto para ser comercializado, eis os quais:

- Homogeneidade geométrica;
- Isenção de defeitos prejudiciais;
- Densidade linear;
- Comprimento e tolerância;

- Requisitos de propriedades mecânicas e dobramento;
- Características geométricas das barras com nervuras;
- Marcação;
- Embalagem;

Uma das classificações utilizadas para aços destinados a armaduras para concreto armado é em relação ao seu limite de escoamento. A tabela 2.2 apresenta a definição e a tabela 2.3 ressalta as propriedades mecânicas exigíveis de barras e fios destinados a armaduras de concreto armado.

Tabela 2.2 – Relação entre as classes de aços para concreto armado e o mínimo limite de escoamento. Fonte: Adaptado de ABNT 7480 -1996.

Classe	Produto	Limite de escoamento (Mpa)
CA-25	Barra	250
CA-50	Barra	500
CA-60	Fio	600

Tabela 2.3 – Propriedades mecânicas exigíveis para fios e barras destinados a armaduras de concreto armado. Fonte: Adaptado de ABNT 7480 – 1996.

Classe	Produto	Ensaio de tração		
		Resistência de escoamento (Fy) (MPa)	Limite de resistência (MPa)	Alongamento (%)
CA-25	Barra	250	1,20Fy	18
CA-50	Barra	500	1,10Fy	8
CA-60	Fio	600	1,05Fy	5

A Laminação 2, da Gerdau Riograndense, produz as classes CA-25 e CA50 do aço para concreto armado. Para garantir as exigências da Norma, o vergalhão CA50 precisa ser submetido a um tratamento térmico após o processo de laminação, que lhe garante uma camada com propriedades e características diferentes do núcleo. As figuras 2.12 e 2.13 mostram respectivamente a seção transversal de um aço CA-50 e a microestrutura deste.

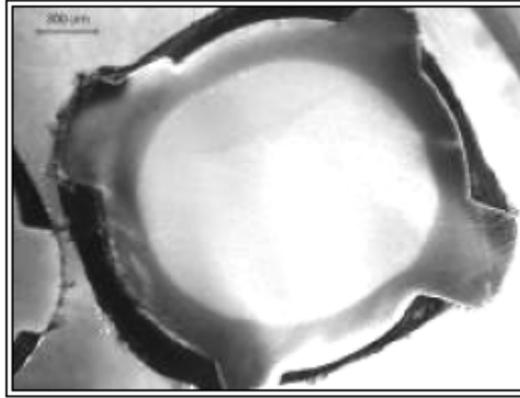


Figura 2.12 – Seção transversal de um aço CA-50 indicando uma camada externa conferida pelo tratamento térmico. Fonte: Gerdau 2010.

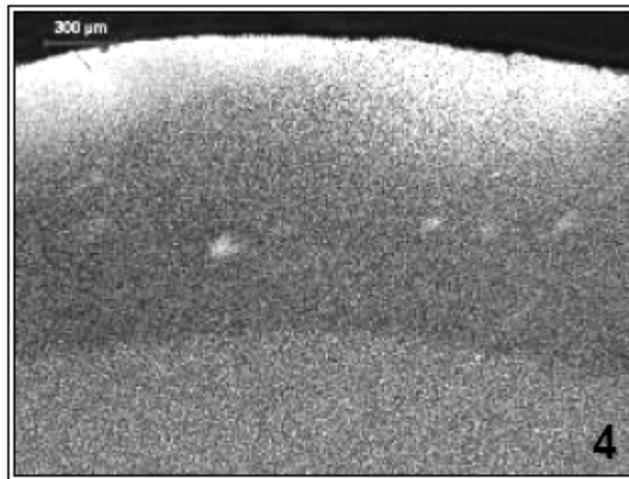


Figura 2.13 – Perfil representando a camada obtida pelo tratamento térmico após a laminação de um aço CA-50. Profundidade da camada 1,27mm. Aumento 50x. Fonte: Gerdau 2010.

#### 2.4.2. Aços ferramenta

Os aços ferramenta são de grande importância para diversos segmentos industriais. Esta classe de aço deve apresentar requisitos para poder atender as especificações e garantir confiabilidade ao processo ao qual está inserido. Segundo CHIAVERINI (2008), estes aços devem apresentar as seguintes características:

- Dureza a temperatura ambiente;
- Resistência ao desgaste;
- Temperabilidade;
- Tenacidade;

- Resistência mecânica;
- Dureza a quente;
- Tamanho de grão adequado;
- Usinabilidade;

Estas características podem ser obtidas através de um projeto avaliando de forma conjunta a composição química e a série de tratamentos térmicos a qual o material será submetido, de forma a convergir as condições que o meio exige com o melhor desempenho possível para o material.

Os principais elementos químicos presentes nos aços ferramenta são o carbono, silício, manganês, cromo, vanádio, tungstênio, molibdênio e cobalto. A tabela 2.3 mostra a ação de cada um destes elementos no produto.

Tabela 2.4 – Habilidade dos elementos de liga em conferir características aos aços ferramenta. Fonte: Adaptado de CHIAVERINI (2008)

<b>Características</b>	<b>Elementos de liga</b>
Dureza a quente	W, Mo, Co, V, Cr, Mn
Resistência ao desgaste	V, W, Mo, Cr, Mn
Profundidade de endurecimento	Mn, Mo, Cr, Si, Ni, V*
Empenamento mínimo	Mo, Cr, Mn
Tenacidade pelo refino de grão	V, W, Mo, Mn, Cr
* O Vanádio fornece elevada profundidade de endurecimento se austenitizado a temperatura suficientemente elevada para dissolver o carboneto de vanádio.	

Os tratamentos térmicos têm a finalidade de garantir a estrutura e as propriedades finais de acordo com o projeto e a aplicação do aço. Em virtude de este material apresentar um alto desempenho, um projeto bem elaborado de tratamentos térmicos deve ser elaborado.

As faixas de tratamentos térmicos aplicáveis a esta classe de aço é bem diversificada em função das diferentes características que se deseja obter. Geralmente se aplicam elevadas temperaturas de austenitização para garantir a completa solução de carbonetos complexos existentes no sistema. Após o tratamento de endurecimento, tempera, que pode ser feito em diferentes meios como água e óleo, são feitos os

tratamentos de revenimento para garantir alívio de tensões internas e estabilizar a estrutura do material.

Segundo CHIAVERINI (2008), os aços ferramenta são divididos em

- Aços temperáveis em água;
- Aços resistentes ao choque;
- Aços ferramenta para moldes;
- Aços ferramenta para fins especiais;
- Aços ferramenta para trabalho a frio;
- Aços ferramenta para trabalho a quente;
- Aços rápidos.

#### 2.4.2.1. Aço ferramenta resistente ao choque

Também conhecido como classe S, do inglês shock, esta classe de aço ferramenta é ligada ao tungstênio-cromo-vanádio e temperável em óleo, apresentando elevada resistência ao choque, boa resistência a fadiga e ao desgaste. Suas principais aplicações são em punções, matrizes e ferramentas de corte.

Podemos destacar o elevado teor de silício, o que garante elevada resistência ao impacto e tenacidade ao aço justificando suas aplicações para ferramentas de corte. A tabela 2.4 apresenta a composição química de um aço ferramenta S1.

Tabela 2.5 – Composição química do aço ferramenta S1. Fonte: Gerdaul.

Aço	C		Mn		P		S		Si	
	Máx	Min	Máx	Min	Máx	Min	Máx	Min	Máx	Min
S1	0,4	0,55	0,1	0,4	0,03	0,03	0,15	1,2	0,15	1,2
	Cr		V		W		Mo			
	Máx	Min	Máx	Min	Máx	Min	Máx	Min		
	1	1,8	0,15	0,3	1,5	3	-	0,5		

A partir da composição química e da seqüência de tratamentos térmicos que compreendem pré-aquecimento, austenitização, tempera e revenidos, pode-se obter uma

microestrutura que garanta ao material um faixa de dureza entre 50-58RC e tenacidade ao impacto. A figura 2.14 mostra uma microestrutura de um aço S1. (CHIARERINI, 2008)

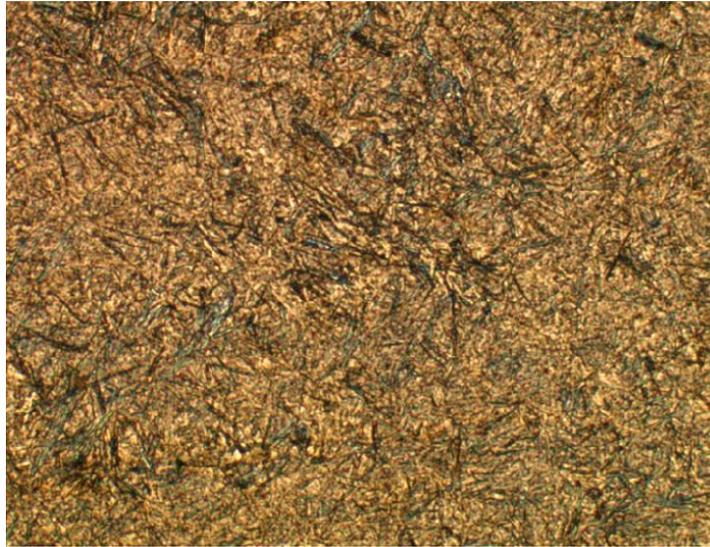


Figura 2.14 – Microestrutura representativa de um aço AISI S1, ataque Nital, 200x. Fonte: (Oliveira, A.)

Através desta micrografia pode ser observada a ausência de austenita retida, isto se dá em função da eficácia do revenimento que tem por finalidade dissolver a austenita remanescente após a têmpera.

### 3.0 PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

#### 3.1 Análise do projeto atual

Após a barra ser conformada no último passe de laminação, esta é enviada para o leito de resfriamento. Em virtude do leito de resfriamento apresentar uma dimensão que é menor que o tamanho total da barra após o último passe, esta barra tem de ser seccionada em um determinado número de cortes (corte a quente), que são determinados pelo comprimento e pelo número de cortes a frio.

A tesoura que efetua os cortes da barra ainda quente, é uma tesoura do tipo rotativa conforme mostrado na figura 3.1. O corte efetuado se dá por cisalhamento no momento em que as duas navalhas, que estão acopladas aos suportes, se cruzam após o ciclo do corte anterior.

O ciclo de corte pode ser definido como o tempo entre o sinal recebido pela fotocélula, ao passar uma barra pelo sensor, até o momento em que os suportes das navalhas são acionados por motores elétricos para efetuar uma rotação de 360 graus no sentido horário, de forma a fazer as navalhas se cruzarem em determinado ponto garantindo que o corte seja efetuado.



Figura 3.1 – Foto representativa da tesoura rotativa de corte a quente. Fonte: Gerdau 2010.

Estas navalhas são dimensionadas para suportar esforços oriundos do corte de vergalhões e barras redondas. As navalhas e a composição química são dadas pela figura 3.3 e pela tabela 3.1. Em comparação com os dados propostos pela tabela 2.4, o aço das navalhas se assemelha a um AISI S1.



Figura 3.2 – Navalha de corte para vergalhões. Fonte: Gerdau 2010

Tabela 3.1 – Composição química das navalhas de corte. Fonte: Gerdau 2010.

Navalha	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	V	W
Superior	0,53	0,79	0,27	0,008	0,004	0,91	0,19	0,16	1,85
Inferior	0,57	0,78	0,26	0,009	0,004	0,9	0,28	0,13	1,91

No projeto atual, as navalhas são fixadas no braço com o auxílio de uma cunha, aço 1020, e quatro parafusos M16, conforme norma DIN 912. Destes quatro parafusos, dois são destinados a fixação da cunha e os outros dois são destinados a fixação da navalha.

### 3.2 Modelo do projeto atual

Para ter acesso a uma simulação precisa, foram criados modelos em três dimensões, no programa Solid Works, das peças representadas pelas seguintes figuras:

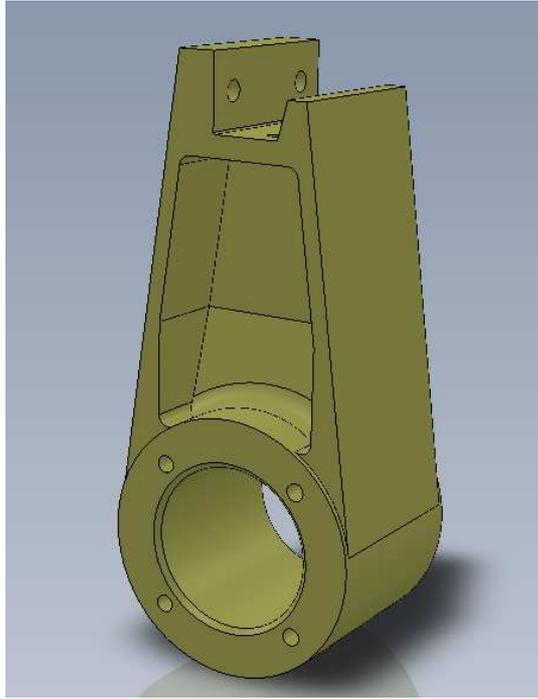


Figura 3.3 – Modelo em três dimensões do braço de acoplamento da navalha.

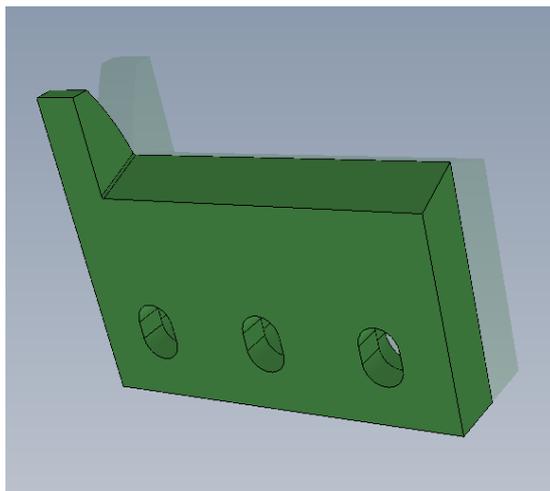


Figura 3.4 – Modelo em três dimensões da navalha de corte.

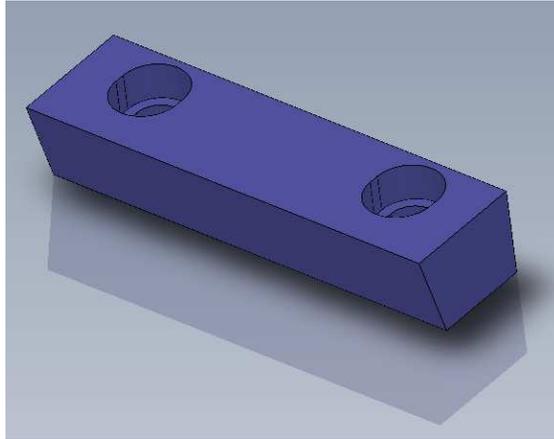


Figura 3.5 – Modelo em três dimensões da cunha de fixação da navalha.

A partir destas peças foi montado o conjunto com o projeto atual, onde neste foi considerado apenas a parte superior do braço de suporte da navalha. A figura 3.8 representa o conjunto montado.

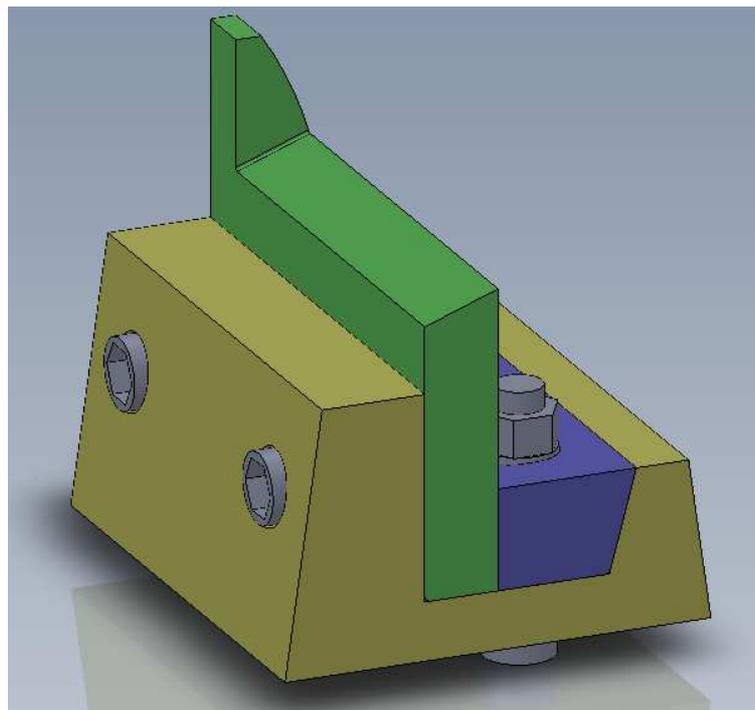


Figura 3.6 – Conjunto montado do projeto atual.

Com os desenhos prontos, foram efetuadas simulações matemáticas por elementos finitos no software Abacus.

### 3.3 Modelamento matemático do projeto atual

Este modelamento tem como objetivo, visualizar o campo de tensões provenientes do corte efetuado sobre o vergalhão de 25 mm. Como o conjunto não pode deformar durante o processo, foi considerado o processo em regime elástico. Com estas premissas levantadas, o programa de simulação foi alimentado com os seguintes dados:

- Modulo de Young para os componentes do conjunto: 210 Gpa;
- Coeficiente de Poisson: 0,3;
- Torque nos parafusos: 250 N x m;
- Carga aplicada referente ao corte: 20 toneladas, aplicada sobre uma área correspondente a 25 mm x 25 mm;
- Coeficiente de atrito entre superfícies: 0,3;
- Tensão de escoamento do vergalhão 25 mm: 520 MPa.

As malhas aplicadas a cada uma das peças que compõe o conjunto são apresentadas na tabela 3.2 e pela figura 3.7. Podemos ressaltar que durante a simulação são consideradas as interações entre as superfícies da navalha com o suporte e do suporte com o braço de suporte.

Tabela 3.2 – Tabela representando as características das malhas aplicadas as peças do conjunto.

Peça	Tipo de malha	Número de nós	Número de elementos
Suporte	Tetraédrico linear Tipo C3D4	15075	75558
Cunha	Tetraédrico linear Tipo C3D4	3290	15084
Navalha	Tetraédrico linear Tipo C3D4	5962	27955
Parafusos	Linha linear Tipo B31	11	10

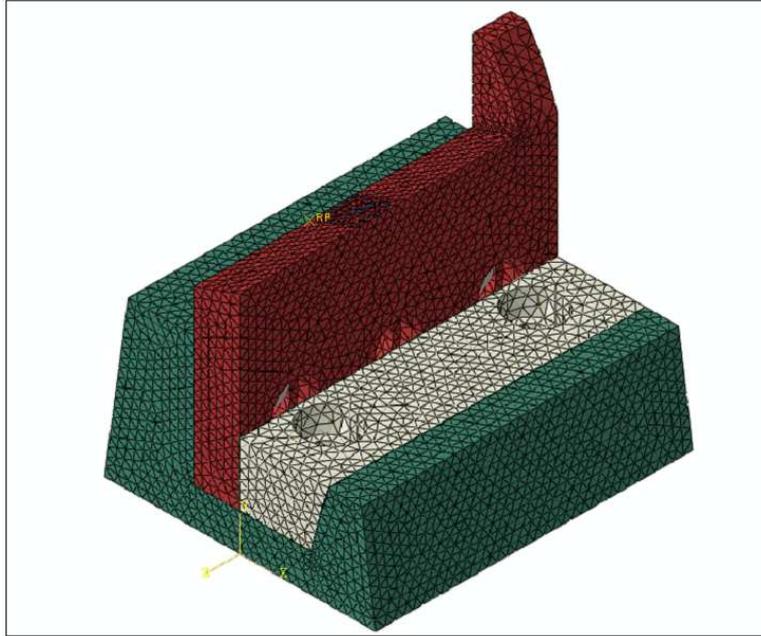


Figura 3.7 – Figura representando o conjunto com malhas do projeto atual.

#### 3.4 Modelo para as modificações de projeto

Para o novo projeto em questão, foram desenvolvidos um novo suporte de aço SAE 4340 e uma nova navalha de aço S1, visando reduzir o tempo de troca e redução de aço ferramenta empregado, mantendo o mesmo braço de suporte da navalha. Estas duas peças são representadas pelas figuras 3.8 e 3.9.

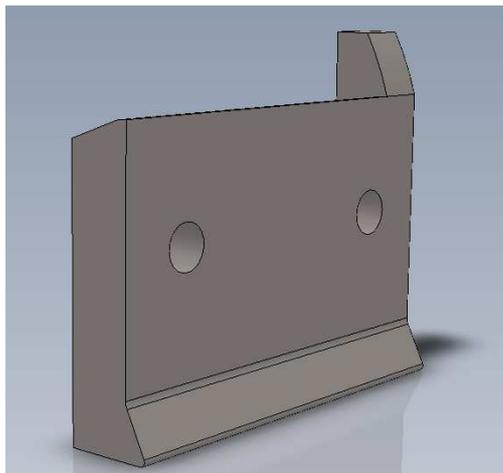


Figura 3.8 – Modelo em três dimensões do novo modelo de navalha.

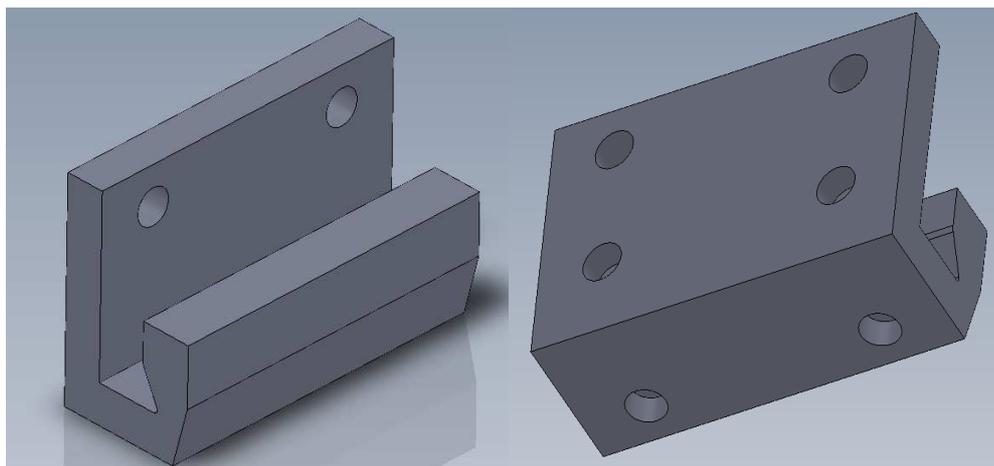


Figura 3.9 – Modelo em três dimensões do novo modelo de suporte.

As modificações efetuadas foram:

- Redução de 3 para 2 furos na navalha;
- Modificação no encaixe da navalha, onde esta passa a ter uma saliência lembrando um “rabo de andorinha”
- Os parafusos que acoplam o suporte novo no braço continuam sendo 4 porém eles não são passantes.
- Redução do comprimento da navalha de 161 mm para 100 mm.

É importante ressaltar que a utilização de um aço ferramenta de menor dimensões exige um maior processamento mecânico para sua produção, assim melhorando sua qualidade metalúrgica. Esta qualidade superior melhora o desempenho da ferramenta frente ao trabalho.

### 3.5 Modelamento matemático para as modificações de projeto

Assim como fora feito para o projeto atual, esta simulação irá ser embasada no regime elástico dos materiais. Os itens modificados em relação à primeira simulação foram o torque aplicado que será reduzido para 180 N x m e a tensão de escoamento do aço SAE 4340 que é 700 MPa. As malhas aplicadas ao suporte novo e a navalha são apresentados na tabela 3.3 e na figura 3.10.

Tabela 3.3 – Tabela representando as características das malhas aplicadas as peças do conjunto.

Peça	Tipo de malha	Número de nós	Número de elementos
Navalha	Tetraédrico linear Tipo C3D4	2068	21993
Suporte	Tetraédrico linear Tipo C3D4	3775	16548

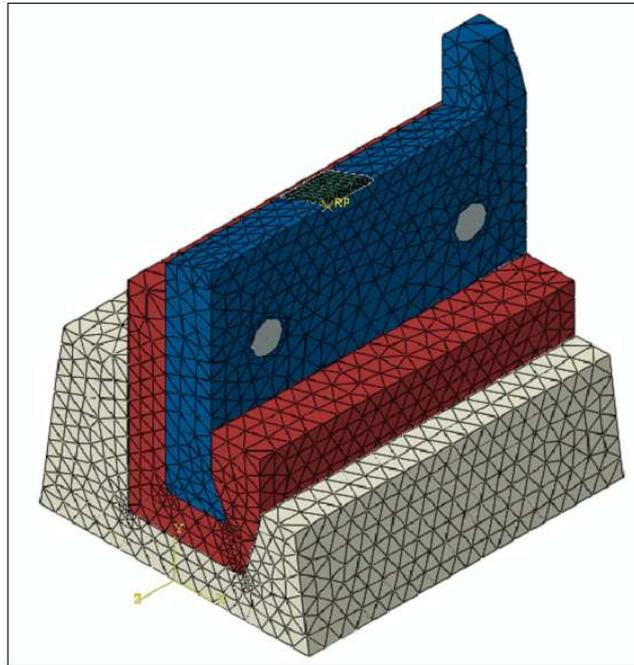


Figura 3.10 – Figura representando o novo conjunto com malhas.

### 3.6 Análise de custo e tempo desprendido para troca de navalha

A análise de custo foi realizada comparando-se o custo de elaboração da navalha e cunha do projeto atual e do suporte e da navalha do projeto sendo desenvolvido. Para a análise de tempo foi feito um estudo entre o tempo gasto para efetuar a troca da navalha nas duas situações apresentadas neste trabalho.

## 4.0 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Distribuição de tensões

#### 4.1.1 Projeto atual

Os resultados obtidos são apresentados através de imagens obtidas nas simulações que retratam o corte do vergalhão CA50 – 25 mm. As figuras apresentam a peça em questão com a malha e o campo de deformações, uma escala de cores correlacionada ao nível de tensões em MPa. A partir da figura 4.1 é possível observar a distribuição de tensões no conjunto atual.

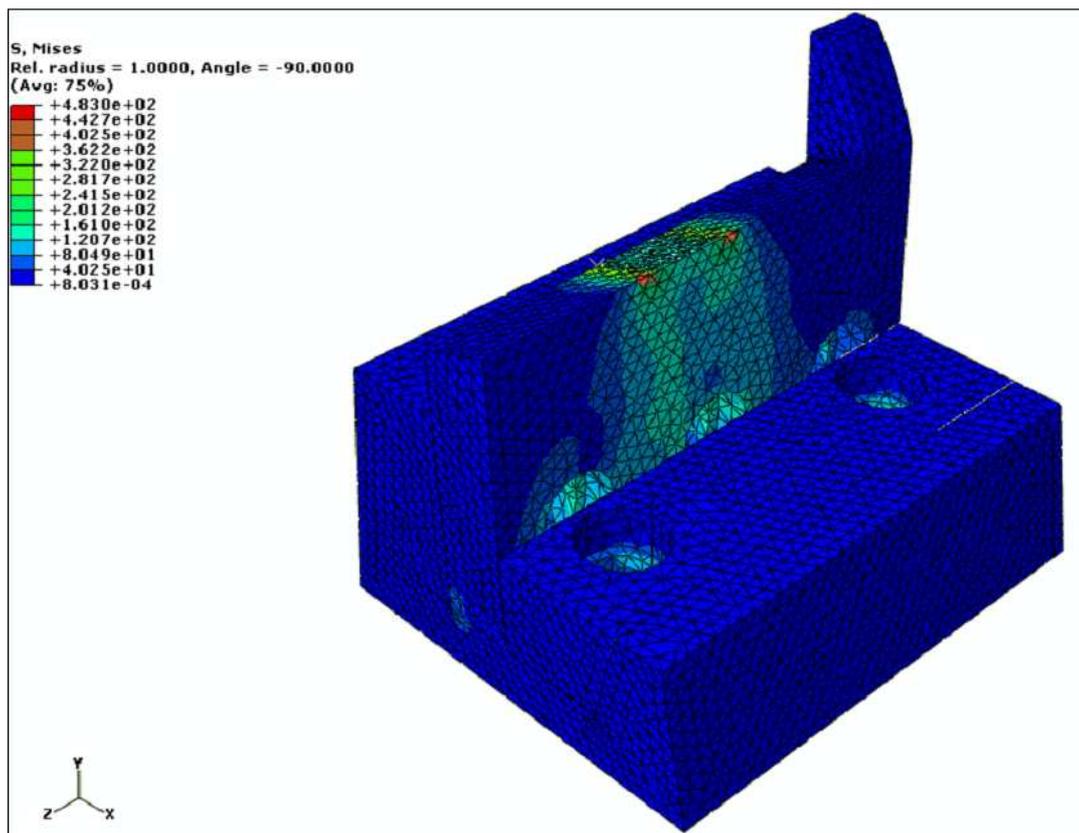


Figura 4.1 – Distribuição de tensões no conjunto do projeto atual

Para uma melhor visualização, as peças são mostradas separadamente pelas figuras 4.2, 4.3 e 4.4. Na figura 4.2 o campo de tensão está na ordem de 150 MPa, em função do corte e do torque nos parafusos também mostrado na figura 4.3. Já na navalha, figura 4.4, as tensões chegam na ordem de 485 MPa em função de estar diretamente em contato com o vergalhão sendo cortado.

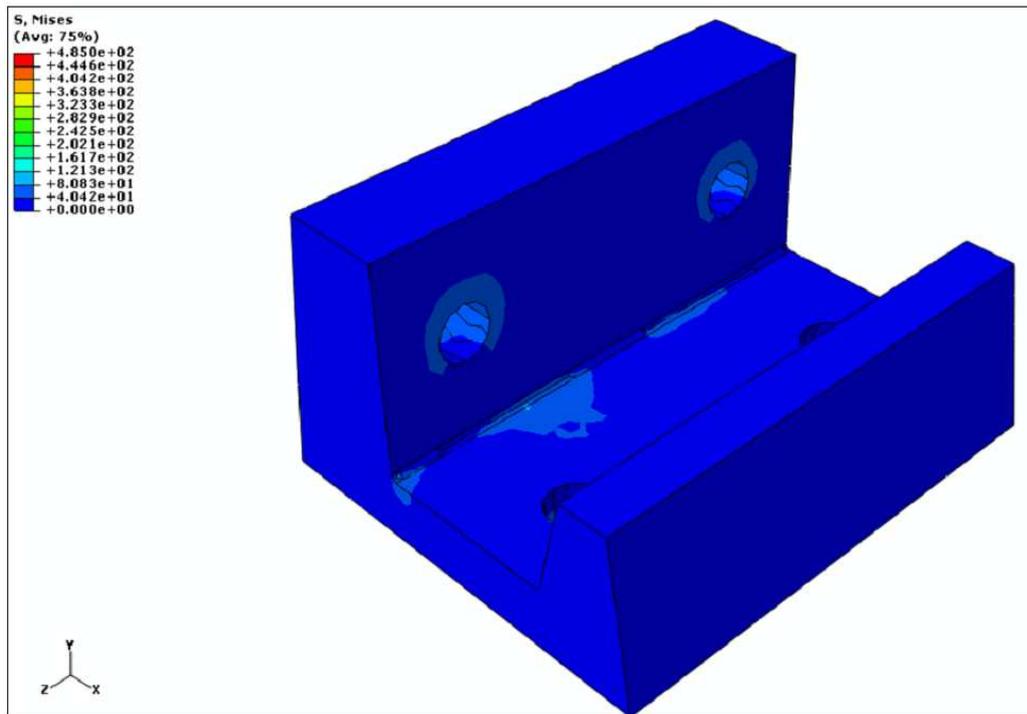


Figura 4.2 – Distribuição de tensões na parte superior do braço de acoplamento da navalha.

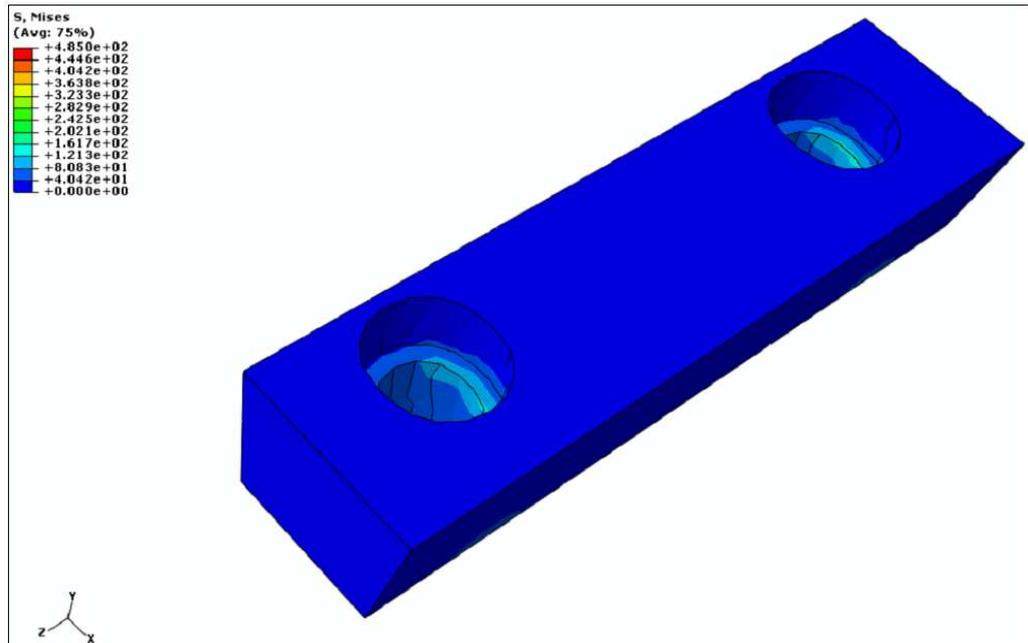


Figura 4.3 – Distribuição de tensões na cunha de fixação da navalha.

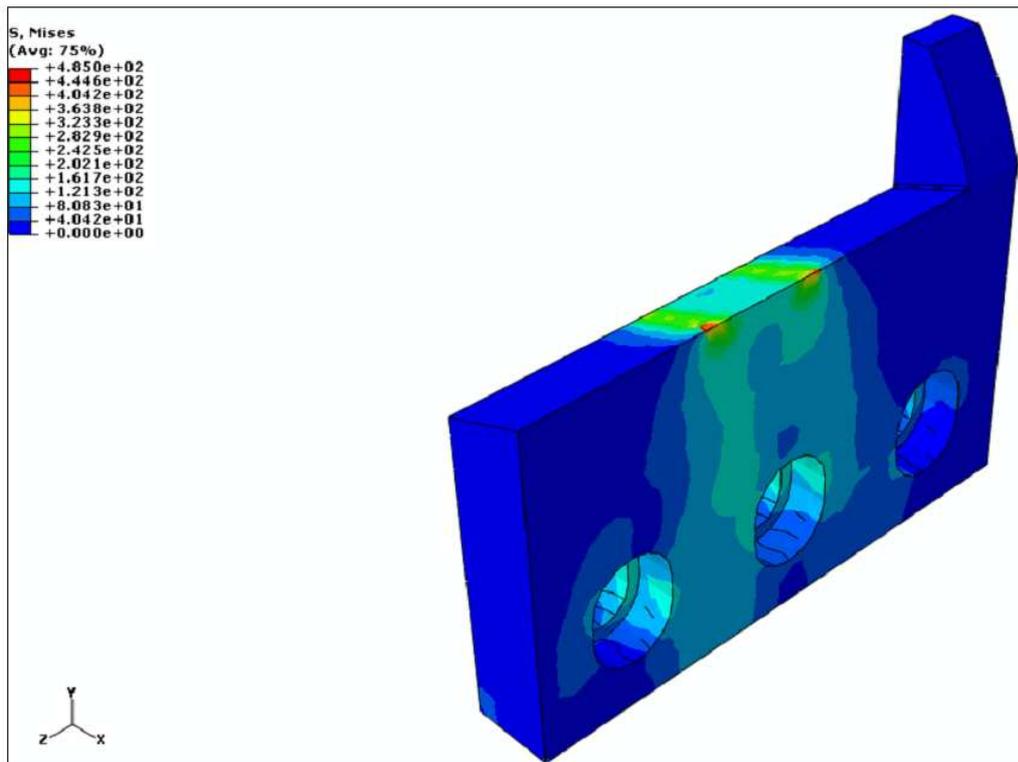


Figura 4.4 – Distribuição de tensões na navalha de corte.

#### 4.1.2 Distribuição de tensões na modificação de projeto

A partir da figura 4.5 é possível visualizar a distribuição de tensões no conjunto

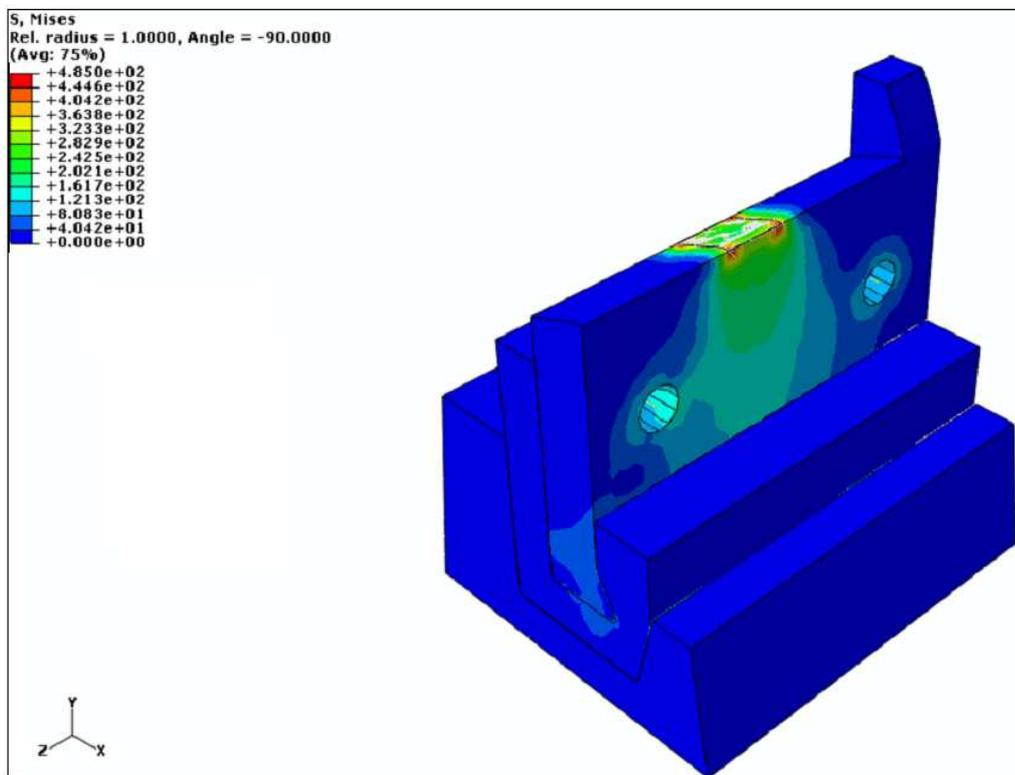


Figura 4.5 – Distribuição de tensões no novo projeto.

Assim como foi apresentado para o projeto atual, as figuras 4.6, 4.7 e 4.8 apresentam a distribuição de tensões nos componentes do novo projeto.

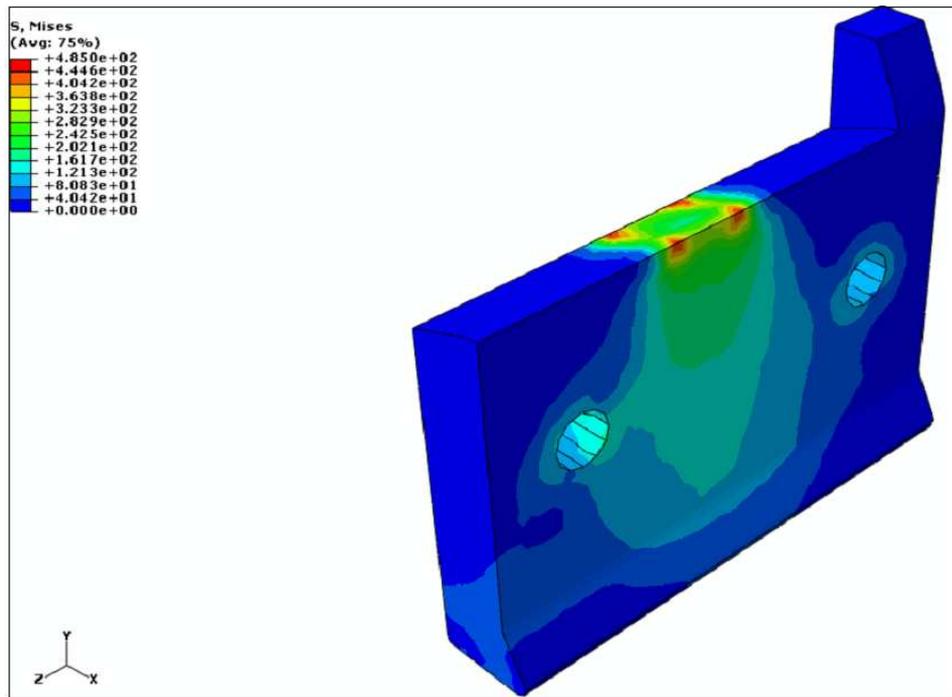


Figura 4.6 – Distribuição de tensões na nova navalha.

Em virtude das tensões geradas nas peças ser de menor magnitude em relação à navalha, a escala de tensão em função da cor é alterada para melhor representar os resultados.

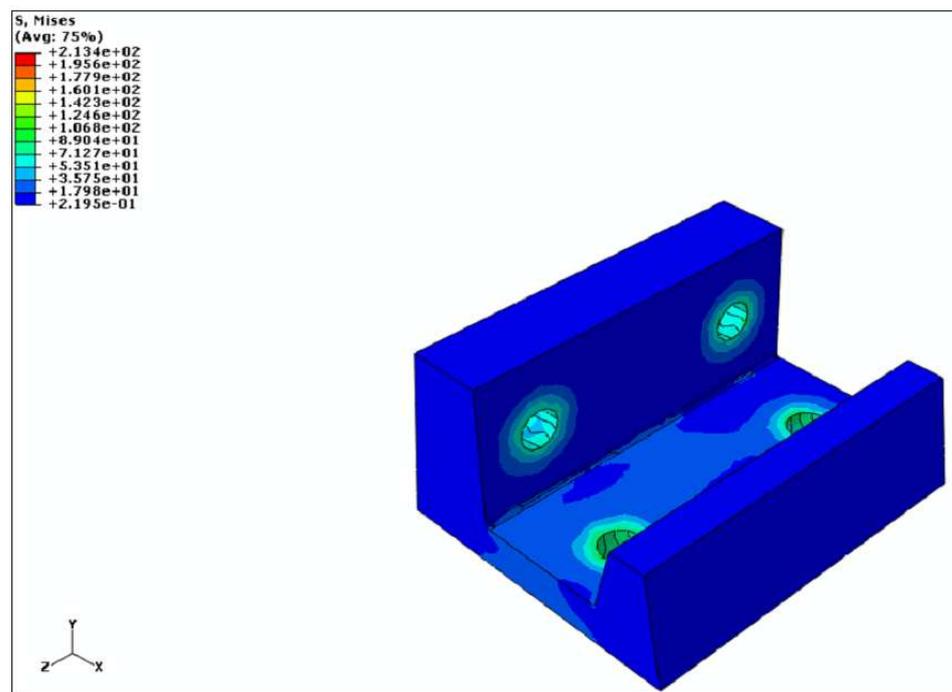


Figura 4.7 – Distribuição de tensões na parte superior do braço de acoplamento da navalha.

Uma das principais peças envolvidas nesta modificação de projeto é o suporte novo para a navalha. Sendo assim, as próximas imagens apresentam sobre vários ângulos as tensões produzidas em função do corte.

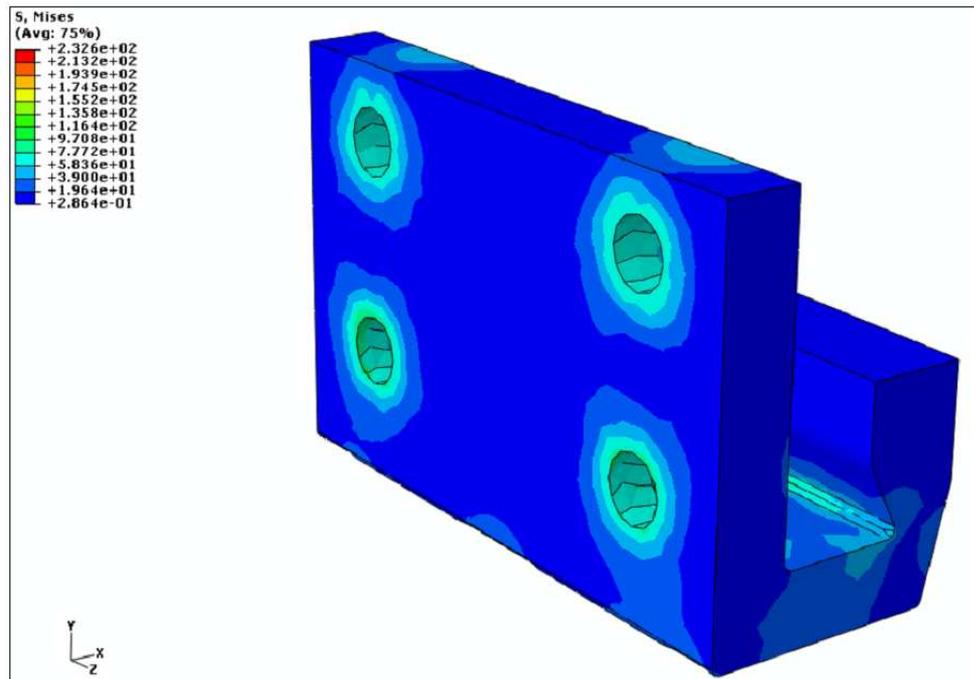


Figura 4.8 – Distribuição de tensões oriundas do torque sobre parafusos de fixação do suporte e da navalha.

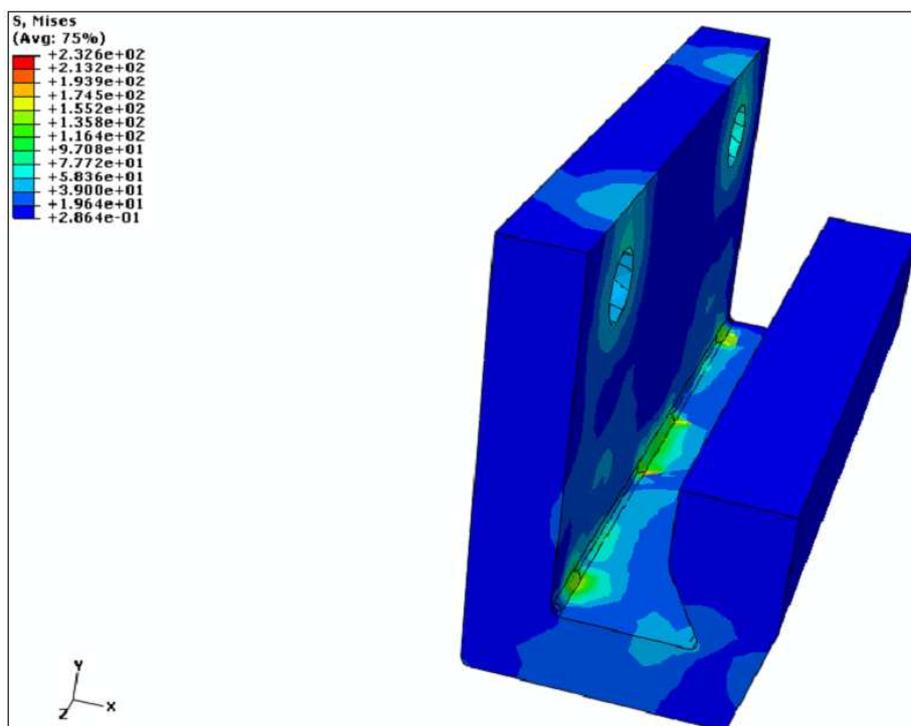


Figura 4.9 – Distribuição de tensões no suporte da navalha.

Nestas duas últimas figuras, podemos observar o campo de tensões proveniente do torque exercidos nos parafusos, para garantir que o conjunto não se desloque durante o corte, e o campo de tensões em função do corte. Observa-se que o valor das tensões não ultrapassa a tensão de escoamento do aço AISI S1 que gira em torno de 1000 MPa.

#### 4.2 Análise de custo e tempo

O custo para fabricação da nova navalha e do novo suporte para navalha é 60% maior que o custo da navalha atual por si só. Entretanto, houve uma redução no dimensional da navalha de forma a reduzir o tamanho da peça e conseqüentemente a quantidade de aço ferramenta AISI S1 utilizado.

Em relação ao tempo gasto para efetuar a troca da navalha, ocorreu uma redução de 45% do tempo em função da diminuição do número de parafusos para serem removidos e recolocados.

## 5.0 CONCLUSÕES

Através dos resultados obtidos neste trabalho foi possível concluir que:

- É possível a aplicação desta proposta de modificação de navalha de corte, visto que o aço SAE 4340, que compõe o suporte da navalha, apresentou bom desempenho frente ao campo de tensões;
- Ocorreu um aumento no campo de tensões na navalha em virtude da remoção da furação central;
- É aceitável o campo e a magnitude das tensões no conjunto, em virtude de as tensões não ultrapassarem o limite de escoamento da navalha e do suporte;
- Ocorreu uma redução no tempo de troca da navalha em virtude da redução no número de parafusos e a facilidade do engate rápido proporcionado pelo “rabo de andorinha”;
- Há uma redução no custo das navalhas, mas há um acréscimo no custo do conjunto em virtude do novo suporte. Entretanto, como a frequência de troca do suporte tende a ser baixa o custo é compensado pela redução do custo das navalhas.

## **6.0 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS**

- Testar outros aços para o suporte e desenvolver um estudo comparativo.
- Efetuar estudo sobre o desgaste das navalhas.
- Aplicação de revestimentos sobre a navalha para aumentar a vida útil da navalha de corte.

## 7.0 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANTUNES, José Antônio Valle. **Em direção a uma Teoria Geral na Administração da produção**. Tese. PPGA:UFRGS, 1998.

ANTUNES, José Antônio Valle; RODRIGUES, Luis Henrique. **A teoria das Restrições como Balizadora para das ações visando a troca rápida de ferramentas**. Revista Produção, Porto Alegre, V.36, n.1, p. 73-86. 1993.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS E TÉCNICAS. **ABNT 7480: Barras e fios de aço destinados a armaduras para concreto armado**. Rio de Janeiro, 1996

CHIAVERINI, V. **Aços e Ferros Fundidos**. 7 ed., 1996.

DIETER, Geoger E. **Metalurgia Mecânica**. 2.ed. Tradução de Antônio S. de Souza, Luiz Henrique de Almeida e Paulo E. Valadão de Miranda. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 1981.

FOGLIATTO, Flávio Sanson; FAGUNDES, Paulo Ricardo Motta. **Troca Rápida de Ferramentas: Estude de Caso**. Revista Gestão & Produção, Porto Alegre, V10, n.2, p.163-181. 2003

GOMES, L. C., MÜLLER, C. J., NETO, F. J. K. **Utilização do Balanced Scorecard (BSC) para avaliar a contribuição do Sistema Toyota de Produção (STP) à estratégia de empresas**.

MEIRELLES, Fabrício Menegoni. **Implantação da troca rápida de ferramentas em uma indústria siderúrgica**. Dissertação. PPGEP:UFRGS, 2004.

MILANEZ, Alexandre. **Estudo da calibração de barras chatas laminadas a quente em um laminador trio**. Dissertação. PPGEM:UFRGS, 2006.

OLIVEIRA, Adriano. **Estudo comparativo do desgaste de navalhas de aço AISI S1 e SAE 4340 durante o corte de sucata**. Dissertação. PPGEM:UFRGS, 2008

P. R. N. Pivato, A. J. Abdalla, C. A. R. P. Baptista, T. M. Hashimoto, M. S. Pereira, R. M. Anazawa. **Estudo comparativo do comportamento mecânico em tração e fadiga dos aços com microestruturas multifásicas.** 17º Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais, 2006

PLENTZ, Rafael Schumacher. **Otimização do processo de resfriamento do aço mola SAE 9254 durante a laminação.** Dissertação. PPGEM:UFRGS, 2009.

RIZZO, E. M. S. **Processos de laminação dos aços: Uma introdução.** São Paulo. ABM, 2007

SHINGO, S. **Sistema de Produção com Estoque-Zero. O Sistema Shingo para melhorias contínuas.** Porto Alegre, Editora Bookman, 2006

SHINGO, S. **Sistema Toyota de Produção – do ponto de vista da Engenharia de Produção.** Porto Alegre, Editora Bookman, 2006

VIANA, Márcio Costa. **Análise de defeitos superficiais com origem no processo de laminação de aços especiais para a cadeia automotiva e implementação de soluções.** Dissertação. PPGEM: UFRGS, 2000