

DIEGO ANTONIO FRANZAO

REDUÇÃO DE EMPENO EM BARRAS TREFILADAS DO AÇO SAE 9254

Trabalho de Graduação apresentado ao Conselho de Curso de Graduação em Engenharia Mecânica da Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, como parte dos requisitos para obtenção do diploma de Graduação em Engenharia Mecânica.

Orientador: Prof. Dr. . Angelo Caporalli Filho

Guaratinguetá

2011

F837r

Franzao, Diego Antonio

Redução de empeno em barras trefiladas do aço SAE 9254 / Diego Antonio Franzao – Guaratinguetá : [s.n], 2011.

50 f : il.

Bibliografia: f. 48

Trabalho de Graduação em Engenharia Mecânica – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, 2011.

Orientador: Prof. Dr. Angelo Caporalli Filho

Coorientador: Valdir Alves Guimarães

1. Retificação e polimento I. Título

CDU 669

REDUÇÃO DE EMPENO EM BARRAS TREFILADAS DO AÇO SAE 9254

DIEGO ANTONIO FRANZAO

**ESTE TRABALHO DE GRADUAÇÃO FOI JULGADO ADEQUADO
COMO PARTE DO REQUISITO PARA A OBTENÇÃO DO DIPLOMA DE
GRADUADO EM ENGENHARIA MECÂNICA**

**APROVADO EM SUA FORMA FINAL PELO CONSELHO DE CURSO DE
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA**

Prof. Dr. Mauro Hugo Mathias
Coordenador

BANCA EXAMINADORA:



Prof. Dr. ANGELO CAPORALLI FILHO

Orientador/UNESP-FEG



Prof. Dr. VALDIR ALVES GUIMARÃES

Coorientador/UNESP-FEG



EDUARDO TOBIAS CARDOSO DINIZ

GERDAU

Dezembro de 2011

DADOS CURRICULARES

DIEGO ANTONIO FRANZAO

NASCIMENTO	24.12.1987 – ROLÂNDIA / PR
FILIAÇÃO	Wanderley Franzao Marilsa Aparecida da Silva Franzao
2002/2004	Curso Técnico ETE Polivalente de Amaericana
2005/2010	Curso de Graduação Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá – Universidade Estadual Paulista “Julio Mesquita Filho”

Dedicatória

à minha família, em especial aos meus pais Wanderley e Marilsa, por todo apoio e incentivo ao longo de minha vida.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por ter iluminado meu caminho e guiado meus passos, agradeço pela minha vida, pela minha saúde, pela minha capacidade, pela minha família e por meus amigos.

À minha família agradeço por todo apoio, compreensão e incentivo dados tanto para a realização desse trabalho, quanto durante a graduação e em outros momentos de minha vida.

A toda a equipe da Trefila de Barras, sem a qual este projeto não aconteceria. A colaboração dos membros de tecnologia de gestão que me auxiliaram na análise dos dados.

Agradeço de modo especial aos amigos da republica Atecubanos, que estiveram sempre dispostos a me ajudar, fazendo análises sobre este e muitos outros trabalhos desenvolvidos.

Agradeço à GERDAU, por ter fornecido subsídios para a realização desse trabalho. Em particular, agradeço aos engenheiros Carlos Henrique e Eduardo Tobias, pelo incentivo na realização desse estudo e apoio profissional.

Epígrafe

“Bom mesmo é ir a luta com determinação
Abraçar a vida com paixão,perder com classe e
vencer com ousadia, pois o mundo pertence a
quem se atreve,...”

Charles Chaplin

Franzao, Diego Antonio **Redução de empeno em barras trefiladas do aço SAE 9254**. 2011. 52 f. Trabalho de Graduação (Graduação em Engenharia Mecânica)- Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá – Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2011.

RESUMO

No presente trabalho estuda-se o processo de fabricação de barras trefiladas do aço 9254, a partir de fio máquina laminado. Estas barras são utilizadas na indústria automotiva para fabricação de molas helicoidais, que compõe o sistema de amortecimento de diversos veículos.

O processo de trefilação é composto pelas etapas de pré-endireitamento, decapagem mecânica, trefilação, corte e polimento.

O estudo tem como objetivo a busca pela configuração das variáveis de processo, que apresentam o melhor resultado com relação a empeno. Para isso foram mantidas as configurações de pré-endireitamento e decapagem mecânica e variados ângulos da polideira e a fieira, sendo estudada a substituição da fieira com um ângulo de trabalho, por uma fieira com dois ângulos de trabalho.

Para auxiliar na análise dos resultados foi utilizado a ferramenta DOE, do Software Minitab, que avalia a variação dos resultados de acordo com cada parâmetro e com a interação dos parâmetros. Dessa forma foi possível verificar a melhor condição para trefilação.

PALAVRAS-CHAVE: Trefilação, empeno, polimento.

Franzao, Diego Antonio **Reduction of the binding wire drawn steel bars SAE 9254.** 2011. 52 f. Graduate Work (Graduate in Mechanical Engineering)- Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá – Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2011.

ABSTRACT

In this paper we study the process of manufacture of wire drawn steel bars 9254, from rolled wire rod. These bars are used in the automotive industry for the manufacture of coil springs, which make up the system damping of several vehicles. The wire drawing process consists of the steps of pre-straightening, shot peening, drawing, cutting and polishing.

The study aims to search for the configuration of process variables, which present the best result with respect to bending. To this were maintained settings pre-straightening and mechanical stripping and varied angles and stringer polish being studied to replace the spinneret with a working angle, for a string with two working angles.

To assist in the analysis of the results was the tool used DOE Software Minitab, which assesses the variation in results according to each parameter and the interaction parameters. It was thus possible to determine the best condition for wire drawing.

KEYWORDS: Wire Drawing, bending, polishing.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Exemplos de defeitos encontrados em barras, bobinas e lingotes.	27
Tabela 2: Resultados de dureza.....	46
Tabela 3: composição química do material	46
Tabela 4: Resultados de empeno.....	47

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Gráfico de distribuição do retrabalho	12
Figura 2: Gráfico de desempenho manual.....	13
Figura 3: Fluxograma dos processos realizados na Aciaria.	15
Figura 4: Pátio de sucata.....	16
Figura 5: Carregamento do forno elétrico.	17
Figura 6: Retirada da temperatura.....	17
Figura 7: Vazamento do aço líquido para a panela.....	18
Figura 8: Detalhes do forno panela.	19
Figura 9: Esquema de uma máquina de Lingotamento Contínuo.	20
Figura 10: Veios do lingotador contínuo.....	21
Figura 11: Leito de resfriamento.....	22
Figura 12: Fluxo do processo de laminação leve.	23
Figura 13: Anel descarepador.....	24
Figura 14: Gaiolas da Laminação 2.	25
Figura 15: Detalhes do interior de uma gaiola do bloco kocks.....	26
Figura 16: Stelmor com a bobina em processo de resfriamento.	26
Figura 17: Fluxo de produção de uma barra trefilada.....	28
Figura 18: Exemplo de como é montado o mapa de processo	29
Figura 19: Deformação do material no pré endireitador.....	33
Figura 20: Granalhas esféricas e angular (http://www.cmv.com.br/jateamento/?gclid=COP2pP2u86wCFQ5T7Aod12SnLg,2011)..	34
Figura 21: Típico efeito da decapagem.....	34
Figura 22: Aplicações de barras de aço trefilado	36
Figura 23: Fieira	37
Figura 24: Zona de deformação na trefilação e variação do parâmetro delta (WRIGHT 1979)	38
Figura 25: Vista superior dos rolos e ângulos de endireitamento	39
Figura 26: ilustração do processo de endireitamento.....	40
Figura 27: ilustração da fieira com dois ângulos de trabalho, com detalhe. (http://www.atina-fieiras.com.br/servicos , 2011)	41
Figura 28: Gráfico das principais bitolas retrabalhadas.....	42
Figura 29: Ilustração do dispositivo para medir empeno com o relógio comparador	43
Figura 30: Ilustração do que é medido no relógio comparador.....	44
Figura 31: micrômetro digital.....	45
Figura 32: Durômetro Brinell.....	45
Figura 33: Gráfico de significância dos fatores.....	48
Figura 34: Gráfico da correlação entre os parâmetros	48
Figura 35: Gráfico da distribuição amostral.....	49

1. INTRODUÇÃO.....	12
1.1 Justificativas	12
1.2 Objetivo	14
1.3 Produção do Fio –Máquina	14
1.3.1 Aciaria.....	14
1.3.2 Laminação.....	22
1.4 Trefila de Barras.....	28
1.4.1 Desbobinamento.....	32
1.4.2 Pré- Endireitamento	32
1.4.3 Decapagem mecânica.....	34
1.4.4 Trefilação	35
1.4.5 Corte.....	38
1.4.6 Polimento	39
1.4.7 Inspeção superficial.....	40
1.4.8 Embalagem	40
2. MATERIAIS E MÉTODOS	41
2.1. Fieira com Dois Ângulos de Trabalho.....	41
2.2. Etapas para realização do projeto.....	41
3. RESULTADOS E COMENTÁRIOS.....	46
4. CONCLUSÃO	50
5. SUGESTÃO PARA TRABALHOS FUTUROS	51
6. BIBLIOGRAFIA	52

1. INTRODUÇÃO

1.1 Justificativas

Esse trabalho surgiu devido ao grande volume de material que é retrabalhado por conta de empeno excessivo.

Para iniciar o trabalho foi separado entre os retrabalhos realizados para verificar qual tipo de retrabalho mais impactava na produção de barras trefiladas. Como demonstrado na figura 1 o desempenho manual é o retrabalho predominante.



Figura 1: Gráfico de distribuição do retrabalho

Seguindo com a Estratificação, verificou-se dentre os materiais produzidos qual era o que mais era desviado para retrabalho. E conforme apresentado na figura 2 o principal aço gerador de retrabalho é o 9254.

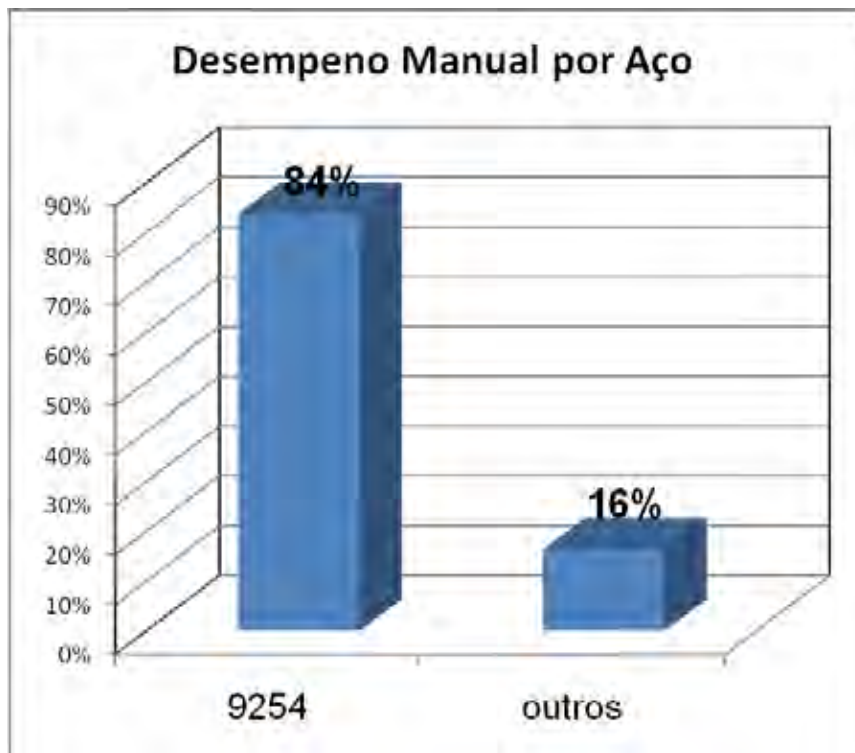


Figura 2: Gráfico de desempenho manual

Este aço é utilizado principalmente para produção de molas helicoidais, que compõe o sistema de amortecimento de diversos carros, justamente pela sua elevada elasticidade. Com o avanço dos processos de produção, a procura pela minimização dos custos passa pelo desenvolvimento de novos equipamentos, com tolerâncias de matéria-prima cada vez menores, superando as normas reguladoras como a NBR 8647, que trata de empenamento em barras. Isso faz com que produtos outrora considerados bons e enviados diretamente para o cliente, tenham que ser retrabalhados para atingir a especificação. Dessa forma ocorre um aumento volume de material retrabalhado e conseqüentemente do custo de produção e do lead time do produto.

1.2 Objetivo

Realizar um estudo sobre os parâmetros de processo para produção de barras trefiladas do aço 9254 sem tratamento térmico, buscando entender quais etapas do mesmo influenciam no empeno e quais as condições favoráveis para minimizá-lo.

1.3 Produção do Fio –Máquina

As barras no processo de trefilação combinada são produzidas a partir de bobinas laminadas a quente. Entretanto para até a produção das bobinas, o aço passa por diversas etapas de transformação, neste trabalho serão detalhados os processos de aciaria e de laminação, focando sempre nos processos da Gerdau unidade de Pindamonhangaba, local de desenvolvimento do projeto.

1.3.1 Aciaria

A produção do aço começa com o recebimento da matéria prima e a separação da sucata, então os cestos são montados para a corrida. Os cestos são despejados no forno elétrico, onde se faz a fundição do material e ajustes de composição. Em seguida o material fundido é vazado em uma panela, onde, quando necessário, é feita a retirada de escória flutuante, então esta panela vai para o forno panela. Nesta etapa é feito o refino secundário, ajuste de temperatura de lingotamento e acerto de ligas e composição química. Em seguida é feita uma desgaseificação a vácuo para a retirada H, N e O, então o material é transportado para o lingotamento contínuo. A seguir na figura 3 um fluxo do processo na aciaria.

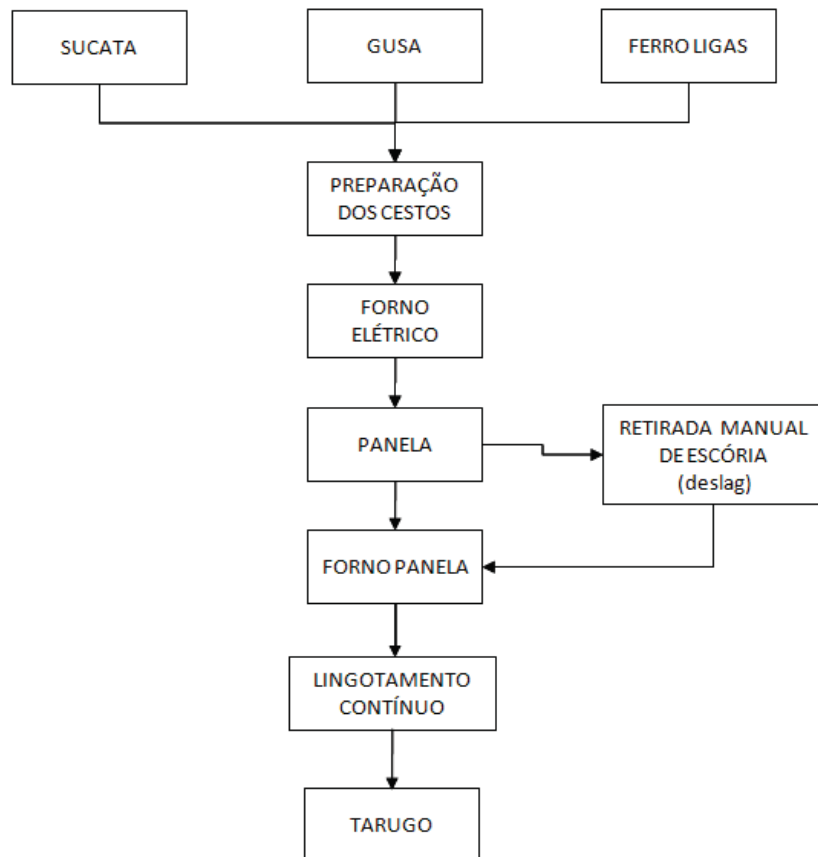


Figura 3: Fluxograma dos processos realizados na Aciaria.

O processo é iniciado com o recebimento da sucata. Os controladores do pátio devem ter um cuidado especial quanto à inspeção da sucata, pois algumas impurezas são muito prejudiciais ao processo de refino e fusão do aço. Essa preocupação é importante, pois algumas dessas impurezas não podem ser retiradas do aço e, portanto, farão parte da composição química final do mesmo.



Figura 4: Pátio de sucata.

A carga é montada com uma determinada logística para que não seja necessária a compactação da carga no forno, o que também gera um melhor rendimento da fusão e resulta em menos consumo de energia.

No forno elétrico a arco (FEA) a carga é fundida. Este possui três eletrodos (energia elétrica) e três maçaricos a gás natural (energia química) que proporcionam o calor suficiente para a fundição da sucata. O forno começa a funcionar somente com os eletrodos e, um minuto depois do arco elétrico ser aberto, os maçaricos são acionados. A potência dos maçaricos vai aumentando até a força máxima, as chamadas lanças supersônicas. Cada eletrodo e maçarico funcionam no seu ritmo, de acordo com a necessidade de calor. A temperatura dos eletrodos varia entre 3000 a 3500 °C.

O consumo de energia elétrica é entre 30000-40000 kwh por corrida e cada corrida é processada por volta de 90 minutos. A corrida normalmente é formada por três cestos, o 1º cesto demora por volta de 25 a 30 minutos para fundir completamente; já o 2º perto de 20 min e 3º cesto menos de 20 min. Juntos, os cestos têm por volta de 95 a 105 toneladas, gerado uma corrida com um rendimento de aproximadamente 92 toneladas. A figura 5 ilustra o carregamento do forno elétrico.



Figura 5: Carregamento do forno elétrico.

A principal função do forno elétrico é fundir o aço e fazer o refino primário, ou seja, algumas impurezas são controladas nesta etapa. A escória funciona como um concentrador de impureza e é retirada posteriormente.



Figura 6: Retirada da temperatura.

Para ser otimizado, o aço deve estar a uma temperatura maior que 1670°C e esta temperatura é medida pelo operador do forno através de um dispositivo medidor de temperatura, um processo perigoso que exige muito cuidado. A seguir é ilustrada a retirada da temperatura.

Após a fusão completa do material, é retirada uma amostra para análises de teor de carbono, composição química e temperatura do banho. A amostra de composição química é enviada para o laboratório por um sistema pneumático e analisada dentro de poucos minutos. Com o resultado dessa análise o operador do forno pode realizar o primeiro ajuste grosseiro, ou refino primário, que nada mais é

que a adição de determinados elementos químicos, como Carbono, Silício, Manganês, Níquel, Molibdênio, etc. após o refino primário, uma segunda amostra é verificada. Se tudo estiver certo, a escória é retirada e o aço líquido é vazado para a panela. A remoção da escória é feita inclinando o forno para que a escória caia em um pote com capacidade de 7 toneladas, e a cada corrida este pote é esvaziado. Como mostrado na figura 7.



Figura 7: Vazamento do aço líquido para a panela.

Durante o vazamento alguns fatores são controlados, como temperatura (mínimo de 1640°C), oxigênio e composição química. Após o vazamento a panela com o aço líquido vai para o Deslag, equipamento onde será feita mais uma remoção de escória, dessa vez uma remoção manual da escória sobrenadante do banho, esse procedimento é realizado somente quando necessário. A panela com o aço líquido é então encaminhada para o refino secundário no forno panela.

O forno panela é formado por 3 eletrodos, e nele são feitos o refino secundário, a adequação da temperatura de lingotamento, adição de todas as outras ligas que não foram adicionadas no forno panela, controles de composição (como enxofre, carbono e óxidos), controle da escória, garantia de homogeneidade e desgaseificação à vácuo, que controla teores de nitrogênio, oxigênio e hidrogênio.



FORNO PANELA

Figura 8: Detalhes do forno panela.

A escória está repleta de óxidos, então uma nova escória é produzida, e esta vai reter impurezas. Com este acerto de escória, o tempo do processo é reduzido, pois ela vai proteger o arco elétrico. A nova escória também ajuda a controlar o teor de enxofre (dessulfuração). Todo o enxofre é retirado da escória e então adicionado novamente, para que não se forme ligas com enxofre.

A desgaseificação a vácuo é feita para retirada de gases (H, N, O), mas também possibilita fazer um controle da quantidade desses gases de acordo com a especificação do cliente. A homogeneidade do aço é assegurada com a flotação a vácuo de argônio ou nitrogênio. O nitrogênio só é utilizado quando seu teor no aço está mais baixo que o especificado, mas na maioria dos casos se usa o gás inerte que não incorpora no aço e não muda sua composição. O gás é injetado por baixo da panela e ocorre uma agitação constante do aço, o argônio evapora, passa pelo condensador, onde é limpo e vai para a atmosfera, as impurezas são retidas pela escória. O vácuo arrasta os gases e impurezas que devem ser retirados até a homogeneidade do aço, a esse processo de misturar o aço dá-se o nome de rinsagem. O controle da temperatura é realizado antes do vácuo, pois durante a desgaseificação ocorre uma perda de temperatura. A temperatura depende da porcentagem de carbono e da rota a qual o aço vai ser destinado, quanto menor o teor de carbono, maior deve ser a temperatura.

Durante o refino secundário são feitas simulações de dureza. Os elementos que compõem o aço são analisados, o programa calcula os valores

teóricos e estes devem estar dentro de uma faixa de valores especificados pelo cliente.

O último procedimento realizado é a retirada de uma amostra para análise de composição. Se a porcentagem de algum elemento der menor que o especificado, fios de liga são adicionados para garantir a composição do aço e fazer sua correção. Esses fios contendo elementos químicos (como carbono, alumínio, titânio, boro, etc) são adicionados ao final do processo, depois do vácuo. Essa adição é realizada com diferentes velocidades e em uma ordem específica para que o elemento químico atinja o banho e não fique na escória.

Após o material estar na forma líquida e com a composição desejada, a panela com o aço é deslocada para o lingotamento.

O lingotamento contínuo tem como finalidade transformar o aço líquido em tarugos de seção 155x155mm. O esquema de uma máquina de lingotamento contínuo é apresentado na figura 9.

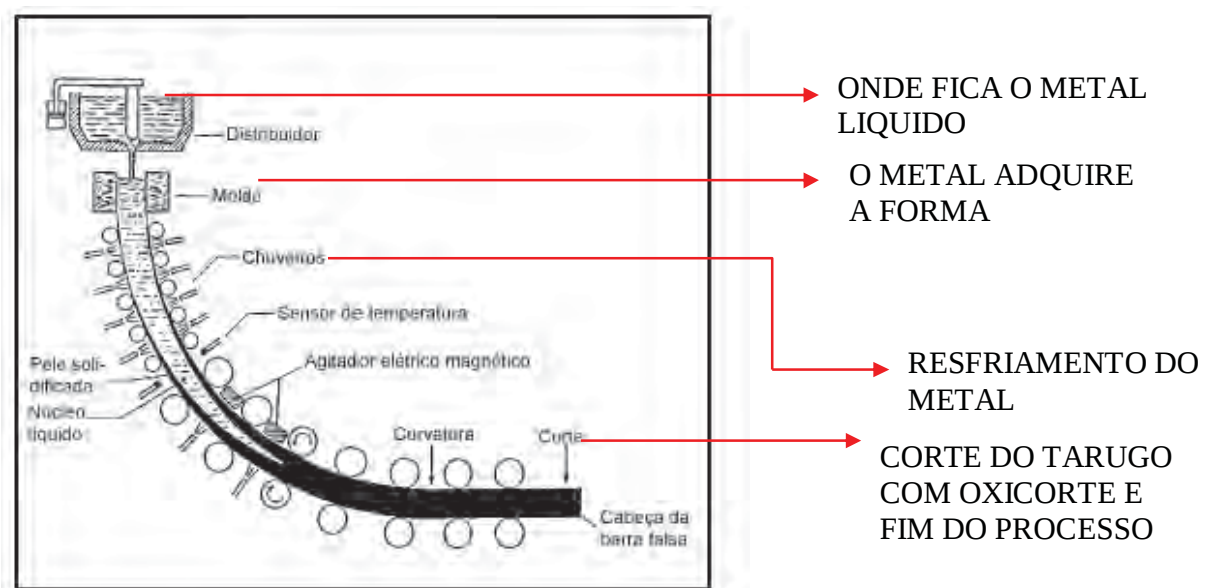


Figura 9: Esquema de uma máquina de Lingotamento Contínuo.

O lingotador contínuo possui seis veios, mas geralmente são utilizados somente 5 (50 minutos para seis veios e 1 hora para cinco veios). A figura 10 mostra o vazamento.



Figura 10: Veios do lingotador contínuo.

O carro que suporta o distribuidor é posicionado para que os canais do mesmo fiquem alinhados com os moldes. Os moldes são revestidos com pó fluxante para impedir o contato do aço com o ar e lubrificar as paredes do molde. Em seguida, é feita a abertura da válvula para iniciar o processo de enchimento do distribuidor. Assim que tiver mais ou menos sete toneladas dentro do distribuidor, é aberta a válvula tampão para o início do processo de lingotamento. O controle do volume é feito por radioatividade, que é proveniente de uma fonte de Co60.

Quando a próxima corrida vai ser de um aço diferente, a válvula tampão é aberta quando tiver somente 3,5 toneladas de aço líquido dentro do distribuidor e este volume é descartado, pois ocorre uma mistura entre os dois tipos de aço.

A velocidade de lingotamento deve ser controlada de acordo com a temperatura para evitar trincas, essa relação entre temperatura e velocidade define os defeitos finais do aço. Geralmente, a velocidade é de 1,5 metros/minuto e a temperatura que o aço começa a se solidificar é de 1496°C , mas essa relação pode variar de acordo com o aço.

Durante o lingotamento é feito um resfriamento em água e depois os tarugos são resfriados ao ar no leito durante uma hora e meia. Para aços críticos, o tempo no leito de resfriamento é de quatro horas e meia para evitar o choque térmico e problemas de empenamento. O leito de resfriamento é mostrado na figura 11.



Figura 11:Leito de resfriamento.

Como no momento do lingotamento o aço está a uma temperatura muito próxima da solidificação, ocorre uma oscilação nos moldes de 7 mm, que tem a função de preencher todos os espaços com o aço líquido sem deixar vazios no veio e de não deixar o mesmo grudar no molde. Essa oscilação é feita por um dispositivo chamado agitador eletromagnético (SEM). Esse equipamento faz o com que a solidificação da superfície, que ocorre primeiro, seja mais homogênea com a agitação do aço.

O tarugo lingotado é cortado por oxicorte, seu comprimento varia de 7 a 14,9 m, sempre com bitolas de 155 mm. Após o lingotamento contínuo, todos os tarugos vão para a laminação 2.

1.3.2 Laminação

A laminação 2 é abastecida tanto por barras provenientes da laminação 1 quanto por tarugos do lingotamento contínuo. Estes são pré-aquecidos pelo forno de reaquecimento e laminados na forma desejada. A primeira etapa dos tarugos na laminação 2 é o enformamento, que tem como objetivo conferir os dados do tarugo, a OP do aço, número do lote, quantidade de tarugos a serem enformados e, se algum dos dados não estiver correto a peça volta ao pátio. Outra função desta etapa é conferir o peso do tarugo.

Todos os tarugos são pesados e, através da esteira, são encaminhados ao leito do forno sendo marcada a hora em que o tarugo entrou no forno. O último tarugo de cada OP é marcado com uma manta cerâmica no topo que está virado para o lado da cabine de enformamento, para a identificação física no desenformamento.

No caso de troca de bitolas ou troca de tipos de aço deve ser respeitado um espaço de tempo de enformamento, que é determinado pela engenharia e tabelado para os operadores. Como, por exemplo, a troca de bitola 47,63 mm para 46,04 mm deve possuir um espaço temporal de 27 minutos e um espaço físico de 15 espaços. Em caso de paradas previstas pela laminação a providência a ser tomada pelo enformamento é deixar de enformar o número de tarugos equivalentes à parada. O fluxo do processo da laminação leve é ilustrado a seguir na figura 12.

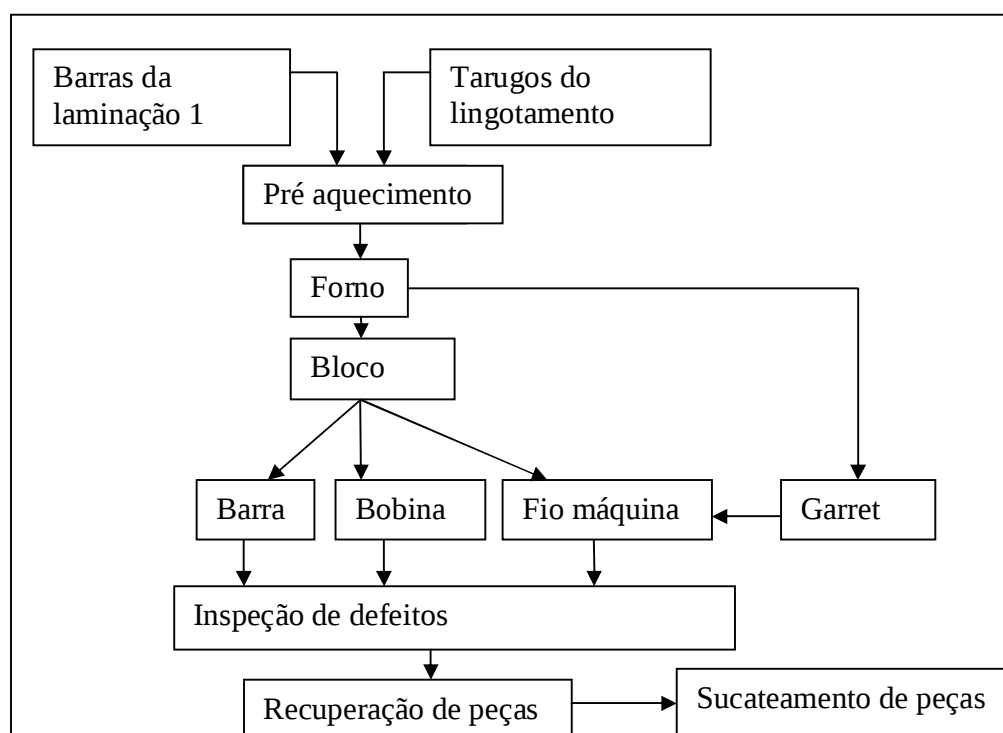


Figura 12: Fluxo do processo de laminação leve.

No pré aquecimento também é realizada a inspeção visual de defeitos apenas nos lados livres do tarugo, no momento em que é realizada a leitura dos dados deste. Os tarugos a serem entornados podem apresentar defeitos que provocaram outros tipos de defeitos ao longo do processo. Os defeitos que podem

ser encontrados são: marca de oscilação, cavidade na face, marca mecânica, tarugo empenado, risco na face, risco no raio de canto, perfuração no veio, cavidade de oxicorte, incrustação de pó, trinca longitudinal, raio de canto vivo, pele dupla e risco transversal. Em caso de ser detectado algum defeito, o tarugo continua o processo, mas as próximas etapas deste são notificadas. Em caso de empenamento de alto grau o tarugo volta ao pátio.

A função do forno soleira móvel é aquecer os tarugos. Sendo a capacidade do forno de 90 toneladas. O forno pode ser dividido em 5 zonas: pré-aquecimento, aquecimento, aquecimento, primeira fase do encharque e a segunda fase do encharque. As variáveis controladas no forno são a temperatura, taxa de aquecimento, taxa de descarbonetação, atmosfera de O₂ e CO₂. O controle das temperaturas varia com a família do aço em questão, podendo ser processado diferentes aços no forno, desde que seja respeitado um limite de distância entre estes, que é tabelada e especificada pela engenharia. No caso de paradas da laminação o forno deve baixar a temperatura, e se a permanência deste for elevada é necessária a análise de descarbonetação do aço no laboratório.

Quando os tarugos e barras saem do forno passam pelo anel descarepador, conforme mostra a figura 13. Este anel tem a função de retirar a carepa por meio de quatro jatos de água de alta pressão, que também pode ser controlada no equipamento.



Figura 13: Anel descarepador.

Após passar pelo anel descarepador, este segue para as gaiolas do laminador. O laminador tem por função deformar mecanicamente à quente os tarugos, podendo produzir três tipos de produtos: barras, bobinas e blocos. Sendo um processo contínuo composto por gaiolas de rolos verticais e horizontais, mostradas na figura 14.



Figura 14: Gaiolas da Laminação 2.

Cada gaiola é composta por dois roletes apresentados na figura 14, que são responsáveis pela redução e formato do perfil, e uma caixa de rolete que tem a função de guiar o aço para os roletes. Após o material passar pelo laminador este é encaminhado ao Bloco Kocks, que tem a função de calibrar as bitolas e garantir o diâmetro destas. Todas as bitolas passam pelo Bloco Kocks, que é constituído por 4 gaiolas, conforme pode ser visto na figura 15. As gaiolas são constituídas de três rolos cada, de modo que a primeira e a terceira gaiola seguem a posição em Y (para cima) e a segunda e quarta gaiolas seguem a posição Y (para baixo).

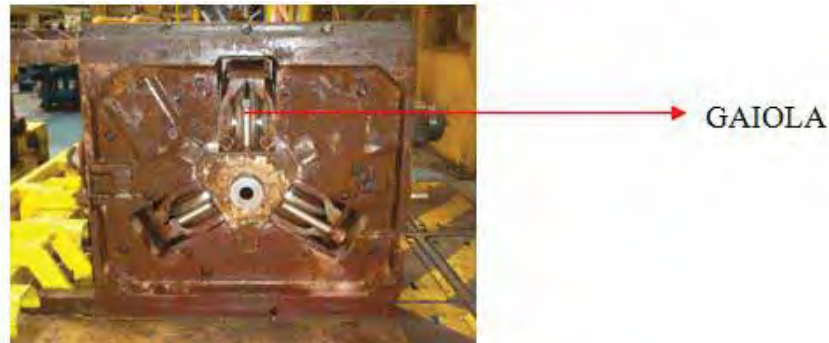


Figura 15: Detalhes do interior de uma gaiola do bloco kocks.

Após passar pelo bloco kocks o material segue para o Higauge, que tem a finalidade de fazer a leitura dimensional de 100% do material, podendo ser utilizado em materiais com uma temperatura de até 1.000°C . Após passar pelo Higauge o material pode seguir para três processos distintos: Bloco de Gaiolas velozes (BGV), leito, Garret.

O BGV, é constituído de 10 gaiolas, 5 verticais e 5 horizontais e tem a função de reduzir as bitolas por deformação à quente, formando bobinas, sendo produzidas bitolas de 5,50 mm à 23,81 mm.

Após a formação da bobina no BVG a bobina é resfriada no Stelmmor, que é responsável por controlar a taxa de resfriamento. Possuindo um ventilador na parte posterior da esteira e uma cobertura para diminuir a perda de calor.



Figura 16: Stelmmor com a bobina em processo de resfriamento.

Após passar pelo Bloco Kocks o material pode ser vendido como barra. O leito tem a função de resfriar a barra e o resfriamento ocorre pelo contato desta com o ar. O resfriamento é necessário para possibilitar um corte preciso do material,

conforme especificado pelo cliente. A velocidade em que as barras caminham pelo leito é automática e determinada pelo tamanho de bitola e tipo de aço. A cada troca de bitola é retirada manualmente uma amostra que é encaminhada à inspeção de superfície e dimensão.

Nesta etapa ocorre inspeção a cada 10 tarugos produzidos, sendo analisada a circularidade, a bitola e defeitos superficiais. A análise de circularidade é realizada pelo relógio comparador. A bitola é medida pelo paquímetro e os defeitos superficiais por partícula magnética. Alguns dos defeitos encontrados são apresentados na tabela 2.

Tabela 1: Exemplos de defeitos encontrados em barras, bobinas e lingotes.

Na produção de fio máquina são feitos os perfis redondos, com bitolas acima de 23 mm. Também é realizado testes de dimensão e superfície.

Defeitos	Modo de detectar	Causa	Ação
Escamas	Inspeção magnética	-Oriundos de tarugos espelhados; -Aderimento de carepa na sola do forno; -Material em atrito com as guias.	-Alinhar as ferramentas; -Limpar a sola do forno.
Estrias	Inspeção magnética	Incrustação de carepa	-Eliminar reduções excessivas nos passes iniciais; -Verificar pressão do descarepador, vazão da água,...
Fora da bitola	- Higaue; -Paquímetro; - Relógio comparador	-Plano de passe; -Canal errado.	Interromper laminação, corrigir bitola.
Bigode	Inspeção magnética	-Excesso de material no final do processo. -Tração/ compressão excessiva.	Verificar alinhamento e velocidade.
Dobra	Inspeção magnética	Excesso de material em passes intermediários.	Verificar alinhamento e plano de passe.

Na etapa de acabamento superficial ocorre a inspeção de defeitos dimensionais, superficiais e visuais. Os defeitos encontrados com mais frequência são as estrias, descontinuidades, dobras, trincas, palhas e bigode, sendo empregados

os equipamentos: ultra-som e Circoflux. Para evitar a mistura de materiais é realizado o teste de fagulha em todas as peças e Spectrotest em uma peça por lote. Após a inspeção, as barras são identificadas por placas de aços com o número da OP e o número do lote.

A figura 17 ilustra o fluxo de processo desde o pátio de sucata até a trefila combinada.

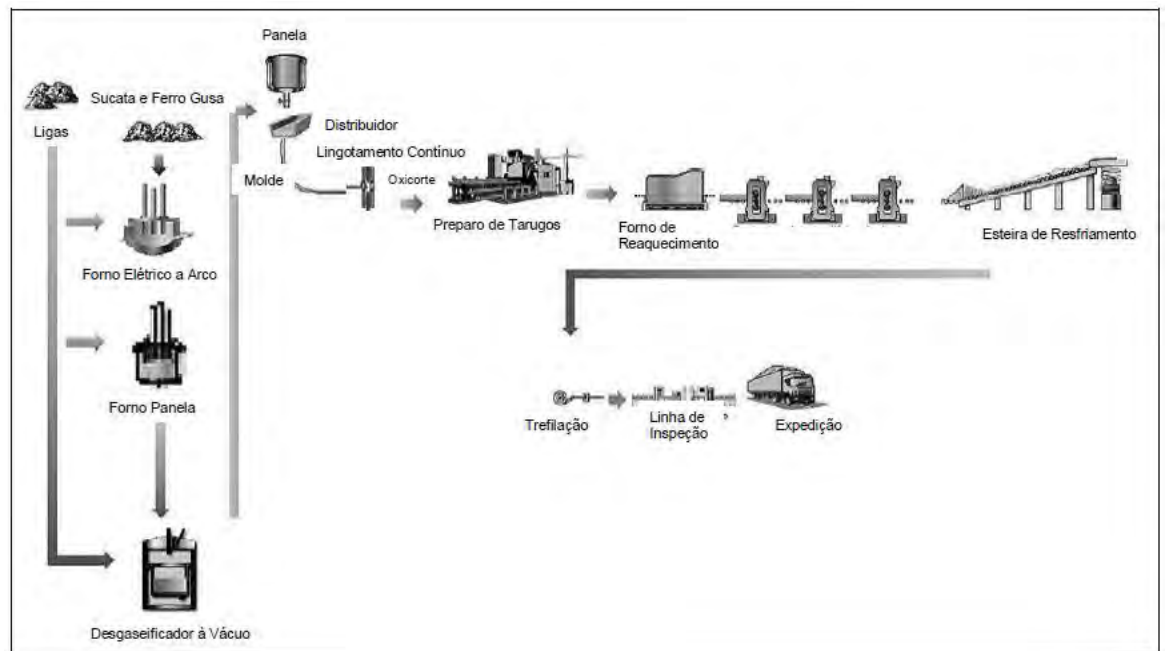


Figura 17: Fluxo de produção de uma barra trefilada

1.4 Trefila de Barras

Para iniciar o estudo da etapa de trefilação, foi construído juntamente com os operadores uma mapa de processo, aproveitando assim o conhecimento das pessoas que mais acompanham esse problema.

O mapa possui a seguinte estrutura:

- Em retângulos centrais está escrito a etapa do processo, na sequência em que ele acontece. Estão descritas as etapas que influenciam na variável que está sendo analisada, no caso deste trabalho, empeno¹.
- Nos retângulos menores, na parte inferior está o produto desta etapa do processo.
- Acima são descritos os problemas que existem em cada etapa do processo.

Abaixo são descritas as causas de cada problema.

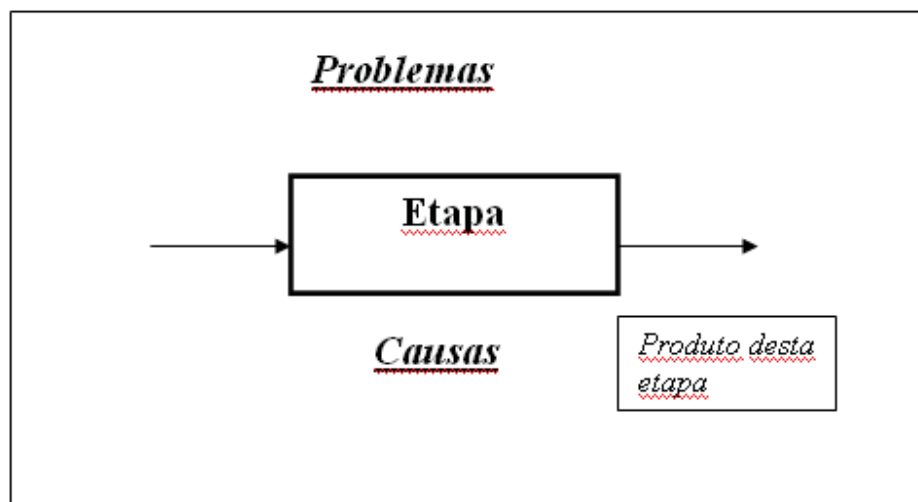


Figura 18: Exemplo de como é montado o mapa de processo

Esse tipo de análise permite visualizar de forma simples as variáveis de cada etapa, mostrando a relação de causa e efeito, uma vez que um problema não solucionado em uma etapa torna-se causa de outro problema em outra etapa.

¹ Foi acrescentado ao mapa a etapa de resfriamento das bobinas, mesmo esta não sendo uma etapa de trefilação, pois dessa forma concentraríamos as variações devido a condição de matéria prima na variável resfriamento das bobinas.

Problemas

Bobinas com aço com dureza maior do que o normal

Material com tensões internas residuais

Fio máquina com carepa ou sujeira na superfície

Resfriamento das bobinas

Pré Endireitamento

Decapagem

Bobinas

Fio máquina pré endireitado

Fio máquina decapado

Causas

Tampa da esteira aberta durante o resfriamento

Ventilador ligado durante o resfriamento

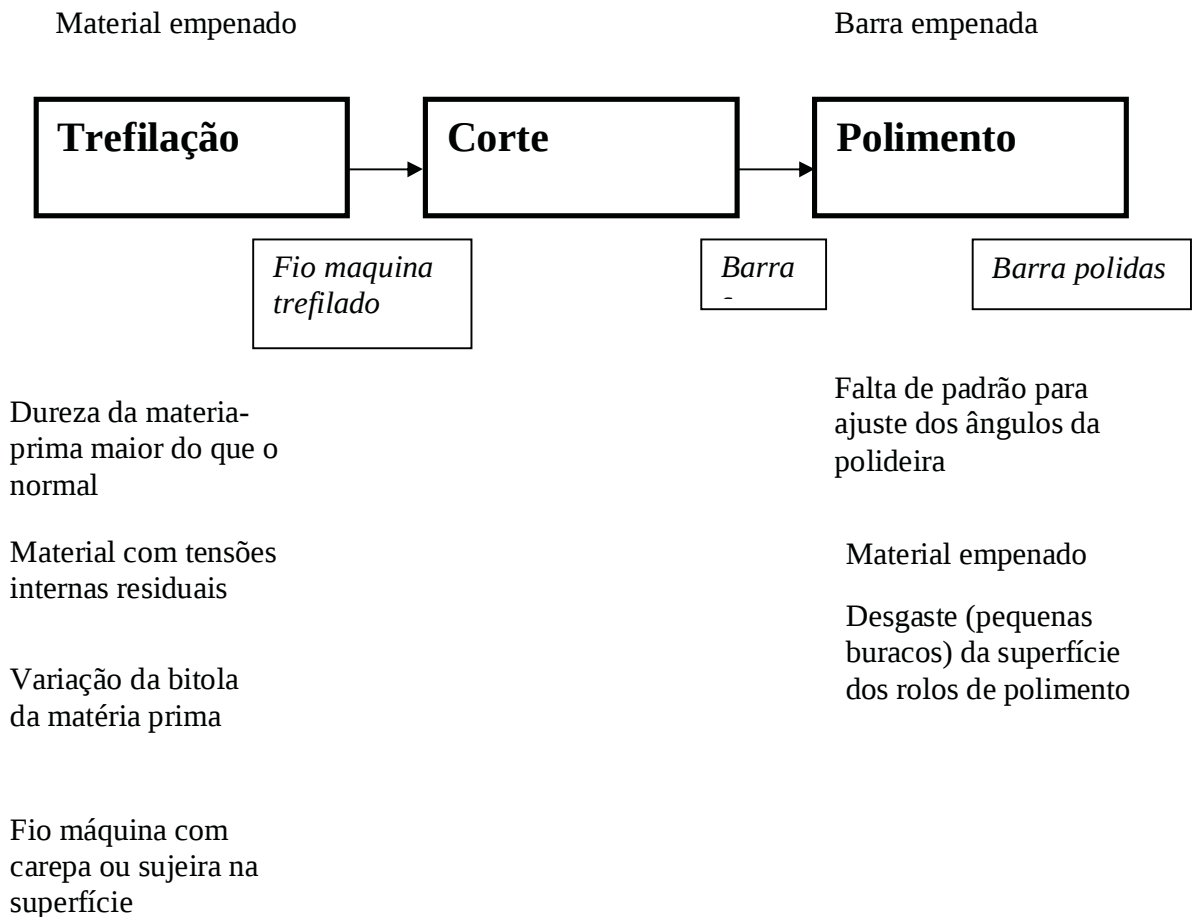
Bobinas com aço com dureza maior do que o normal

Falta de pressão nos rolos do pré endireitador

Baixa amperagem nas turbinas

Falta de granalha

Problemas



O mapa de processo pode ser utilizado como referência, para início do trabalho. Entretanto as etapas necessárias têm uma pequena diferença das levantadas no mapa de processo, isso se deve o melhor nível de detalhe nesta nova divisão, permitindo uma visão mais ampla do processo.

- ❖ Desbobinamento;
- ❖ Pré endireitamento;
- ❖ Decapagem mecânica;
- ❖ Trefilação;
- ❖ Corte;
- ❖ Polimento
- ❖ Inspeção superficial;
- ❖ Embalagem;

1.4.1 Desbobinamento

Este processo consiste em posicionar o fio-máquina em uma plataforma que possa girar, para tornar essa etapa mais eficiente, pode-se deixar sempre duas plataformas com fio-máquina, diminuindo assim a interrupção de produção para reabastecimento do equipamento.

O abastecimento pode ocorrer de diferentes formas, descendo o fio-máquina através de ponte rolante, deitando a desbobinadeira e encaixando o fio-máquina, ou deitando a desbobinadeira, se a mesma possuir um canal, pode ser utilizado um gancho com formato de C para posicionar a matéria-prima.

Com relação ao empeno que é o objeto de estudo deste trabalho, nesta etapa não existem pontos críticos, sendo que a única característica relevante é a conservação do formato da bobina, não provocando ovalização ou marcas na mesma, por isso nem sequer apareceu no mapa de processo.

1.4.2 Pré- Endireitamento

A segunda etapa do processo é pré-endireitamento, onde o fio-máquina passa por rolos que provocam uma deformação do mesmo, tornando-o retilíneo. Tal deformação pode ser visualizada na figura 19.



Figura 19: Deformação do material no pré endireitador

Embora seja uma etapa pouco estudada do processo, a fase de pré-endireitamento é muito importante para o nível de empenamento do material. É nessa etapa que o material inicia o processo de deformação plástica que resultará nas barras.

Mesmo sendo muito importante, as variáveis desta etapa que influenciam no empeno são de fácil monitoramento e difícil padronização. Tendo em vista que a condição do material é avaliada no início do processo pelo operador, e caso a condição não seja boa, isso dificulta a passagem do material para próximas etapas.

1.4.3 Decapagem mecânica

Nesta etapa o fio-máquina é atingido por granalhas de aço esféricas. A granalha utilizada é uma mistura de dos tipos distintos de granalha, a angular e a esférica. Ambas são mostradas na figura 20 abaixo.

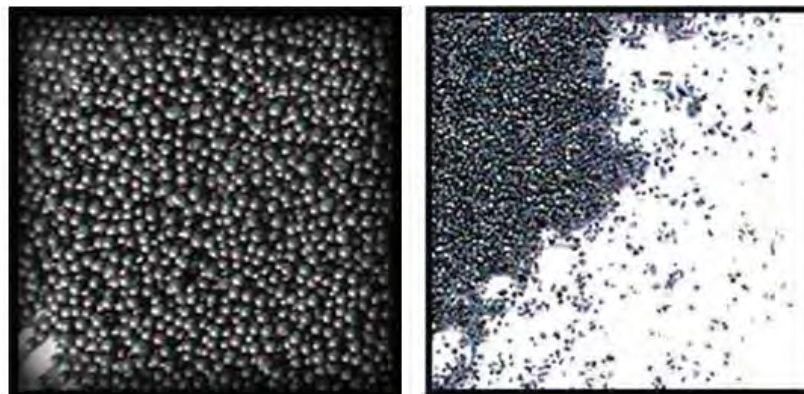


Figura20: Granalhas esféricas e angular

(<http://www.cmv.com.br/jateamento/?gclid=COP2pP2u86wCFQ5T7Aod12SnLg,2011>)

Essa granalha é utilizada para obter uma boa limpeza da superfície sem marcas excessivas. A figura 20 mostra o funcionamento do processo de decapagem por shot peening.

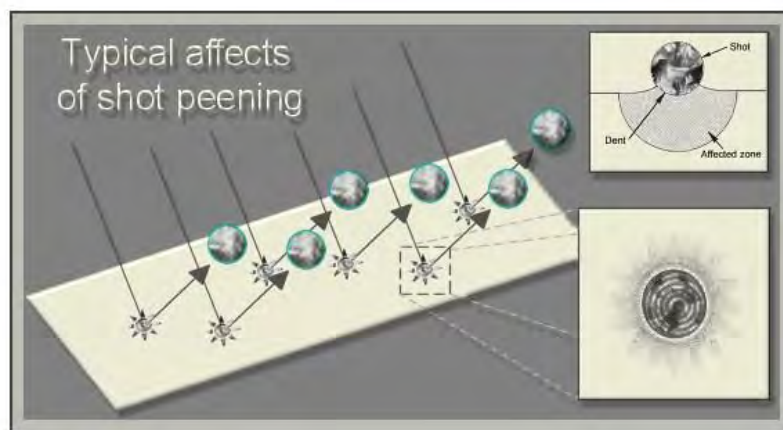


Figura 21: Tipico efeito da decapagem

No processo de shot peening as granalhas são lançadas contra a superfície do fio - máquina por turbinas, sendo direcionadas através de bocais para o material. Como ilustrado na figura as granalhas colidem com a superfície do material retirando assim carepa e sujeira, tornando a superfície adequada para lubrificação.

Após a colisão as granalhas são novamente elevadas até a parte superior do equipamento onde novamente serão impulsionadas pelas turbinas. Antes desse novo lançamento, elas passam por peneiras, sendo que as granalhas com menos de um quarto do diâmetro inicial, são descartadas como pó.

1.4.4 Trefilação

A trefilação é utilizada como método de produção de fios a cerca de 1200 anos, existindo evidências de sua existência desde o início da utilização de metais como ouro e prata. (NEWBURY 2004).

O processo de trefilação a partir de fio máquina permite o acabamento a frio de barras com alta produtividade e excelente condição superficial e é largamente utilizado para produção de molas helicoidais, hastes de amortecedores e diversas outras aplicações, como ilustrado na figura a 22.



Figura 22: Aplicações de barras de aço trefilado

Este processo consiste na redução da seção do material através do tracionamento do fio-máquina através de uma matriz de metal duro, fieira. Sendo assim a redução se dá por esforços indiretos de compressão, da matriz sobre o material.

A figura 23 apresenta as regiões que compõe uma fieira comum, utilizada na produção de barras ou arames redondos. A primeira região é o cone de entrada, tal região é importante para a lubrificação da fieira. Constantemente tem que existir um fio de lubrificante entre o material e a mesma, uma deficiência na manutenção desse fio de lubrificante, pode ocasionar riscos no material, ou até mesmo a quebra da fieira.

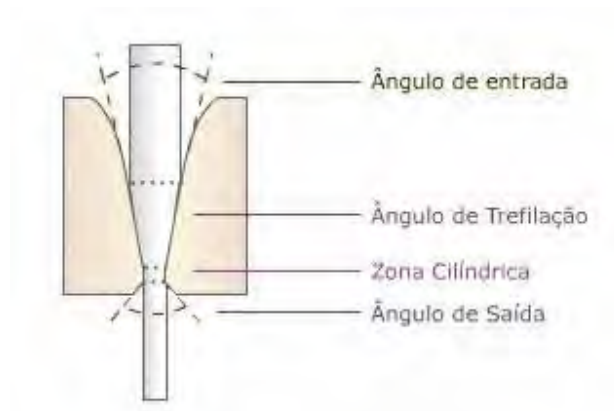


Figura 23: Fieira

A segunda região é o cone de redução, também conhecido como cone de trabalho, onde o material entra em contato com a fieira. Um cone de trabalho com um ângulo de trefilação muito grande aumenta a força de trefilação e as tensões na região central do material e com isso o risco de defeitos internos. Um ângulo de trefilação pequeno dificulta a manutenção do filme lubrificante, além de aumentar o atrito, aumentando conseqüentemente a temperatura de trefilação. A figura a seguir ilustra alguns ângulos de trefilação e associado aos mesmos, algumas recomendações de comprimento do cone e redução. É importante avaliar também a região do cone de redução onde o material deve entrar em contato com a fieira, devendo ser no meio do cone. O contato no começo do cone ocasiona um esforço demasiado na matriz, um contato apenas com o final do ângulo, gera uma deformação muito pequena, podendo comprometer a qualidade superficial do trefilado.

O ângulo de redução ideal pode ser calculado utilizando a seguinte fórmula.

$$\beta = 1,225 \sqrt{\varphi * \mu}$$

$$\varphi = \ln(A_i/A_f)$$

Entretanto devido a diversidade de diâmetros produzidas essa formula é utilizada como referência, sendo que comumente não é seguida a orientação. A figura 24 exemplifica ângulos de feiras para determinadas condições.

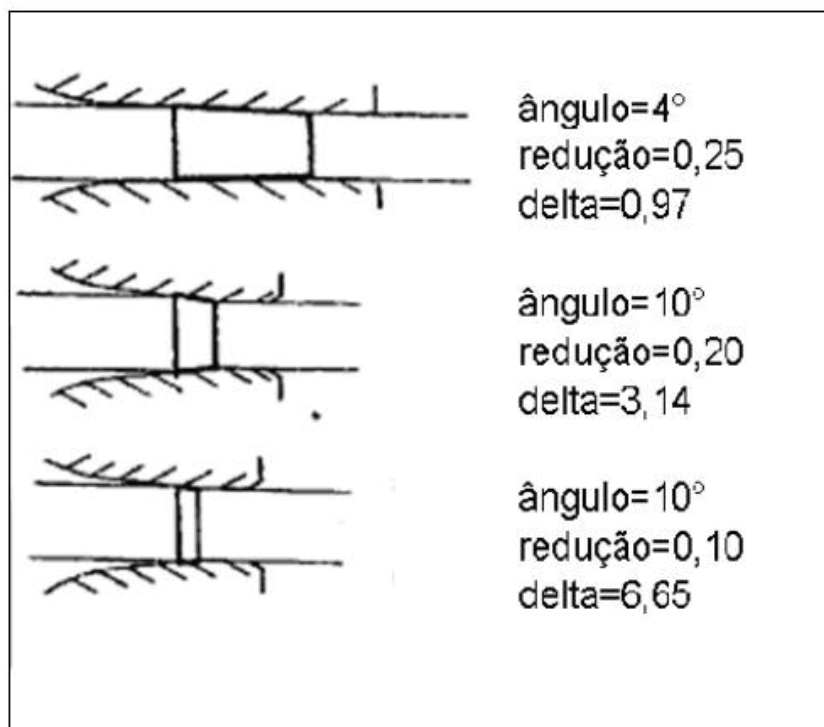


Figura 24: Zona de deformação na trefilação e variação do parâmetro delta (WRIGHT 1979)

A terceira região é uma região de calibração do diâmetro, sendo que na verdade ela possui um pequeno ângulo, sendo o mesmo menor do que 1°. A zona cilíndrica possui uma importância para reduzir a variação diâmetro ao longo do processo. Após o cone de calibração existe o cone de saída, para auxiliar na deformação elástica após a trefilação.

1.4.5 Corte

O corte é feito por um sistema hidráulico. Para obter uma boa qualidade de corte, a tesoura acompanha o material por cerca de 1m, cisalhando o material como se as barras estivessem paradas, ficando o cisalhamento perpendicular a superfície do material.

1.4.6 Polimento

Após a etapa de corte se obtém barras efetivamente, entretanto o processo a partir de fio-máquina precisa da etapa de polimento para atingir a especificação de empeno da maioria das aplicações. O processo de polimento analisado utiliza dois rolos hiperbólicos, uma côncavo e outro convexo, inclinados em sentidos contrários em relação ao eixo de passagem das barras. Como ilustra a figura 25.

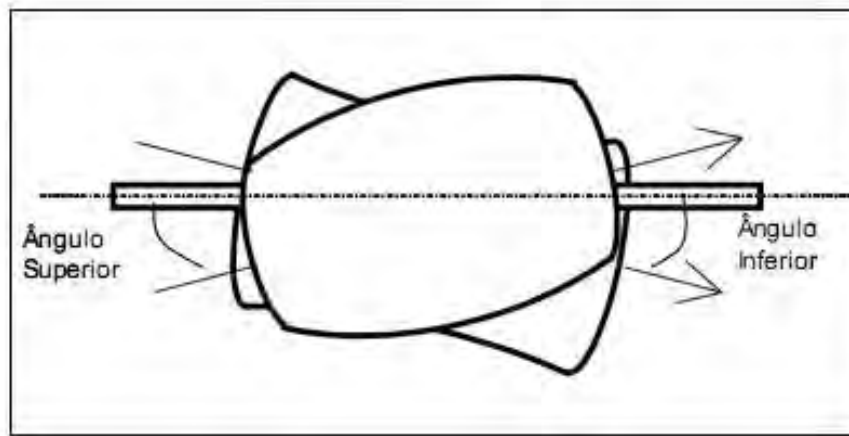


Figura 25: Vista superior dos rolos e ângulos de endireitamento

Nesta etapa do processo pode-se observar uma redução na tensão de escoamento causada pelo amolecimento gerado pela deformação cíclica. Este fenômeno é conhecido como efeito Bauschinger, nome do pesquisador que relatou isso pela primeira vez em 1886 e foi um dos grandes responsáveis pelos estudos relacionados a fadiga de materiais (BANNANTINE 1990). A figura 26 ilustra a deformação sofrida pelo material durante a etapa de polimento.

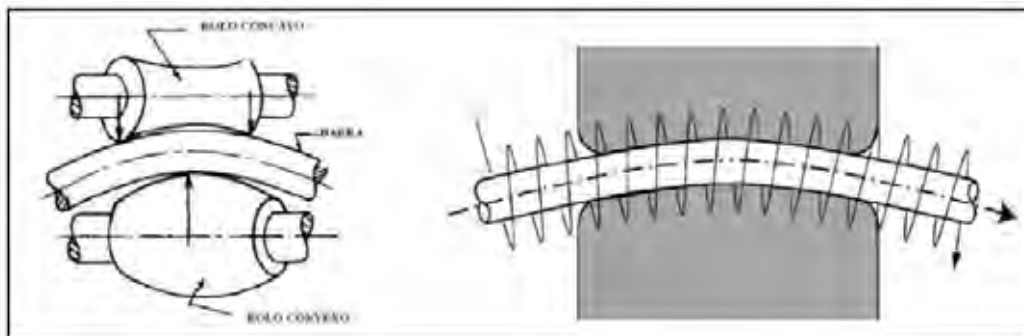


Figura 26: ilustração do processo de endireitamento

1.4.7 Inspeção superficial

A inspeção superficial acontece através do sistema de corrente parasita. Uma corrente é induzida na superfície do material, sendo que qualquer defeito superficial provoca uma distorção no campo gerado pela corrente, essa distorção é detectada pelo equipamento e através disso é enviado um sinal que separa as barras reprovadas.

1.4.8 Embalagem

Todos os lotes produzidos são sextavados e amarrados com cinta metálica, sendo que dependendo da especificação dos clientes pode ser colocado papel crepado, calço de madeira ou pintadas as pontas. Para facilitar a etapa de inspeção anti mistura nesta etapa os lotes são batidos para alinhamento das pontas.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. Fieira com Dois Ângulos de Trabalho

O princípio de funcionamento da fieira com dois ângulos de trabalho é semelhante ao da fieira normal apresentada anteriormente, ela possui todos os elementos de uma fieira normal, com a única diferença que seu cone de trabalho é dividido em dois, uma com uma inclinação acentuada para materiais mola, e outra menor. A estrutura de uma fieira de dois ângulos é mostrada na figura 27.

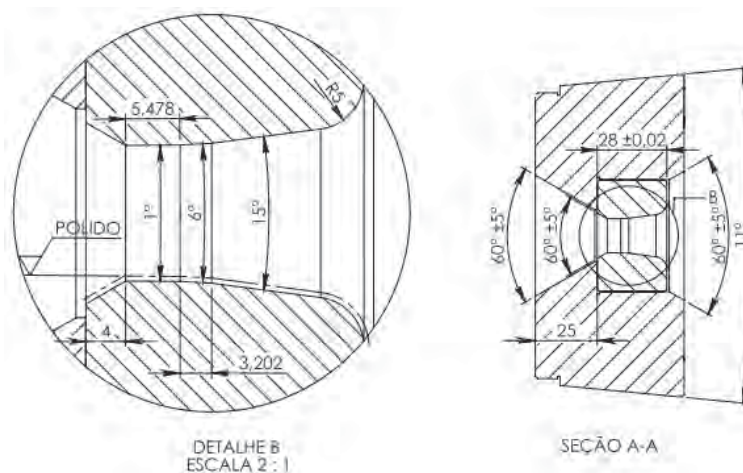


Figura 27: ilustração da fieira com dois ângulos de trabalho, com detalhe. (<http://www.atina-fieiras.com.br/servicos>, 2011)

2.2. Etapas para realização do projeto

O desenvolvimento da fieira com 2 ângulos de trabalho foi realizado em conjunto com o fornecedor de fieiras. A fieira foi desenvolvida originalmente para trefilação de grampos de feixes de mola de caminhões. Entretanto pelas características da mesma foi levantada a possibilidade de testá-la na produção de barras para molas helicoidais. Como a fieira tem que ser fabricada para produzir barras de um determinado diâmetro, foi verificado qual seria o material com maior

volume de retrabalho dentre todos os do aço 9254. Para isso foi montado um pareto e o resultado é apresentado na figura 28.

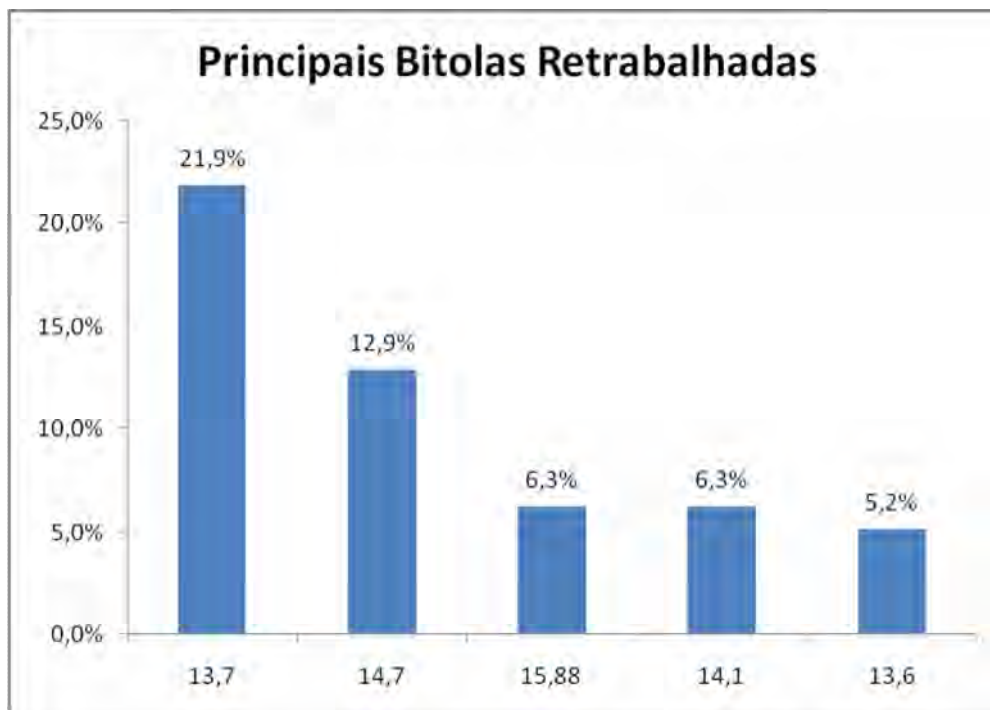


Figura 28: Gráfico das principais bitolas retrabalhadas

Após a determinação de em qual material seria realizado o experimento, foi solicitado ao fornecedor de fieiras a fabricação de uma fieira para testes, sendo que a mesma chegou a Trefila de Barras apenas no mês de outubro.

De posse da fieira foi realizado o experimento, que consistiu na regulagem normal do equipamento, que consiste em:

- Ajustar os rolos do pré endireitador obtendo na saída do mesmo o fio máquina alinhado.
- Ligar as turbinas da decapagem mecânica, atentando-se para a indicação di nível de granalha e a amperagem das turbinas.
- Colocar a fieira selecionada.
- Ajustar comprimento da barra no supervisório.
- Ajustar ângulo da polideira.
- Ajustar parâmetros de inspeção.

Uma vez ajustados os parâmetros os mesmos não foram modificados, apenas a fieira e o ângulo da polideira serão variados.

Para medição do empeno foi utilizado um dispositivo de 1 m, com dois apoios nas extremidades, sendo a foto do dispositivo mostrada na figura 29. Um relógio comparador é posicionado na região que apresentar a maior flecha da barra.



Figura 29: Ilustração do dispositivo para medir empeno com o relógio comparador

Em seguida a barra é girada até que a marcação do relógio comparador inverta o sentido de rotação. Neste ponto encontra-se a flecha máxima da barra, sendo então girado o marcador graduado posicionando o zero no ponto onde ocorreu a inversão de sentido. A partir desse ponto gira-se novamente a barra, cada volta que o ponteiro do relógio representa um milímetro de empenamento na barra. Entretanto o empeno total obtido representa duas vezes o empeno da barra, pois o valor obtido é a distância do ponto mais alto que a barra fica posicionada até o ponto mais baixo, sendo o empeno a medida do plano central até o ponto mais alto. Logo a medida do relógio deve ser dividida por dois, obtendo assim a medida do empeno. As medidas do empeno e a obtida no relógio estão mostradas na figura 30.

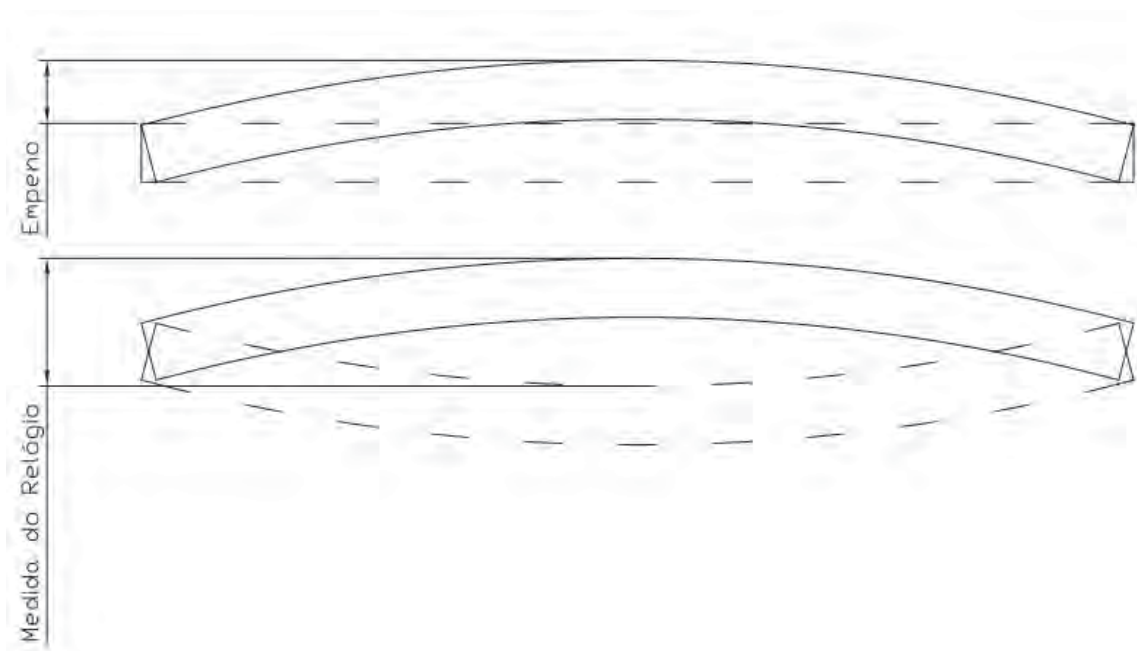


Figura 30: Ilustração do que é medido no relógio comparador.

Os testes foram realizados do seguinte modo. Todas as amostras pertencem a mesma ordem de produção, minimizando assim qualquer variação de qualidade referente a matéria prima, tendo em vista que a composição química e condição de processo foram iguais para as bobinas. Foram mantidos todos os parâmetros do processo de trefilação, sendo testado apenas a influencia da variação de dois fatores, a fieira e os ângulos da polideira, ou seja, o processo foi ajustado com a fieira normal. Quando se observou a estabilidade do processo foram retiradas 5 amostras buscando sempre a pior barra da bobina. Sendo as mesmas medidas conforme o procedimento descrito acima. Na bobina seguinte foi variado o Ângulo da polideira e novamente colidas amostras. Para terceira bobina foi substituída a fieira de um ângulo de trabalho, pela que possuía dois ângulos de trabalho, sendo então coletadas mais cinco amostras. Na quarta bobina foi novamente variado o ângulo ajustado na polideira, retornando a condição inicial e tomadas as cinco últimas amostras. Os resultados foram analisados utilizando a ferramenta DOE, do programa Minitab que mostra a melhor condição de operação e se existe correlação entre as variáveis.

Para realização o experimento foram utilizadas 4 bobinas de Aço SAE 9254 com diâmetro podendo variar de 13,70 até 13,77 mm, medidos com micrômetro Mitutoyo digital com precisão milésimal, como a figura 31.



Figura 31: micrômetro digital

Cada bobina com aproximadamente 1800 kg, foi realizado ensaio em uma amostra de matéria prima os ensaios de dureza Brinell. Esse ensaios foram realizados sendo a amostra preparado segundo a NBR NM 187-1. Sendo medidos os valores de dureza em um durômetro Brinell com esfera de 2,5 mm e carga de 187,5 kgf, conforme figura 32.



Figura 32: Durômetro Brinell

3. RESULTADOS E COMENTÁRIOS

Os resultados de dureza são mostrados na tabela 2.

Tabela 2: Resultados de dureza

	Fio-máquina	Barra trefilada
Dureza (HB)	195	345

Foi realizada uma análise de composição química, estão listados na tabela 3 todos os elementos.

Tabela 3: composição química do material

Elementos (%)	C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Mo	V
Mínimo	0,520	0,65	1,25	0,000	0,000	0,65	0,00	0,00	0,0000
Máximo	0,560	0,75	1,35	0,020	0,020	0,75	0,20	0,05	0,0100
Obtido	0,540	0,67	1,28	0,014	0,003	0,72	0,11	0,04	0,0040
Elementos (%)	Cu	Sn	Al	Ti	Nb	N	B	Pb	
Mínimo	0,00	0,0000	0,0080	0,0080	0,0100	0,00000	0,0000	0,0000	
Máximo	0,20	0,0200	0,0180	0,0040	0,0200	0,01100	0,0004	0,0050	
Obtido	0,09	0,0070	0,0140	0,0040	0,0190	0,00850	0,0002	0,0010	

Temos a seguir os dados referentes ao empeno obtido durante a realização do experimento, obtidos conforme procedimento descrito anteriormente em materiais e métodos.

Tabela 4: Resultados de empeno

Empeno (mm)	fieira com 2 ângulos de trabalho	fieira com 1 ângulo de trabalho
ângulo da polideira de 13°	0,75	1,4
	0,85	1,65
	0,92	0,85
	0,6	1,15
	0,7	1,85
ângulo da polideira de 15°	1,05	1,45
	1,4	0,55
	1,3	0,5
	1,2	1,15
	1,2	0,95

Esses resultados foram analisados com o auxílio de uma ferramenta do programa Mini tab chamada DOE.

O primeiro gráfico (figura 33) indica o grau de significância de cada variável separadamente e conjuntamente, a linha vermelha separa fatores que possuem significância de fatores insignificantes. Sendo assim podemos observar que apenas a mudança da fieira ou o ângulo do pré endireitador não tem o mesmo efeito do que o efeito combinado deles.

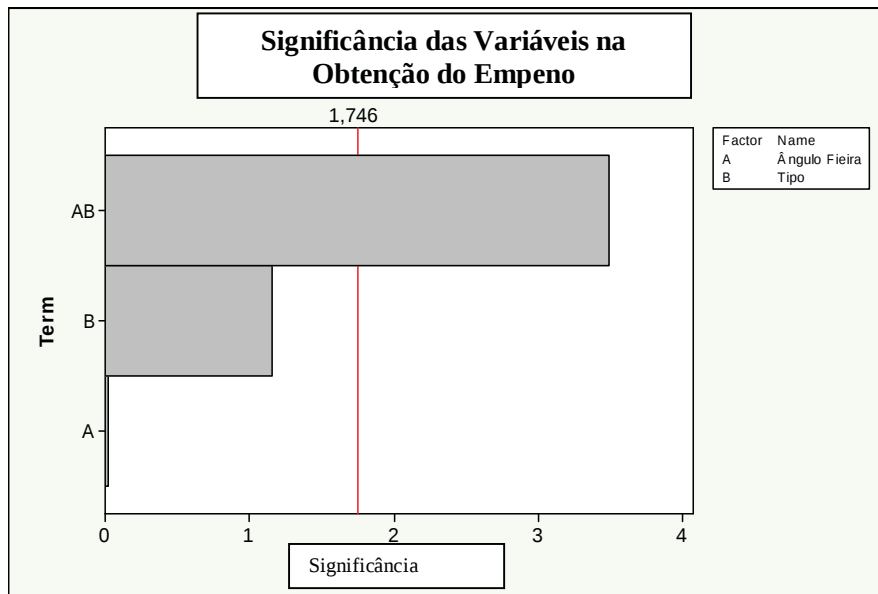


Figura 33: Gráfico de significância dos fatores

Em seguida temos as quatro condições mapeadas, sendo que no eixo y temos o empeno. Sendo assim a condição com melhor nível de empeno é a condição de fieira 2 (com dois ângulos de trabalho) com o ângulo da polideira de 13°. Conforme a figura 34.

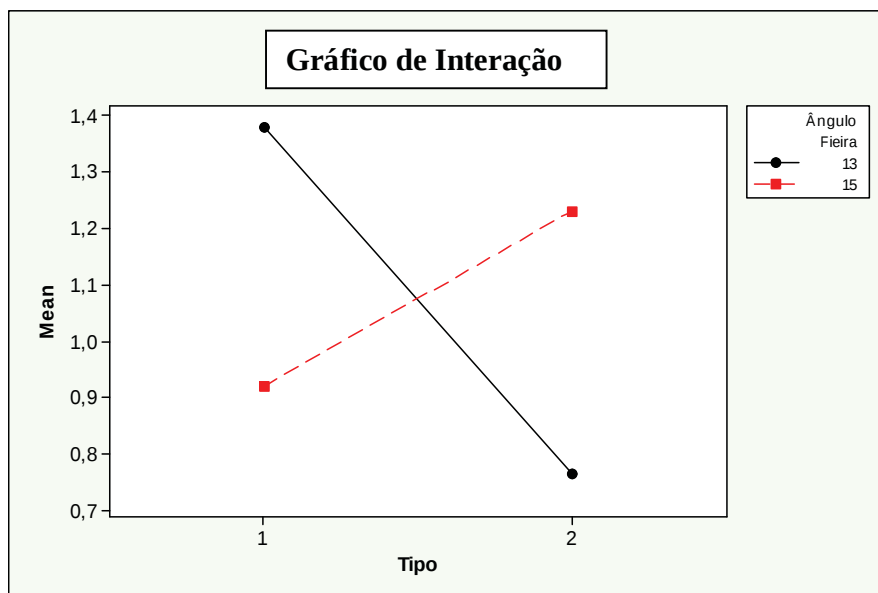


Figura 34: Gráfico da correlação entre os parâmetros

Este terceiro gráfico (figura 35) mostra a distribuição das amostras, sendo cada linha uma condição. Sendo assim temos nas duas primeiras linhas os resultados para o ângulo de 13° e os pontos pretos são os da fieira com um ângulo de trabalho e os pontos vermelhos os dados para fieira com dois ângulos de trabalho.

A linha vertical indica o limite, caso alguma das amostras fique acima da linha o lote terá que ser desviado para retrabalho. Com isso podemos observar dois resultados interessantes, A fieira que apresenta dois ângulos de trabalho proporciona ao processo melhores níveis de empeno, principalmente se combinada com o ângulo de 13° na polideira. Os resultado com a fieira de 2 ângulos de trabalho possuem menor variação, ou seja, o processo fica mais estável, facilitando a detecção de avarias por outros motivos.

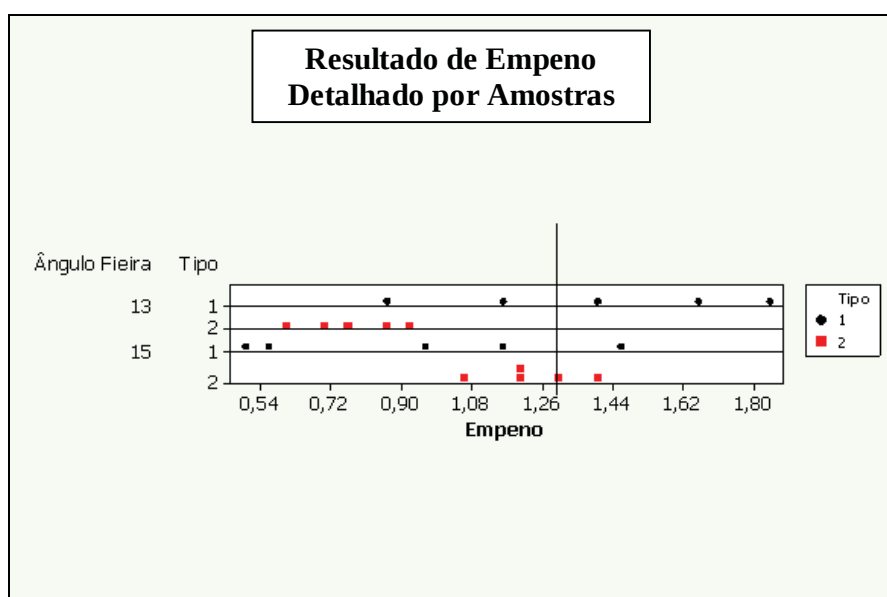


Figura 35: Gráfico da distribuição amostral.

4. CONCLUSÃO

Através dos resultados obtidos, podemos concluir que a fieira com dois ângulos de trabalho representa um avanço no processo na obtenção de menores índices de retrabalho. Verifica-se também que o ajuste da polideira em 13° é mais adequado para o aço SAE 9254 na bitola de 13,70 mm. Como ilustrado na figura 35 ambos fatores afetam a variável empeno, sendo que em todos os experimentos o ângulo de 15° teve desempenho inferior, obtendo maior empenamento nas barras.

Quanto à metodologia de análise, incluindo a utilização do minitab, mostrando o mesmo resultado de diferentes perspectivas e de cada gráfico pode-se analisar uma fator dos resultados. Do primeiro verificamos que existe uma interação entre os fatores, e o mesmo é predominante no ajuste do processo. No segundo pode-se verificar o melhor ponto de operação, e confirma os dados do primeiro, pois quando as curvas de operação de se cruzam há interação entre os fatores analisados. No terceiro novamente verificamos o melhor ponto de operação, mas diferente do segundo gráfico, neste podemos analisar a distribuição dos dados, não trabalhando apenas com a média dos resultados.

5. SUGESTÃO PARA TRABALHOS FUTUROS

Este trabalho foi realizado visando verificação de como o processo responderia a utilização da fieira com dois ângulos de trabalho, entretanto nestes testes apenas o ângulo da polideira foi testado conjuntamente. Para um trabalho mais completo verificando a melhor condição de operação do processo como um todo, deve-se levar em conta outros fatores, como matéria-prima (dureza, ovalização, composição química, presença de defeitos superficiais, forma de resfriamento, microestrutura), condição e posição dos rolos do pré-endireitador redução, além da fieira e do ângulo da polideira. A vantagem de um trabalho tipo DOE, é que o mesmo avalia de uma só vez não só a contribuição de um fator individual para o resultado, mas todos os fatores e o resultado da interação entre eles. Entretanto a desvantagem é que quanto maior o número de variáveis, maior o número de amostras necessárias. A contribuição deste trabalho para realização destes testes é que mesmo sabendo que a fieira influencia o nível de empeno, pode-se referenciá-lo a fim de diminuir o número de amostras testando apenas fieiras com dois ângulos de trabalho.

6. BIBLIOGRAFIA

BANANTINE et al, **Fundamentals of Metal Fatigue Analysis**, Prentice-Hall, 1990.

DIETER, George E., **Metalurgia Mecânica**. segunda edição Rio de Janeiro: Guanabara Coogan, 1981. 561-572 p.

NEWBURY, B.D.,NOTIS M.R.; **The history and evolution of wiredrawing techniques**, JOM magazine 2004.

SCHEY, John A.. **Tribology of Metalworking**. segunda edição Ontario , Canadá: Carnes Publication Service, 1983. 343-393 p.

WRIGHT, R. N., **Mechanical Analysis and die design**, Wire Journal International, p.60-64, outubro 1979.