

N. CLASS.	M620.1
CUTTER	S711+
ANO/EDIÇÃO	2015

CENTRO UNIVERSITÁRIO DO SUL DE MINAS UNIS
ENGENHARIA MECÂNICA
RAISLON DE ARAUJO SÓ

TREFILAÇÃO: Melhorias na eficiência do processo de trefilação em fios de cobre.

Varginha
2015

RAISLON DE ARAUJO SÓ

TREFILAÇÃO: Melhorias na eficiência do processo de trefilação em fios de cobre.

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia Mecânica do Centro Universitário do Sul de Minas como pré-requisito para obtenção do grau de bacharel, sob orientação do Prof. Fabiano Farias.

Varginha
2015

RAISLON DE ARAUJO SÓ

TREFILAÇÃO: Melhorias na eficiência do processo de trefilação em fios de cobre.

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

Aprovado em / /

Prof. Thairone Conti Serafini Aguiar

Prof. Alex Ribeiro Borges

OBS.:

**Dedico este trabalho a todos da minha família,
principalmente a minha querida esposa, a
meus pais e aos amigos que me incentivaram
para concretização do mesmo.**

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por ter me concedido inteligência e sabedoria para concretizar este trabalho, aos meus familiares, por terem tido interesse e, por último a todos os meus amigos por terem me ajudado nessa caminhada.

Grupo Educacional UNIS

“Que os vossos esforços desafiem as impossibilidades, lembrai-vos de que as grandes coisas do homem foram conquistadas do que parecia impossível”.

Charles Chaplin

RESUMO

O mercado consumidor encontra-se cada dia mais competitivo, em consequência desse fato toda empresa visa e busca em seu processo de fabricação um aumento de eficiência produtiva de suas máquinas e equipamentos, através de estudos e ações visam à melhoria de seus processos, redução de tempo para se produzir determinada peça ou equipamento e consequentemente melhorar o desempenho operacional. Com base nesse contexto, este trabalho aborda um estudo relacionado à eficiência de máquinas de trefilação, com a finalidade de fazer um levantamento de possíveis causas dessa má eficiência e fazer um estudo aprofundado sobre as mesmas, a fim de poder melhorar esse ganho em produção, atingindo metas e cronogramas exigidos. Sabe-se que atualmente as empresas são muito focadas em produtividade, fazer um trabalho relacionado a parâmetros de máquinas é de suma importância para se conseguir atingir metas, traçar perspectivas e objetivos planejados, e através dos resultados obtidos tomarem as medidas cabíveis para que esse equipamento alcance um nível de eficiência melhor.

Palavras-chave: Processo. Eficiência. Trefilação.

ABSTRACT

The consumer market is increasingly competitive as a result of this fact every company aims and seeks in its manufacturing process increased productive efficiency of their machinery and equipment, through studies and actions aimed at improving its processes, reduction time to produce a certain piece of equipment and consequently improve operational performance. Based on this context, this paper addresses a related study the efficiency of wire drawing machines, with the purpose of making an inventory of possible causes of poor efficiency and make a thorough study on them in order to be able to improve this gain in production, reaching goals and timelines required. Knowing that currently companies are very focused on productivity, doing work related to machine parameters is critical to successfully achieving goals and outline perspectives and planned objectives, and with the obtained results, take the necessary actions for this equipment reaches a better level of efficiency.

Keywords: Process. Efficiency. Wire Drawing.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Processo de estiramento de arames e fios	12
Figura 2 – Fieira ou matriz de trefilação	13
Figura 3 – Máquina de trefilar sem deslizamento	14
Figura 4 – Máquina de trefilar com deslizamento	15
Figura 5 – Máquina de trefilar com sistema de imersão de lubrificação.....	15
Figura 6 - Máquina de trefilar com sistema de aspersão de lubrificação	16
Figura 7 – Representação esquemática da atuação da ferramenta de trefilação.....	16
Figura 8 – Grupo de máquinas SHX em estudo	22
Figura 9 – Máquina T-37.....	23
Figura 10 – Jumbo de cobre produzido pelo processo ETP	25
Figura 11 – Máquina vertical de fundição contínua para ligas não ferrosas	26
Figura 12 – Mesa de alimentação das placas de catodo	27
Figura 13 – Máquina de fundição contínua onde é retirado o cobre OF.....	28
Figura 14 – Central de lubrificação de trefilação	32
Figura 15 – Fieiras de trefilação.....	34
Figura 16 – Retífica de fieiras	36
Figura 17 – Gaveta de armazenamento de fieiras	36
Figura 18 – Análises de fieiras pelo microscópio	37
Figura 19 – Micrômetro para análise de dimensional do fio trefilado	37
Figura 20 – Armazenamento de fieiras	38
Figura 21 – Amostras coletadas para análises.....	40
Figura 22 – Aparelho de aferir índice de gordura	41
Figura 23 – Aparelho para aferição de pH	41
Figura 24 – Formulário de controle de fieiras	42
Figura 25 – Jogo de fieira pronta para ser distribuído em máquinas.....	43

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
2 PROCESSO DE TREFILAÇÃO	12
2.1 Máquinas de trefilação	13
2.1.1 Modo com que as máquinas de trefilação exercem esforços	13
2.1.1.1 Máquinas de trefilar sem deslizamento	13
2.1.1.2 Máquinas de trefilar com deslizamento	14
2.1.2 Sistemas de lubrificação	15
2.1.3 Diâmetro dos fios trefilados	16
3 COBRE	18
3.1 História do cobre no Brasil	19
3.2 Características do cobre	19
4 LEVANTAMENTO DE POSSÍVEIS CAUSAS DA MÁ EFICIÊNCIA	21
4.1 Matéria-prima	24
4.1.1 Fundição contínua, processo ETP	24
4.1.1 Fundição contínua, processo OF	27
4.2 Lubrificação	30
4.3 Feiras de trefilação	32
5 PLANO DE MELHORIA	39
6 RESULTADOS OBTIDOS	44
CONCLUSÃO	46
REFERÊNCIAS	47

1. INTRODUÇÃO

Em todo processo produtivo industrial nos deparamos com gargalos relacionados a vários aspectos que podem comprometer muito a eficiência de tal processo. Com a evolução da tecnologia nos dias atuais, deve-se sempre tomar certo cuidado com esse aspecto de produtividade, afinal uma boa eficiência está totalmente ligada com equipamentos mais tecnológicos e modernos.

Baseado no controle e no processo de produção de uma empresa como a São Marco, que é uma das maiores empresas do mercado brasileiro de fios esmaltados, será feito um estudo de análise bem aprofundado sobre o processo de fabricação que existe na empresa que é a trefilação, será feito um levantamento de dados sobre determinada máquina cuja eficiência é a mais baixa de toda a produção, com a finalidade de obter fatos relacionados a possíveis causas dessa má eficiência.

Analisar possíveis causas de eficiência de máquinas em um processo produtivo requer muito estudo, pois deve ser levado em consideração estudos relacionados ao processo que a empresa utiliza, nesse caso a trefilação. Ramificar, o máximo possível, as causas prováveis para haver essa má eficiência e logo em seguida tomar as ações necessárias para sanar esse tipo de problema.

Neste contexto, torna-se necessário discutir as atuais informações sobre a eficiência dessa máquina em análise, conhecer os prováveis motivos pelo qual pode estar ocorrendo essa má eficiência, a fim de tomar medidas para melhorar o seu desempenho.

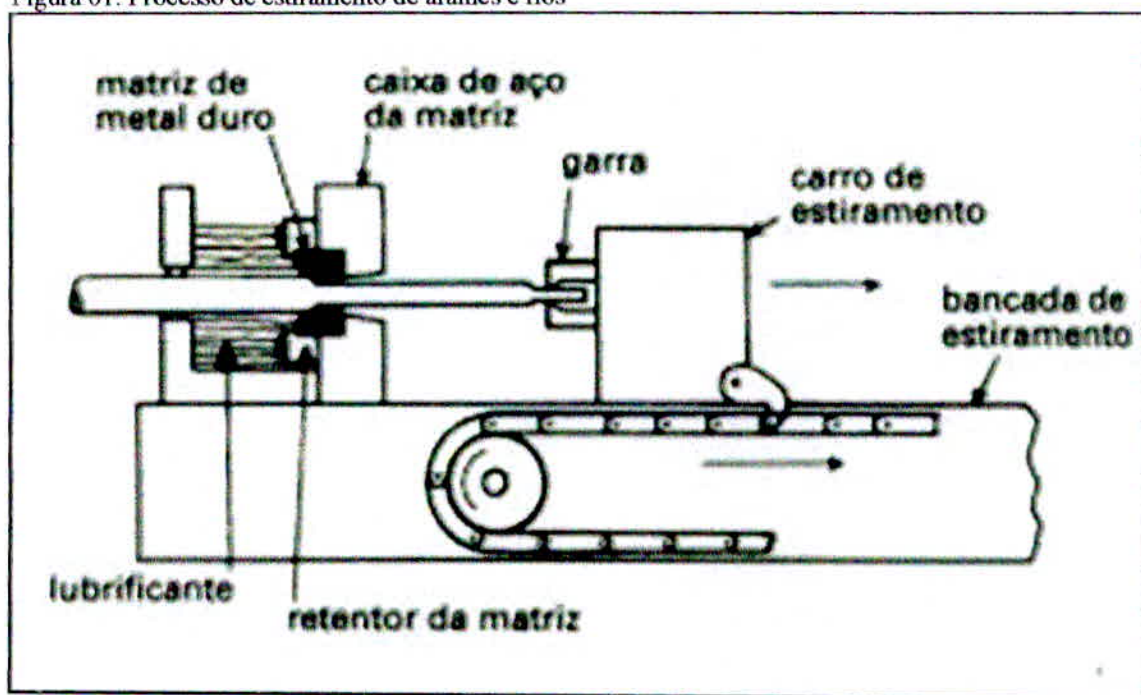
Este trabalho será elaborado a partir de pesquisas bibliográficas, de informações liberadas pelo próprio setor da empresa e de normas regulamentadoras seguidas pela organização.

2. PROCESSO DE TREFILAÇÃO

É um processo de fabricação de arames, barras finas, tubos, entre outros. Consiste em um processo industrial onde acarreta uma redução na seção transversal do material e seu respectivo aumento de comprimento. Essa operação é produzida por máquinas de trefilação ou banco de estiramentos onde se obtém nosso produto acabado.

[...] o equipamento empregado na operação de estiramento de fios e tubos consiste num banco de estiramento, onde um dos principais componentes é a matriz. O fio-máquina é tornado pontudo, por intermédio de uma operação de forjamento rotativo e inserido através da matriz; na outra extremidade, é agarrado nas mandíbulas do banco que é, então, acionado por um mecanismo hidráulico ou mecânico. (CHIAVERINE, 1986, p. 132).

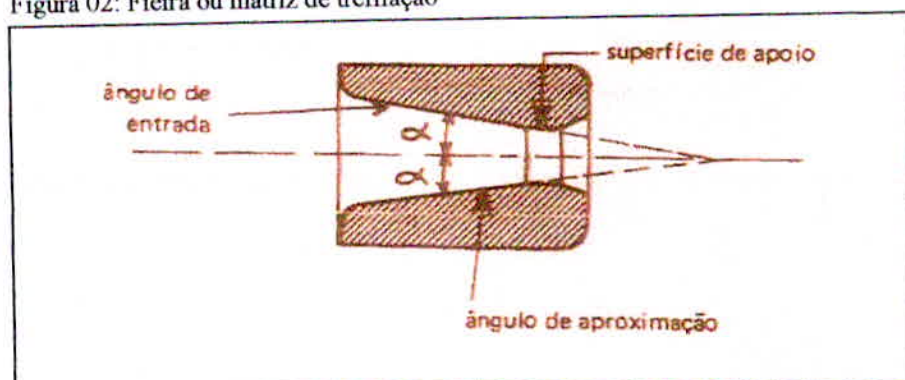
Figura 01: Processo de estiramento de arames e fios



Fonte: (CHIAVERINI,1986).

Para realizar essa redução na seção transversal do material são usadas matrizes denominadas feiras. Essa redução é feita gradativamente, em uma sequência decrescente de acordo com parâmetros de máquinas.

Figura 02: Fieira ou matriz de trefilação



Fonte: (CHIAVERINI, 1986).

2.1 Máquinas de trefilação

As máquinas de trefilar podem ser classificadas segundo três critérios:

- Quanto ao modo com que exercem o esforço de trefilação;
- Quanto aos sistemas de lubrificação adotados;
- Quanto aos diâmetros dos fios trefilados.

2.1.1 Esforços das máquinas de trefilação

Em relação ao modo como exercem esforços de trefilação, temos que considerar dois tipos básicos:

- Máquinas de trefilar sem deslizamento;
- Máquinas de trefilar com deslizamento.

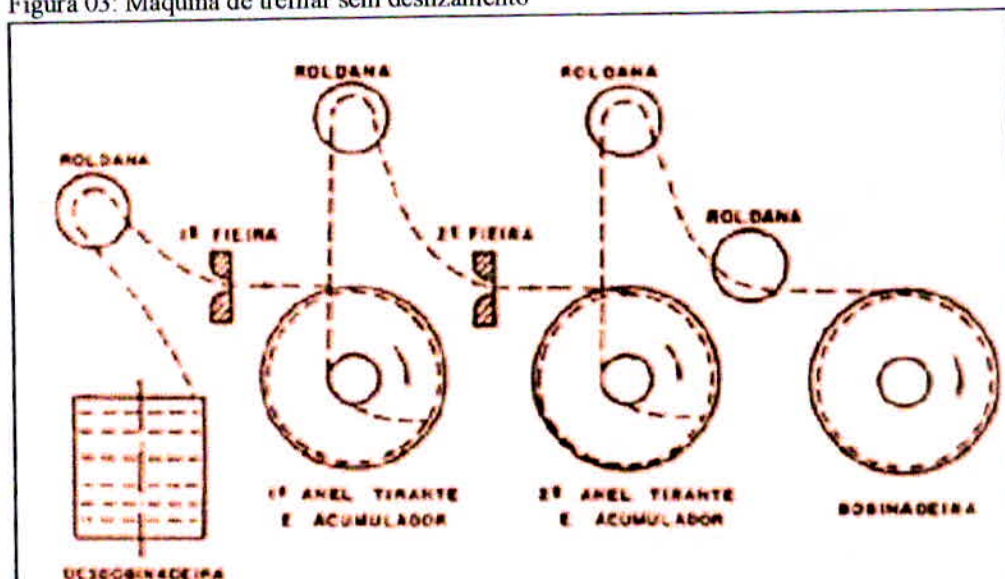
2.1.1.1 Máquinas de trefilar sem deslizamento

As máquinas desse modelo contam com um sistema de tração do fio para que seja conduzido para o furo da matriz ou fieira de trefilação, constituído de um anel que primeiramente acumula o fio e logo depois permitir seu movimento para a segunda fieira. Logo, o processo continua passando pelo segundo anel, acumulando fio trefilado, onde segue o processo das mesmas condições para as demais fieiras existentes em uma mesma linha na máquina (PALMEIRA, 2005).

A cada passagem nas fieiras tem-se um aumento de comprimento do fio, obtendo-se então velocidades diferentes e de valor crescente explicando então, a compensação desse

aumento de comprimento. Contudo, o aumento ou a diminuição da velocidade no processo são fatores importantes para o bom funcionamento dessas máquinas (PALMEIRA, 2005).

Figura 03: Máquina de trefilar sem deslizamento



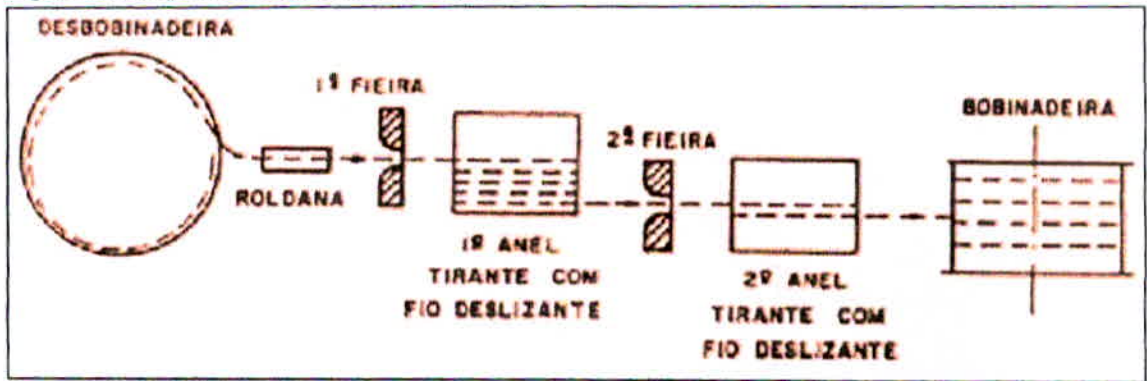
Fonte: (PALMEIRA, 2005).

2.1.1.2 Máquinas de trefilar com deslizamento

São utilizadas em trefilação de fios metálicos de pequenos diâmetros.

Essas máquinas trabalham seguindo os seguintes princípios de funcionamento: o fio parte de uma bobina ou desbobinador, que passa por uma roldana, deixando-o alinhado com a primeira fiação. Na saída da fiação, o fio é tracionado por um anel pelo qual se dá certos números de voltas, em forma de hélice cilíndrica, contando que no início da hélice o fio fique alinhado com a primeira fiação e no fim da hélice com a segunda fiação. No número de voltas dado no anel é levado em consideração, a força de atrito que passa pelo segundo anel fazendo com que o fio passe pela segunda fiação. Isso resulta em um giro com uma velocidade maior do que a do primeiro anel, compensando assim o aumento de comprimento do fio. O processo segue dessa forma para as demais fiações e anéis (PALMEIRA, 2005).

Figura 04: Máquina de trefilar com deslizamento



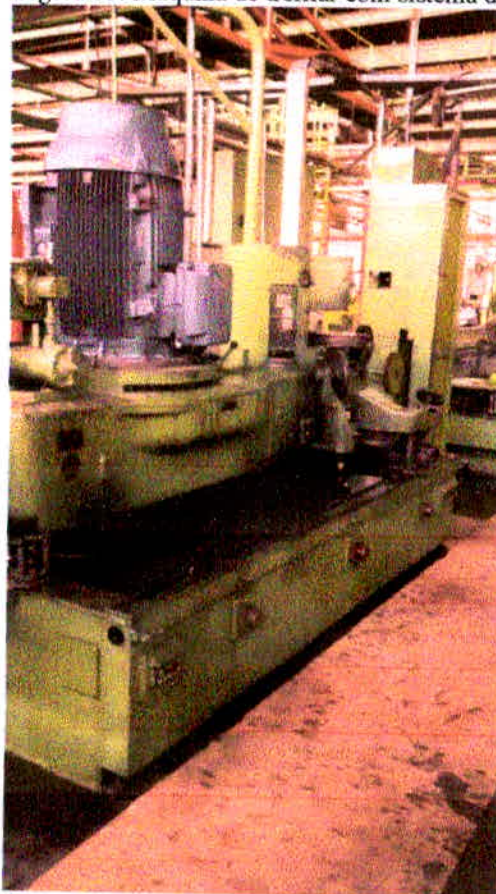
Fonte: (PALMEIRA, 2005).

2.1.2 Sistemas de Lubrificação

As máquinas de trefilação podem apresentar dois tipos de sistemas de lubrificação:

Máquinas com sistema de imersão, onde as feiras e os anéis trabalham imersos no líquido refrigerante sofrendo a lubrificação (PALMEIRA, 2005).

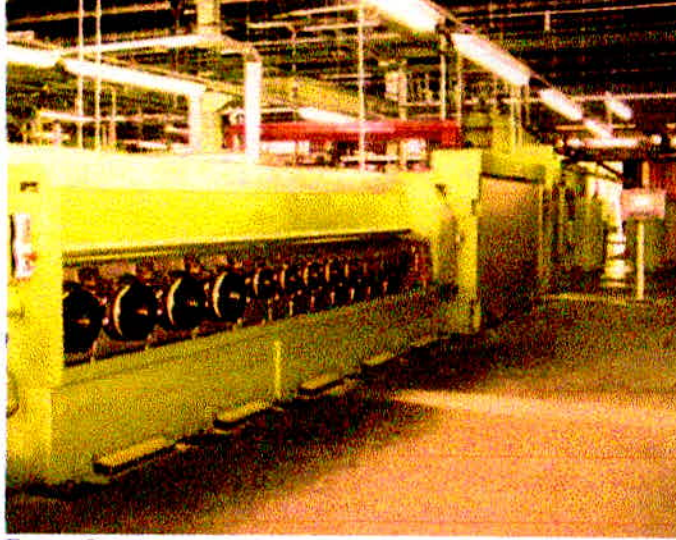
Figura 05: Máquina de trefilar com sistema de imersão de lubrificação



Fonte: O autor

E existem também as máquinas que trabalham com sistema de aspersão, onde a feira recebe um jato de líquido refrigerante obtendo assim a lubrificação esperada.

Figura 06: Máquina de trefilar com sistema de aspersão de lubrificação

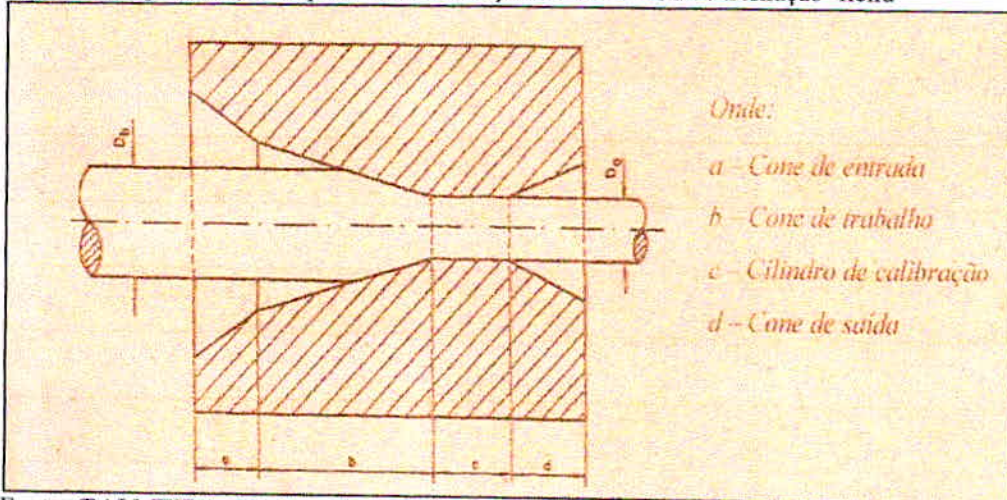


Fonte: O autor

2.1.3 Diâmetros dos fios trefilados

A qualidade de um produto acabado de trefilação depende muito da natureza da feira. Tendo em mente que ela é constituída de quatro regiões distintas, ao longo de seu furo interno (PALMEIRA, 2005).

Figura 07: Representação esquemática da atuação da ferramenta de trefilação- feira



Fonte: (PALMEIRA, 2005).

Devemos sempre considerar que para alcançarmos diâmetros precisos e conforme a norma exige, são levados em consideração muitos aspectos, dentre eles podemos citar o tipo de material a ser trabalhado, a composição da feira, etc., as quais iremos ver adiante em nosso trabalho.

3. COBRE

Segundo Moura (2007), a exata data da descoberta desse metal se perde em meio a história, alguns historiadores dizem que em estado puro foi descoberto há 10 mil anos, outros pesquisadores já encolhem esse período para 6 mil anos, e falam também que seu uso tornou-se crescente em torno de 2000 a. C.

A primeira fundição do cobre também aguça a imaginação dos estudiosos. Como todo avanço, ela deve ter sido fruto do acaso, da necessidade e, claro, de um olhar criador sobre a vida e a natureza. Eis como a cena é hoje reconstituída: homens primitivos fazem uma fogueira em cima de uma pedra casualmente rica em minério de cobre; o fogo revela-se suficiente para soltar estrias de cobre nativo; o primeiro cobre escorre, generoso, sobre a rocha. (MOURA, 2007, p.10).

Em nossa excepcional experiência de civilização, existentes entre os rios Tigres e Eufrates a presença do cobre foi constatada. Onde foram desencavados objetos de cobre com mais 6500 anos. Como podemos citar na cidade de Ur que foi encontrado, por exemplo, chapas de cobre usadas para proteger gravuras de madeiras.

[...] a partir do ano 3.500 a.C., na Idade de Cobre-Pedra ou Calcolítica, desenvolveu-se a arte de fundir o cobre. Aqueles primeiros metalúrgicos já se valiam de técnicas de “refinação a fogo” do cobre, colocando toras de madeira verde no metal em fusão, a fim de reduzir o conteúdo de oxigênio, prática até hoje empregada. Também datam desse período as tubulações de cobre no Egito. (MOURA, 2007, p.11).

Aconteceu então aquela época a transição da Idade da Pedra para a dos Metais, o nascimento da metalurgia e de tecnologias que viria a fazer do mundo um lugar melhor de se viver (MOURA,2007). Moura afirma que (2007, p.12) “[...] foi uma transição lenta, é verdade. Utensílios de pedra e madeira devem ter convivido com as primeiras armas de metal.”

A partir destes dados históricos, percebe-se que o cobre sempre exerceu um papel fundamental na evolução da humanidade, sendo usado em todas as etapas das revoluções tecnológicas pelas quais o homem já passou. O fato de se ter encontrado objetos de cobre tão antigos em diversos lugares do mundo é prova da importância do metal.

3.1 História do cobre no Brasil

No Brasil, nossa primeira área de cobre foi descoberta na Bahia, em 1783, numa região próxima a Juazeiro, mas permaneceu inexplorada. (MOURA, 2007, p.54)

No início de 1850, o Governo brasileiro sentiu a necessidade de incentivar a construção de estradas de ferro para escoar sua crescente produção agrícola. O Brasil já exportava cerca de 300 mil sacas de café, que saíam do país pelos portos fluminenses de Angra dos Reis e Paraty e pelo de Santos, em São Paulo. O transporte até os portos era feito no lombo de burros. (MOURA, 2007, p.54).

Porém, demorou um bom tempo para que a produção de cobre fosse iniciada no Brasil.

[...] Só em 1976 o Ministério da Indústria e Comércio finalmente aceitou que fossem instaladas na Bahia as unidades de concentração e metalurgia do cobre. O Projeto Caraíba – a mineradora em Jaguarari e a Caraíba Metais (metalurgia), no município de Dias d'Ávila, no pólo de Camaçari –, finalmente, havia sido aprovado e, no ano seguinte, começou a ser implantado. A exploração da mina a céu aberto teve início em dezembro de 1978 e, dois anos depois, a Mineradora Caraíba produzia seu primeiro concentrado de cobre. Para abrigar os trabalhadores da mina, foi criado o distrito de Pilar, a 60 quilômetros de Jaguarari. Atualmente são 1,6 mil habitações e uma população de aproximadamente 8 mil habitantes. A infra-estrutura também seguiu a receita de Pignatari: foi construído um hotel, escolas de níveis fundamental e médio, clubes, hospital, bancos e até um estádio de futebol. Em 1981, o concentrado da Mineração Caraíba passou a ser comercializado. A metalurgia na Caraíba Metais, começou a funcionar em 1982. A empresa se tornou a única companhia produtora de cobre eletrolítico do País. (MOURA, 2007, p. 60 E 61).

3.2 Características do Cobre

O cobre é, até hoje, um dos metais mais utilizados nas aplicações industriais devido a suas excelentes características elétricas, mecânicas e térmicas.

O cobre é um metal vermelho-marrom, que apresenta ponto de fusão correspondente a 1.083°C e densidade correspondente a $8,96\text{ g/cm}^3$ (a 20°C), sendo, após a prata, o melhor condutor do calor e da eletricidade. Sua resistividade elétrica é de $1,7 \times 10^{-6}$ ohm-cm (a 20°C). Por este último característico, uma de suas utilizações principais é na indústria elétrica. O cobre apresenta ainda excelente deformabilidade. Além

disso, o cobre possui boa resistência à corrosão: exposto à ação do ar, ele fica, com o tempo, recoberto de um depósito esverdeado. A oxidação, sob a ação do ar, começa em torno de 500°C. Não é atacado pela água pura. Por outro lado, ácidos, mesmo fracos, atacam o cobre na presença do ar. Apresenta, finalmente, resistência mecânica e característicos de fadiga satisfatórios, além de boa usinabilidade, cor decorativa e pode ser facilmente recoberto eletrodeposição ou por aplicação de verniz.(CHIAVERINI, 1986, p 169 e 170).

Existem vários tipos de cobre, segundo a classificação da ABNT, que são diferenciados conforme suas principais composições e características, onde podemos citar o cobre eletrolítico tenaz (Cu ETP), o cobre refinado a fogo de alta condutibilidade (Cu FRHC), o cobre refinado a fogo tenaz (Cu FRTP), o cobre desoxidado com fósforo, com baixo teor de fósforo (Cu DLP), o cobre desoxidado com fósforo, de alto teor de fósforo (Cu DHP), o cobre isento de oxigênio (Cu OF), e por último temos o cobre refundido (Cu CAST) (CHIAVERINI, 1986).

Esses tipos de cobre podem ser fornecidos em diferentes formas como placas, capas, tiras, barras, arames e fios, tubos, perfis ou conformados por forjamento (CHIAVERINI, 1986).

Atualmente na empresa são utilizados apenas dois cobres citados acima que são o cobre eletrolítico tenaz (ETP) e o cobre isento de oxigênio (OF).

4. LEVANTAMENTO DE POSSÍVEIS CAUSAS DA MÁ EFICIÊNCIA

O levantamento de possíveis causas de uma má eficiência de uma máquina de trefilação compreende certos fatores os quais devemos levar em consideração a partir dos conceitos de trefilação que estudamos (a caracterização do processo, a matéria-prima empregada na máquina de trefilar, as ferramentas utilizadas no processo, enfim uma série de elementos). A partir disso, devemos tomar as medidas cabíveis para se obter uma melhor eficiência, procurando melhorar de forma eficaz o processo para que cheguemos aos resultados esperados pela organização.

Analisar a eficiência de um conjunto de máquinas é muito importante para a obtenção de resultados positivos dentro de uma organização, afinal quando estudamos a produtividade de uma empresa, estamos falando sobre o carro forte da mesma, que é feita através de parâmetros e metas impostas pela própria. Quando nos deparamos com uma diferença de dados em um determinado departamento cujos resultados devem ter sempre um grau de parecer próximos, deve se fazer uma análise aprofundada para identificar o mecanismo prejudicial à máquina. Com base nisso, ao conhecer medidas que não estão sendo benéficas ao equipamento, atitudes e formulação de estratégias devem ser desenvolvidas para que essa eficiência torne-o compatível com as demais máquinas do setor produtivo. Com base nesse contexto, que iremos analisar um grupo de máquinas existentes na empresa, no setor de trefilação.

Esse grupo de máquinas é denominado dentro do setor de trefilação da empresa como SHX, a qual faz parte as seguintes máquinas de trefilação: T- 37, T-38, T-39, T-40, T-41 e T-42. Através de dados extraídos da própria empresa, consta que a máquina desse grupo que apresenta a menor eficiência é a máquina T-37, a qual será direcionada o estudo de caso, com a finalidade de melhorar tal eficiência.

Gráfico 01: Eficiência do grupo de máquinas SHX, em janeiro de 2015.



Fonte: O autor

Logo adiante será feito um estudo e levantamento de possíveis causas que podem estar fazendo com que este equipamento não esteja conseguindo alcançar um nível de eficiência adequado comparado com os demais do grupo.

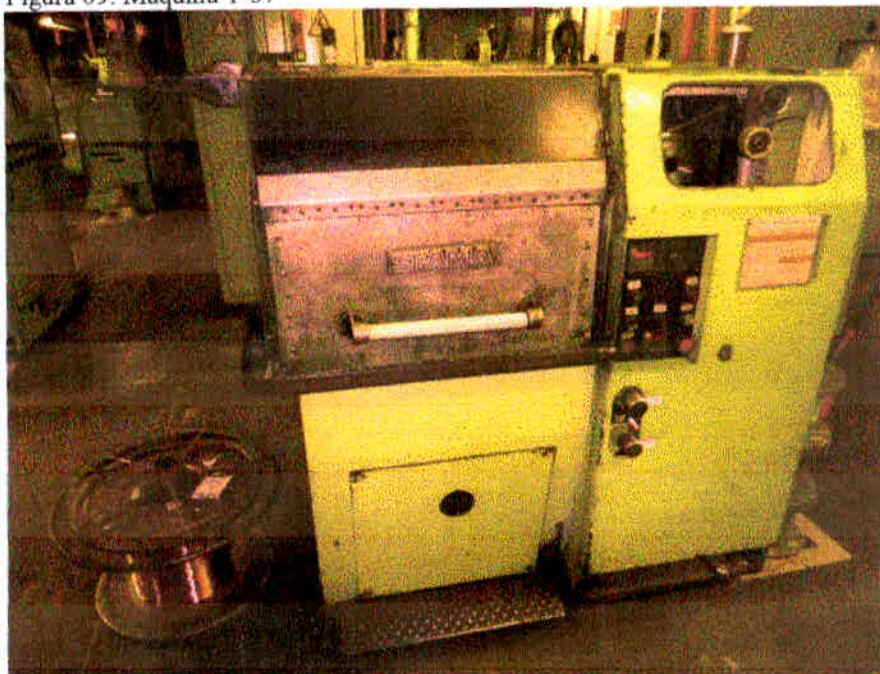
Tornando-se conhecidas algumas causas prováveis que não estão deixando nosso equipamento alcançar um nível de eficiência comparado com as demais máquinas, pode-se então ser tomar medidas práticas e construtivas no dia a dia relacionadas a cada causa levantada e acompanhar de tempos em tempos se realmente essas medidas tomadas estão sendo benéficas ao equipamento.

Figura 08: Grupo de máquinas SHX em estudo.



Fonte: O autor

Figura 09: Máquina T-37



Fonte: O autor

Conhecido então o nosso grupo de máquinas em estudo e a máquina a qual será feita o trabalho para conseguir melhorar sua eficiência, vamos então conhecer e analisar as possíveis causas que estão originando esse gargalo na produção. O objetivo é tomar medidas que possivelmente irão sanar esse problema.

Adiante estão relacionados três possíveis causas que afetam diretamente a eficiência de uma máquina de trefilação e como a empresa trabalha relacionando esses fatores com a máquina de trefilar:

- Matéria-prima
- Lubrificação
- Fieiras de trefilação

Logo após conhecer profundamente cada causa citada acima, serão tomadas medidas cabíveis com o intuito de estar melhorando a eficiência dessa máquina T-37.

4.1 Matéria-prima

Atualmente na empresa, trabalha-se na produção de fios de cobre esmaltado com dois tipos básicos de cobre que é o cobre ETP(Eletrolítico tenaz) e o cobre isento de oxigênio OF (OXI FREE). Onde são empregados em máquinas de forma aleatória e não de forma definida, de forma a discriminar que tal equipamento irá utilizar um tipo de cobre e outro equipamento irá utilizar outro.

4.1.1 A Fundição Contínua, Processo ETP

“Em 1950, Arena criou um processo de fundição contínua que permite fundir chapas de tal modo que os produtos saem do forno praticamente na forma e na dimensão definitivas, eliminando, assim, processos intermediários” (MOURA, 2007, p.79).

[...] O processo implantado por Salvador Arena apresentava diferenciais importantes. Conseguia eliminar, por exemplo, os chamados defeitos de contração, comuns na fundição convencional, que tornam o metal poroso e comprometem a qualidade do produto final. A inovação foi, de fato, um marco para indústria brasileira. As primeiras idéias sobre fundição contínua começaram a surgir na metade do século XIX e eram de domínio inglês ou norte-americano. Arena conseguiu entrar nesse grupo restrito. (MOURA. 2007. p.79).

[...] Com a fundição contínua, as peças metálicas deram um salto de qualidade no Brasil, gerando uma reação em cadeia em todos os segmentos que usavam o cobre e suas ligas. Automóveis, refrigeradores, televisores e eletrodomésticos em geral, aparelhos de som, máquinas e equipamentos, cadeados, fechaduras, sistemas de geração e transmissão de energia elétrica e muitos outros produtos passaram também a gozar de melhor qualidade. Era uma revolução silenciosa, preciosa, mas meio escondida, com o cobre entre paredes, dentro de motores. Despercebida ao primeiro olhar, era sentida no desempenho e na durabilidade dos produtos e equipamentos.(MOURA. 2007. p. 79).

Neste processo o catodo de cobre é carregado em um forno tipo charuto e, fundido (estado líquido). Na laminação, que é realizada no estado de fusão, isto é, o cobre em estado líquido, o cobre fundido é coletado em uma máquina, na qual é realizada a solidificação contínua do cobre em formas de barras, que é então conduzida a um laminador para

conformação no diâmetro de 8,000mm. Este vergalhão é acondicionado em forma de rolos superpostos chamados jumbos que podem chegar até 5.000kg.

Figura 10: Jumbo de cobre produzido pelo processo ETP

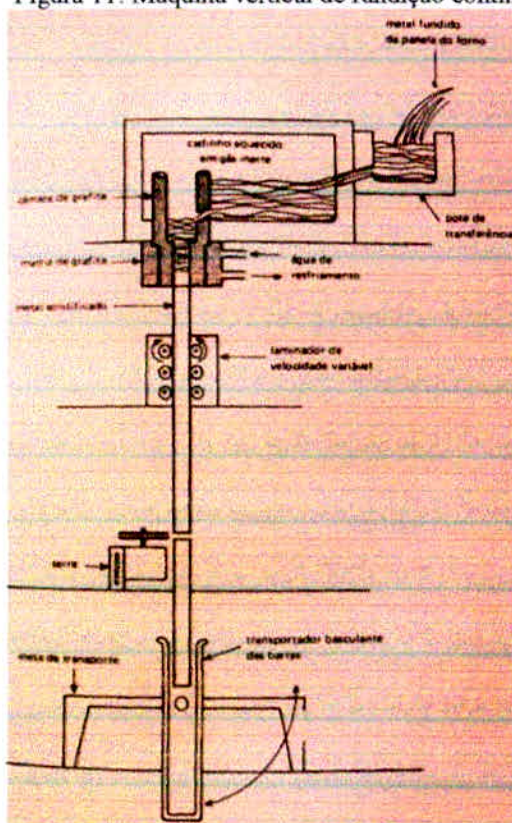


Fonte: O autor

Segundo Chiaverini(1986, p. 40,41 e 42),

[...] Neste processo, as peças fundidas são longas, com secções quadradas, retangular, hexagonal ou de formatos diversos. Em outras palavras, o processo fundi barras de grande comprimento, com as secções mencionadas, as quais serão posteriormente processadas por usinagem ou pelos métodos de conformação mecânica no estado sólido. Em princípio, o processo consiste em vazar-se o metal líquido num cadinho aquecido. O metal líquido escoo através de matrizes de grafita ou cobre, resfriadas a água. A barra, já está no estado sólido, porém ainda quente, é agarrada por cilindros de laminador e arrastada para frente, com velocidade correspondente às velocidades de resfriamento e solidificação do metal. No percurso, a barra continua resfriando e é cortada pelo emprego de serras circulares ou chama oxiacetileno. As peças cortadas são submetidas a processamento posterior.

Figura 11: Máquina vertical de fundição contínua para ligas não ferrosas



Fonte: (CHIAVERINI, 1986)

Este processo de fundição garante ao vergalhão de cobre de 8,000mm de diâmetro as seguintes propriedades:

Tabela 01 – Tabela de propriedades do vergalhão de cobre de 8,000mm de diâmetro obtido a partir do processo de fundição contínua ETP.

Limite de resistência a tração	230 MPa
Alongamento	40%
Dureza Rockwell F	82
Condutividade elétrica	101%IACS
Torção a ruptura	45 a 65 voltas

Fonte: O autor

Tabela 02 – Composição química do vergalhão de cobre - processo OF

Ag	9,00 PPM
As	1,10 PPM
Bi	0,18 PPM
Fe	2,40 PPM

Pb	0,38 PPM
S	3,90 PPM
Sb	< 1,00 PPM
Se	< 1,00 PPM
Sn	< 0,50 PPM
Te	< 0,50 PPM
Zn	< 1,00 PPM
O ₂	189,00 PPM
Cu	99,9689 %

Fonte: Certificado de qualidade. Grupo Paranapanema

4.1.2 Fundição Contínua, Processo OF

Neste processo, a matéria-prima, catodo, é inserida no forno de fusão através de uma mesa de alimentação onde será fundida a uma temperatura média de 1197°C. No forno, é acrescentado carvão vegetal para fazer o isolamento do oxigênio atmosférico com o cobre já em estado líquido.

Foto 12: Mesa de alimentação das placas de catodo



Fonte: o autor

Após a fusão das placas de catodo, o cobre líquido será transferido para um forno de vazamento, também chamado de forno de espera. Na calha de transferência é injetado nitrogênio para garantir uma atmosfera inerte. No forno, são inseridas as matrizes por onde será solidificado o vergalhão de cobre no diâmetro desejado. No forno de espera é

acrescentado grafite em flocos para fazer o isolamento do oxigênio atmosférico com o cobre também em estado líquido.

Para cada diâmetro será utilizado uma matriz correspondente. As matrizes são de cobre e revestidas internamente com tubos de grafite para capturar o oxigênio ainda existente no cobre.

O vergalhão de cobre, após solidificação, será então puxado por motores sendo guiado até a unidade de lubrificação, onde é aplicado cera para proteção contra oxidação e para melhorar o bobinamento. Depois desta etapa, o vergalhão segue para os bobinadores formando então os jumbos de aproximadamente 4.000kg.

Foto13: Máquina de fundição contínua onde é retirado o cobre OF



Fonte: O autor

Este processo de fundição, garante ao vergalhão de cobre de 8,000mm de diâmetro as seguintes propriedades:

Tabela 03 – Tabela de propriedades do vergalhão de cobre de 8,000mm de diâmetro obtido a partir do processo de fundição contínua OF.

Limite de resistência a tração	175 MPa
Alongamento	45%
Dureza Rockwell F	70
Condutividade elétrica	102%IACS
Torção a ruptura	40 a 65 voltas

Fonte: O autor

Tabela 04 – Composição química do vergalhão de cobre - processo OF

Ag	13,37 PPM
As	0,37 PPM
Bi	< 0,20 PPM
Cd	< 0,35 PPM
Co	< 0,12 PPM
Cr	0,17 PPM
Fe	0,45 PPM
Mn	0,36 PPM
P	0,33 PPM
Pb	0,76 PPM
S	7,86 PPM
Sb	< 0,95 PPM
Se	0,75 PPM
Si	< 0,20 PPM
Sn	< 0,65 PPM
Te	< 2,7 PPM
Zn	< 1,10 PPM
Al	< 0,08 PPM
Mg	< 0,10 PPM
H	1,12 PPM
O₂	0,90 PPM
Cu	> 99,9971 %

Fonte: Certificado de qualidade. Laboratório LUVATA

De acordo com as tabelas 01, 02, 03 e 04 apresentadas, nota-se que o vergalhão de cobre de 8,000mm de diâmetro obtido através do processo OF tem limite de resistência à tração e dureza Rockwell F (HRF) menores do que os valores encontrados para o vergalhão de cobre obtido pelo processo ETP. Nota-se, ainda, que as propriedades de alongamento e condutividade elétrica são maiores para o processo OF. Outro fator importante é que no cobre OF a quantidade de O₂ é bem menor do que no cobre ETP; o oxigênio nestes processos é considerado uma impureza por dificultar a passagem de corrente elétrica. Também deve-se comentar o maior percentual de cobre contido no cobre OF, garantindo a ele um alto nível de pureza.

4.2 Lubrificação

No processo de fabricação em que estamos estudando neste trabalho que é a trefilação, o fenômeno de atrito é um fator muito importante que deve ser levado em consideração, isso se dá devido ao movimento relativo existente entre a fiação e o fio.

Existem duas condições que podem nos determinar o coeficiente de atrito entre fiação e fio, que são a natureza da superfície em contato e as condições de lubrificação. Em decorrência deste atrito, é gerado calor que deve ser controlado por um agente de lubrificação, que tem também uma ação refrigerante, fazendo com que a temperatura na superfície do fio permaneça constante e a temperatura no interior do fio decresça para o centro (PALMEIRA, 2005).

Além de se ter uma ação refrigerante, a lubrificação na trefilação tem a finalidade de criar entre as superfícies de contato uma película contínua de fluido lubrificante para reduzir o atrito. Conseguindo essa ação lubrificante reduz-se o desgaste da fiação, dando um bom acabamento superficial ao fio e reduzindo esforço no processo de trefilação. Segundo PALMEIRA, a necessidade de formar película de fluido exige do agente lubrificante algumas características especiais, como:

- Capacidade de evitar engripamento, ou seja, soldagem entre as duas superfícies em contato, que resulta na falta de continuidade da película fluida intermediária, conservando assim, a vida da fiação e o bom acabamento superficial do fio;
- Resistência a deteriorização às temperaturas de trefilação;
- Resistência química a ação desagregadora de eventuais óleos minerais presentes;
- Capacidade de manter a superfície do fio isenta de resíduos carbônicos provenientes das operações de tratamento térmico de recozimento;

Os agentes de lubrificação para o processo de trefilação são formados de produtos sólidos ou líquidos emulsionáveis em água cuja concentração decresce com a diminuição do fio a ser trefilado. Compostos de origem mineral são evitados com a finalidade de não ocorrer formação de resíduos carbônicos nas operações intermediárias de recozimento, se houver necessidade (PALMEIRA, 2005).

Nesses tipos de situações são empregados soluções de sabões, óleos vegetais ou graxas animais, chegando a uma temperatura de trabalho de 60°C. Quando se existem temperaturas

menores que a citada acima a viscosidade do fluido se altera a maneira de não acontecer o acompanhamento do fio para dentro da fiação, já em temperaturas maiores a emulsão perde a ação lubrificante e refrigerante (PALMEIRA, 2005).

Em condições de altas velocidades de trefilação ocorrendo aumento de temperatura, pode surgir o efeito de engripamento, ocasionando ruído característico. Quando se é selecionado o tipo de lubrificante usado em determinada máquina tem que se levar em conta alguns parâmetros como o tipo de máquina de trefilar, a velocidade de trefilação, a intensidade de fluxo, e de volume de agente disponível e ainda a qualidade da água.

Outro fator de grande influência no processo de trefilação, relacionado à lubrificação é a formação de pó metálico em suspensão no fluido proveniente do metal do fio. Esse pó pode penetrar a fiação ocasionando um maior atrito. A sua retirada é feita por decantação no reservatório ou por filtração (PALMEIRA).

Segundo PALMEIRA, a classificação dos métodos de lubrificação pode se dar ainda de acordo com a consistência e aderência do lubrificante em relação ao fio, lubrificação úmida e eletrolítica, utilizando como fluido lubrificante uma solução eletrolítica, lubrificação seca, utilizando lubrificantes sólidos como sabões, lubrificação úmida utilizando soluções de óleos em água, ou somente óleos, lubrificação com pastas e graxas.

Temos outro fator de controle muito importante do lubrificante que é sua viscosidade. Como exemplos de lubrificantes empregados na trefilação de cobre podemos citar os seguintes, óleos de colza, para fios 2,5 a 7mm e a emulsão de água e substância graxa, com temperaturas de trabalho de 38 a 55°C e um ph entre 8,5 e 9,6 (PALMEIRA, 2005).

Após obtivermos um bom estudo relacionados à lubrificação, conhecendo seu conceito, seus tipos, suas finalidades, podemos ver na prática o quanto esses lubrificantes são importantes para termos um bom produto trefilado acabado e de boa qualidade.

Atualmente, a empresa trabalha com o Agefil E- 505/F, nas centrais de lubrificação que são direcionadas para o grupo de máquinas as quais o trabalho está direcionado.

Figura 14: Central de lubrificação de trefilação.



Fonte: O autor

Este controle de verificação e análises do lubrificante são feitos de forma aleatória, sem seguir nenhum dado de acompanhamento, sem ter nenhuma tabela de aferição semanal ou mensal, e segundo informações da empresa não existe um tempo pré-definido para a troca dos mesmos e tendo que esse lubrificante em tempos atrás levava até doze anos para ser trocado por outro sem nenhum plano eficaz de controle.

4.3 Fieiras de trefilação

As fieiras de trefilação são ferramentas de precisão utilizadas na trefilação de diversos tipos de materiais, dentre eles o cobre, ao qual está sendo direcionado o nosso estudo. São ferramentas constituídas de quatro regiões distintas, ao longo de seu furo interno, onde se tem o cone de entrada, o cone de trabalho, o cilindro de calibração e o cone de saída.

O cone de entrada tem a finalidade de conduzir o fio em direção ao cone de trabalho e permite também que o lubrificante acompanhe o fio para minimizar então o atrito existente entre as superfícies de contato. No cone de trabalho acontece a redução, onde é aplicado ao fio o esforço de compressão e onde o atrito é minimizado para reduzir ao mínimo o desgaste

da feira. Já no cilindro de calibração ocorre o ajuste do diâmetro do fio e por último temos o cone de saída que deve proporcionar uma saída livre do fio sem causar qualquer tipo de danos da feira e do fio (PALMEIRA, 2005).

Para os materiais que são utilizados para fabricação dessas matrizes ou feiras são exigidas algumas características, sendo elas a de permitir trefilação de grande quantidade de fios sem ocorrer desgaste acentuado, permitir a trefilação a altas velocidades, permitir a adoção de elevadas reduções de secções, sempre conferir calibração com o diâmetro que consta ser, conferir uma vida longa a fim de serem evitadas paradas de máquinas para trocas das mesmas, obter superfícies lisas e brilhantes no fio durante longo período de utilização (PALMEIRA, 2005).

Para a fabricação de fios os materiais mais comumente usados para fabricação de uma feira são de diamante e metal-duro.

Durante a sinterização, as dimensões da feira sofrem redução e a densidade do material se eleva. O metal-duro empregado nessas situações é constituído de 95% de carboneto de tungstênio e 5% de cobalto, podendo conter ainda cromo e tântalo. As feiras de metal-duro são feitas de um núcleo de metal-duro e um suporte de aço de dimensões que dependem do diâmetro do fio a ser trefilado. Os diamantes industriais provenientes de pedras não trabalhadas ou de lascas de pedras lapidadas são usados para feiras após passarem por todo um estudo cristalográfico que melhor permita a furação para determinado diâmetro. É aconselhável que não apresente defeito e devem possuir dureza e resistência mecânica em todas as direções de trabalho (PALMEIRA, 2005).

Falando um pouco sobre a vida útil de uma feira PALMEIRA nos fala que ela é estimada com referência a quantidade de material que pode trabalhar sem necessidade de recuperação, tendo em vista uma nova retífica e um polimento para diâmetro maior, para um determinado diâmetro de fio trefilado.

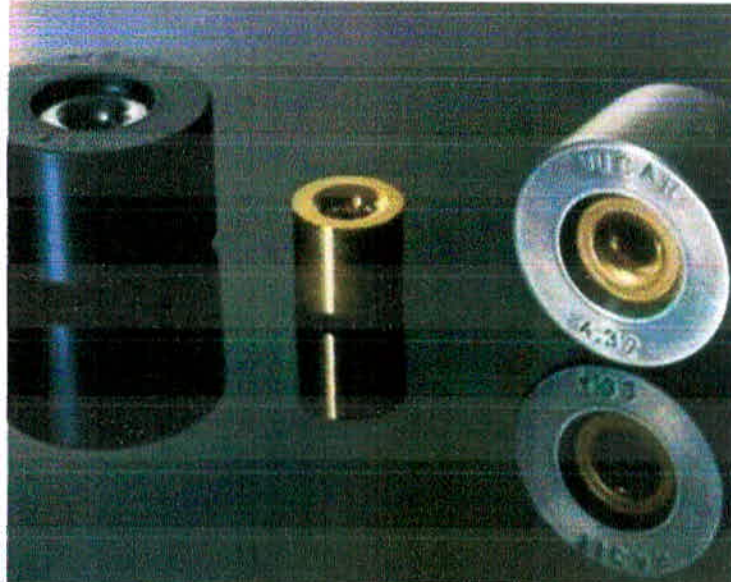
É sempre importante que as feiras passem regularmente por controles durante sua utilização. Na prática devem ser utilizadas lupas para comprovar o estado de conservação do canal do perfil, antes ou depois de ser utilizadas. Também é aconselhável ao invés de lupa o uso de microscópio monocular ou binocular. Para fios de diâmetro menores que 0,150mm, é recomendável, o uso do microscópio monocular com um aumento de 50 180 vezes a sua

ampliação. Já para diâmetros maiores, o uso de microscópios binocular com ampliação de 30 a 50 vezes é o mais utilizado.

Alguns cuidados devem ser mais levados em consideração durante o controle:

- perfil do canal (geometria).
- anéis de desgaste.
- marcas, riscos de trefilação.
- sulcos, canais de desgaste.
- rugosidade.
- riscos de polimento.
- diâmetro do furo e ovalização.

Figura 15: Fieiras de trefilação.



Fonte: O autor.

Segundo Catálogo Philips existe uma série de problemas causados de imperfeições de fieiras:

Tabela 05: Lista de possíveis problemas no processo.

Imperfeição da feira.	Efeito sobre o fio.
Diâmetro Incorreto.	Diâmetro Incorreto.
Ovalização.	Ovalização.
Polimento defeituoso.	Superfície rugosa.
Ângulos agudos.	Superfície rugosa.
Anéis de estirado ou marcas de estirado.	Superfície rugosa. Arranhaduras sobre o fio. O diâmetro pode não ser uniforme. O fio quebra-se.
Diamante mal fixado na feira.	Diâmetro irregular.
Eixo do diamante fora do centro em relação ao eixo da feira.	Deformação assimétrica do fio; pode produzir quebra quando o fio voltar a ser trefilado em menor diâmetro.
Perfil incorreto, por exemplo, zona de redução oblíqua.	Deformação desproporcional do fio, pode produzir quebra quando o fio voltar a ser trefilado.
Saída do fio fora do eixo da feira.	Fio ondulado.
Parte cilíndrica demasiado curta.	O diâmetro do fio trefilado é maior que o da feira.
Parte cilíndrica demasiado curta e ângulo de entrada grande demais.	O fio pode atravessar o canal sob um determinado ângulo, produzindo uma deformação assimétrica.
Parte cilíndrica mal comprida.	O diâmetro do fio é menor que o da feira e a tensão do fio pode produzir quebra.
Ângulo de redução demasiada grande.	Sobretensão no fio. O diâmetro do fio trefilado é menor que o da feira.
Zona de redução comprida e estreita e impureza no lubrificante (a entrada pode estar bloqueada por impurezas).	Fio "dentado", arranhaduras e diâmetro irregular.

Fonte: Catalogo Philips.

Atualmente a empresa conta com uma seção destinada a preparação, retífica e controle de feiras, denominada pela empresa de Retífica de Feiras.

Figura 16: Retífica de Fieiras.



Fonte: O autor.

Esse setor da empresa cuida de tudo que é relacionado a fieiras de trefilação, seu manuseio, seu armazenamento, sua distribuição nas máquinas de trefilar, o recolhimento das mesmas nas máquinas, enfim fazem todas as inspeções para obterem o melhor controle das fieiras. As fieiras atualmente são recolhidas e armazenadas em armários que as dividem em razão de suas dimensões, já passadas por uma série de avaliações por funcionários do setor como dimensional, avaliação de microscópio para análise de quebras, análise de ovalização.

Figura 17: Gavetas de armazenamento de fieiras.



Fonte: O autor.

Figura 18: Análise de feixas pelo microscópio



Fonte: O autor.

Figura 19: Micrômetro para análise de dimensional do fio trefilado



Fonte: O autor.

Figura 20: Armazenamento de feiras



Fonte: O autor.

Após feiras terem passado por todas as inspeções recomendadas são armazenadas em armários próprios para as mesmas e ficam então, disponíveis para o uso dos operadores nas máquinas de trefilação.

5. PLANO DE MELHORIA

A partir de todo o estudo feito sobre as possíveis causas que podem estar ocasionando a má eficiência da máquina T-37, foram tomadas medidas que possivelmente irão tornar essa máquina mais eficiente, podendo se comparar com as demais do seu grupo de máquinas.

Com todas estas características combinadas vistas acima, o vergalhão de cobre OF apresenta melhor desempenho no processo subsequente que é a trefilação. Este desempenho se reflete em uma quantidade menor de quebras durante este processo e um produto final com melhor acabamento superficial. Em consequência desse estudo, na máquina T- 37 passou a ser utilizado o cobre OF.

Com relação ao lubrificante empregado no grupo de máquinas em análises foi determinado que se fosse feito um controle mais adequado e que fossem aferidos semanalmente e que mensalmente fossem enviados para a empresa Agena amostras coletas do lubrificante em uso na central a fim de serem feitas análises criteriosas e mais aprofundadas sobre os níveis gordura e Ph da máquina em análises, seguindo padrões recomendados pela Agena que atualmente fornece à empresa os lubrificantes usados em máquinas de trefilação:

Para se iniciar o procedimento de limpeza do sistema de trefilação de cobre é seguido algumas etapas que consiste em descartar a emulsão antiga, retirar todo o resíduo de pó de cobre e lavar o tanque, adicionar água no tanque (volume suficiente para circular no sistema) e 10% de querosene, deixar circulando a noite toda. Descartar a água com querosene e retirar os resíduos do fundo do tanque. Lavar a máquina com uma lavadora de alta pressão. Logo após adicionar água no tanque (volume suficiente para circular no sistema) e 3% de Agetal L-904, deixar circulando durante 4 horas. Em seguida, descartar a água com Agetal L-904 e retirar os resíduos do fundo do tanque. Adicionar água no tanque (volume suficiente para circular no sistema) e deixar durante 30 minutos. Logo em seguida, descartar a água. E para finalizar adicionar água potável no tanque e circular por 30 minutos. O pH estando entre 7 e 8 e a água estando límpida adicionar 0,2% V/V de Agefil E-505/ ADT e, na sequência, o Agefil E- 505/N, pré-diluído.

A partir do tanque cheio de lubrificante utilizado pela máquina de trefilação, como vimos acima, seguindo todo um procedimento, foi criado uma ficha de inspeção para a verificação semanal de como estão os níveis de pH e índices de gordura daquele determinado tanque de lubrificação.

Tabela 06: Tabela de inspeção de controle de índice de gordura e pH.

 SAO MARCO INDÚSTRIA E COMÉRCIO LTDA.		Controle de Banho – Trefilação, Esmaltação e Laminação						
TABELA DE PARÂMETROS DO BANHO DE TREFILA								
CENTRAL	TIPO DE MÁQ.	TIPO DE LUBRIF.	GOD. (%)	TEMP. 40 +/-10	I.G. (%)	Ph 8 +/- 1	VOLTAN.	OBSERVAÇÕES/AÇÕES CORRETIVAS
01	STHM	E 505 N	6 +/- 1				15.600	
02	TREFILA PRIMARIA	E 505 N	10 +/- 2				22.000	
03	M 30 / H40	E 505 N	6 +/- 1				10.000	
04	M 5	E 505 F	3 +/- 0,5				4.000	
05	MICRO FIO	196	2 +/- 0,5				3.000	
MICRO FIO	MICRO FIO	POLOLUB 730 SS TR	3 +/- 1				200	

Fonte: O autor

Adotando a prática de semanalmente ir até o tanque de lubrificante, coletar amostras desse lubrificante e fazer as análises de índice de gordura e de pH, anotando sempre na tabela vista acima:

Figura 21: Amostras coletadas para análises.



Fonte: O autor

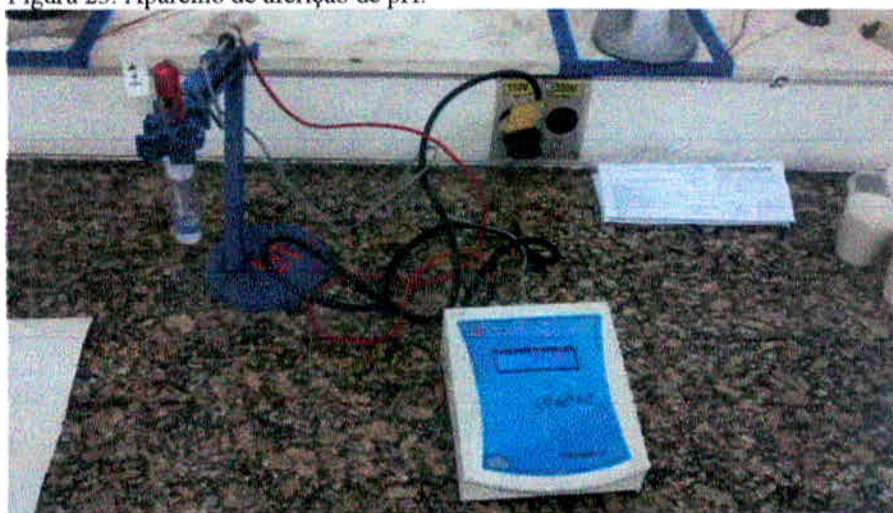
Após coletadas amostras, levar até o laboratório químico e fazer os testes exigidos de índice de gordura e de pH:

Figura 22: Aparelho de aferir indice de gordura



Fonte: O autor

Figura 23: Aparelho de aferição de pH.



Fonte: O autor

Logo após coletados todos esses dados e anotados na tabela criada, são armazenadas no computador semana a semana no intuito de estar sempre cuidando e controlando esses níveis de gordura e pH, para manter os lubrificantes sempre em condições de operação.

E por último em relação a feiras de trefilação foi visto que apesar de serem muito bem vistoriadas e bem armazenadas, foi analisado que poderia ser implantado uma maneira mais

adequada e mais eficiente direcionada para a máquina T- 37 do que o procedimento que já existe dentro da empresa. O procedimento requer uma melhor identificação e uma separação diferenciada para a máquina, fazendo esse procedimento de uma maneira que quando se for montar um jogo de feiras para destinar a máquina de trefilar T-37, seja feita uma seleção de feiras bem analisada e de forma bem aprimorada seguindo todos aqueles passos já vistos relacionados a feiras no capítulo 4.3 de nosso trabalho, mas não deixando de anotar feira por feira em um formulário de controle.

Figura 24: Formulário de controle de feiras.



Fonte: O autor.

Logo após ter feito as anotações relacionadas ao jogo de feira, colocam-se as feiras em um recipiente tipo cilíndrico, como iremos ver na figura a seguir, nas gavetas de armazenamento onde ficam armazenadas aguardando programação da empresa.

Figura 25: Jogo de feiras pronta para ser distribuído em máquina.

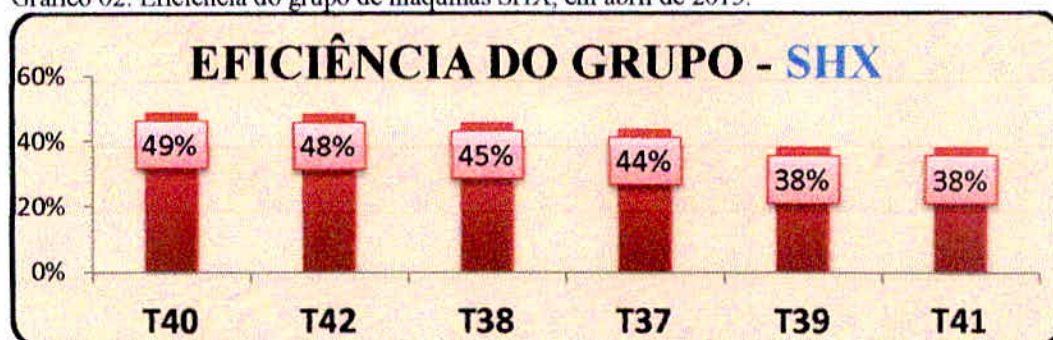


Fonte: O autor.

6. RESULTADO OBTIDOS

Analisadas e tomadas certas medidas relacionados às três possíveis causas que estão causando a má eficiência na máquina T- 37, podemos ver através de gráficos que foi possível ter ganhos bem significativos no decorrer desses meses. Isso comparados ao gráfico 01 visto no capítulo 4 de nosso trabalho, onde se tem resultados de eficiência do grupo de máquinas em estudo, e vendo também que a máquina T-37 apresentava o pior índice de eficiência de todo o grupo. Após todo esse trabalho podemos observar que a partir do momento que se colocou em prática alguns novos procedimentos, obteve-se ganhos de eficiência de nossa máquina T-37, saindo de uma posição muito incômoda para uma posição de ganhos em eficiência.

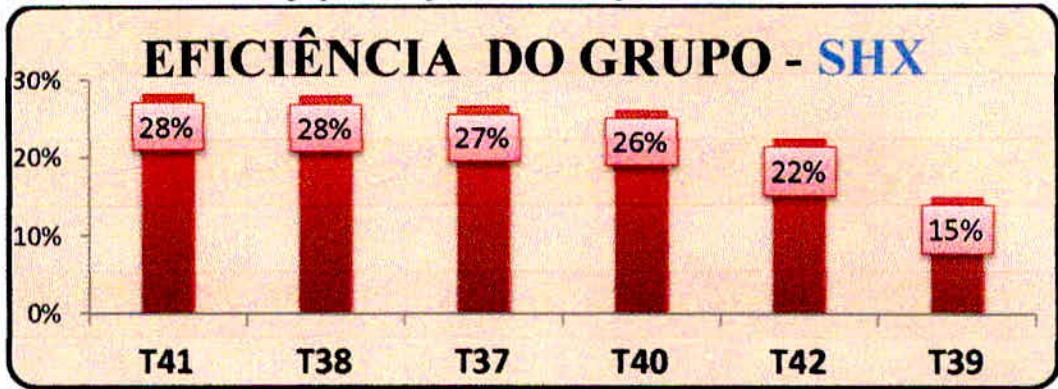
Gráfico 02: Eficiência do grupo de máquinas SHX, em abril de 2015.



Fonte: O autor

Após termos visto um grande desempenho nos meses de janeiro para abril, dando sequência em todas aquelas novas práticas de operações na máquina T-37, foram vistos mais ganhos em eficiência no mês de agosto, como iremos ver adiante no gráfico:

Gráfico 03: Eficiência do grupo de máquinas SHX, em agosto de 2015.



Fonte: O autor.

CONCLUSÃO

A produtividade e a eficiência de um equipamento ou máquina dentro de uma empresa são fatores de suma importância para que uma organização consiga se manter num patamar de competitividade excelente. Através do estudo e acompanhamento do dia a dia dentro da empresa, pode-se dizer que realmente existem diversas possibilidades de mudar, inovar, procurando novas alternativas, a fim de estar sempre buscando resultados ainda mais positivos.

Analisar e acompanhar uma máquina, ou um grupo de máquinas, tomar conhecimento de seus princípios, sua finalidade, seu funcionamento, conhecer mais sobre aquilo que condiz com a máquina são fatores primordiais para que se alcance os resultados esperados. Foi possível perceber que a máquina T-37 ocupava a última posição quando o assunto era eficiência, e que com o acompanhamento, mudança em parâmetros, nova forma de analisar o problema, a máquina alcançou um nível de eficiência e ficou entre as três primeiras de seu grupo. Os estudos relacionados neste trabalho faz com que nosso cotidiano dentro de uma empresa seja mais produtivo, tornando a empresa mais competitiva e contribuindo para o seu crescimento.

Este trabalho mostrou o quanto é importante não ficar esperando que os resultados aconteçam sozinhos, partindo de pequenas iniciativas de melhorias, podemos alcançar resultados surpreendentes dentro de uma empresa. Não foi fácil fazer esta tarefa, mas com muita força e determinação pude ver o quanto o trabalho realizado por um profissional capacitado, como nós, futuros engenheiros mecânicos, é de extrema importância para que se consiga alcançar as metas planejadas e conquistar um lugar no mercado competitivo de trabalho.

REFERÊNCIAS

CHIAVERINI, Vicente. **Tecnologia Mecânica. Processos de Fabricação e Tratamento**. 2ª edição. Volume II. São Paulo, 1986. Editora McGraw-Hill Ltda. ISBN: 0074500899.

CHIAVERINI, Vicente. **Tecnologia Mecânica. Materiais de Construção Mecânica**. 2ª edição. Volume III. São Paulo, 1986. Editora McGraw-Hill Ltda. ISBN: 0074500910.

MOURA, Luiz Felipe Heide Aranha. **Cobre Metal Eterno**. 1ª edição. São Paulo, 2007. Editora Magma Cultural. ISBN: 978-85-98230-11-5.

PALMEIRA, A.A. Capítulo Cinco: Processos de trefilação. Resende, R.J.: Universidade do Estado do Rio de Janeiro, 2005.

PHILIPS. Feiras de diamante e bicos de extrusão, 1984. (Catálogo).

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Vergalhão de cobre para uso elétrico - Requisitos**. NBR 14733: SET 2001.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5111: Fios de cobre nu de seção circular para fios elétricos- especificação**. 1997.

Fluxograma do processo de extração do minério de cobre até a obtenção do fio de cobre. Disponível em: < <http://www.paranapanema.com.br> > Acesso em 10 jun. 2015, 16h52min.