

**CENTRO UNIVERSITÁRIO DO SUL DE MINAS - UNIS-MG**  
**ENGENHARIA MECÂNICA**  
**GABRIEL SPADACCINI SILVA**

N. CLASS.	M671.842
CUTTER	5586a
ANO/EDIÇÃO	2012

**APLICAÇÃO DA OEE NO PROCESSO DE TREFILAÇÃO DE COBRE**

**Varginha**  
**2012**

**FEPESMIG**

**GABRIEL SPADACCINI SILVA**

**APLICAÇÃO DA OEE NO PROCESSO DE TREFILAÇÃO DE COBRE**

Trabalho apresentado ao curso de Engenharia Mecânica do Centro Universitário do Sul de Minas – Unis/MG como pré-requisito para obtenção de grau de Engenheiro Mecânico, sob orientação do(s) Prof.(s) Tarcísio Gonçalves de Brito e Alexandre de Oliveira Lopes.

**Varginha  
2012**

**FEPESMIG**

**GABRIEL SPADACCINI SILVA**

**APLICAÇÃO DA OEE NO PROCESSO DE TREFILAÇÃO DE COBRE**

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

Aprovado em:     /     /

---

Prof. Tarcísio Gonçalves de Brito

---

OBS.:

Dedico este trabalho primeiramente a Deus por ter me abençoado todo esse período de estudos. Depois, a toda minha família e em especial aos meus pais Wagner e Cátia que sempre me incentivaram e me deram forças nos momentos difíceis.

**Grupo Educacional UNIS**

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço à minha família, aos professores, aos amigos de sala de aula e especialmente aos colegas de trabalho André Mantovani, Edson Ricardo e José Frederico por terem contribuído para a realização deste trabalho.

“A vida me ensinou a nunca desistir, nem ganhar nem perder, mas procurar evoluir.”

Bob Marley

## RESUMO

Toda empresa busca em seu processo de fabricação o aumento da eficiência produtiva de seus equipamentos através de ações que visam à melhoria dos processos, redução dos tempos de operação e consequentemente redução dos desperdícios operacionais. Neste contexto, este trabalho aborda a utilização da OEE (Eficiência Global dos Equipamentos) como ferramenta de medição de desempenho no processo de trefilação, demonstrando os impactos positivos que ela proporciona. Através de uma análise detectou-se ao longo do tempo que os indicadores de desempenho do processo não se demonstravam totalmente confiáveis, devido a isso viu-se a oportunidade da aplicação desta ferramenta para a melhor visualização das perdas e obtenção de um melhor desempenho. O objetivo deste estudo teórico é comprovar que através da implantação da OEE é possível identificar as reais perdas do processo, reduzir os tempos improdutos e gerar um aumento da eficiência no processo de trefilação de cobre.

**Palavras-chave:** Processos. Eficiência produtiva. Trefilação. OEE.

## **ABSTRACT**

*Every company seeks into in your manufacturing processes the increase production efficiency of your equipments through actions and that aim the improvements of the processes, reduction of operating times and consequently reduction of the operational wastage. In this context, this paper approaches the use of OEE (Overall Equipment Efficiency) as a tool for performance measurement in the wiredrawing process, demonstrating the positive impacts that it provides. Through analysis of this process was detected over time that the indicators of the process performance not demonstrated totally trusted, due to this was seen the opportunity of applying this tool for better visualization of the losses and achieving a better performance. The objective of this theoretical study is to prove that through the implementation of OEE is possible identify the real losses of the process, reduce the unproductive times and generate an increase in the efficiency of the process of wiredrawing copper.*

**Keywords:** *Process. Production Efficiency. Wiredrawing. OEE.*



## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 01 - Minérios de cobre.....	13
Figura 02 - Concentrado de cobre.....	13
Figura 03 - Fundição do anodo.....	14
Figura 04 - Retirada do anodo após o processo de fundição.....	14
Figura 05 - Vergalhão de Cobre.....	15
Figura 06 - Fluxograma do processo de extração do minério até a obtenção do fio.....	16
Figura 07 - Geometria de uma fieira de metal duro.....	19
Figura 08 - Fieiras de trefilação.....	20
Figura 09 - Bicos direcionadores de lubrificante.....	21
Figura 10 - Indicadores de OEE.....	26

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>10</b>
<b>2 O METAL COBRE.....</b>	<b>11</b>
2.1 Propriedades do cobre e suas aplicações.....	11
2.2 Processo de extração e obtenção do cobre.....	11
2.3 História do Cobre no Brasil e no Mundo.....	15
<b>3 PROCESSO DE TREFILAÇÃO.....</b>	<b>17</b>
3.1 Conceito.....	17
3.2 Fatores importantes do processo.....	18
3.2.1 Fieiras.....	18
3.2.2 Lubrificação.....	19
3.2.3 Recozimento.....	20
<b>4 MEDIÇÃO DE DESEMPENHO.....</b>	<b>21</b>
<b>5 OEE (Overall Equipment Effectiveness).....</b>	<b>22</b>
5.1 Breve histórico.....	22
5.2 Conceito de OEE.....	23
5.3 Indicadores de OEE.....	24
<b>6 IMPACTO DO OEE NO PROCESSO DE TREFILAÇÃO.....</b>	<b>26</b>
6.1 Disponibilidade do Processo de Trefilação de Cobre.....	27
6.2 Performance do Processo de Trefilação de Cobre.....	28
6.3 Qualidade no Processo de Trefilação de Cobre.....	29
6.4 Eficiência Produtiva Antes e Depois da Implantação da OEE.....	30
<b>7 CONCLUSÃO.....</b>	<b>31</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>32</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Diante do ambiente de intensa competitividade em que os processos de produção estão inseridos, medir seu real desempenho é de fundamental importância para que se possam identificar os pontos falhos do sistema, promovendo ações que visam à melhoria contínua do processo e consequentemente o aumento da eficiência produtiva para a sobrevivência no mercado.

Neste contexto, foram surgindo diversas ferramentas para se medir o real desempenho dos processos, entre elas está a OEE (Overall Equipment Effectiveness – Eficiência Global dos Equipamentos) que consiste em um indicador que visa a análise das perdas de disponibilidade, performance e qualidade. Analisando esta ferramenta viu-se a oportunidade de aplicá-la ao processo de trefilação de fios de cobre com o intuito de eliminar a baixa eficiência produtiva que vem sendo observada neste processo ao longo do tempo.

O processo de trefilação possui como uma de suas características ser um processo com diversas particularidades e fatores que o diferenciam de outros sistemas produtivos. Por se tratar de processo contínuo e praticamente ininterrupto, o controle de seus parâmetros torna-se o fator primordial para que se obtenha uma boa eficiência produtiva. E em se tratando da trefilação de fios de cobre, este controle torna-se ainda mais importante, pois pode interferir diretamente na qualidade do produto final.

Portanto, o objetivo deste estudo é realizar uma análise do processo de trefilação do metal cobre demonstrando os impactos que são gerados com a escolha da OEE como ferramenta de medição de desempenho deste processo, bem como apresentar as melhorias que podem ser obtidas a partir de sua utilização.



## 2 O METAL COBRE

### 2.1 Propriedades do cobre e suas aplicações

O cobre é um elemento químico classificado como metal de transição, possuindo como características principais ser sólido à temperatura ambiente, possuir coloração avermelhada, ser dúctil, maleável, e excelente condutor de eletricidade. Diante destas características o cobre é amplamente utilizado na indústria para a produção de materiais condutores de eletricidade (fios e cabos), e em ligas metálicas como latão e bronze.

[...] apresenta ponto de fusão correspondente a 1083°C e densidade correspondente a 8,96 g/cm<sup>3</sup> (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).

Atualmente, a utilização do metal cobre destaca-se para a produção de fios, cabos elétricos, e também inúmeras ligas metálicas como latão, bronze, zinco, além de ser utilizado para a fabricação de tubos, arames.

### 2.2 Processo de extração e obtenção do cobre

O processo de extração e obtenção do cobre se dá a partir de minérios que possuem em torno de 0,5% e 2,5% de cobre contido, sendo os mais predominantes os minérios sulfurosos: calcopirita com teor de 34,5% de cobre e a calcosita com teor de aproximadamente 80%.

Figura 01 - Minérios de cobre



Fonte: COBRE, 2012.

A primeira etapa para a obtenção do cobre é a moagem, na qual o minério passa por um triturador e é moído até que seus grãos sejam micronizados. Esses grãos são misturados em uma solução contendo água e produtos químicos e seguem para tanques de flotação que são tanques responsáveis pela separação de misturas. Nestes tanques é inserido ar injetado fazendo com que as partículas sulfurosas carregadas de cobre permaneçam emersas devido a não se misturarem com a água e as partículas que não contém cobre fiquem no fundo do tanque. As partículas sulfurosas formam um tipo de espuma e são carregadas através de calhas laterais que seguem um forno de secagem, obtendo-se assim um produto com em média 30% de peso de cobre. Esse produto é então transportado para a metalurgia.

Figura 02 - Concentrado de cobre



Fonte: MOURA, 2007



O material vindo da mineração é acrescentado ao calcário e levado a próxima etapa chamada de refinação. No processo de refinação o cobre e o calcário fundem-se em um forno de refino chamado de Fundição Instantânea ou Flash Smelter, formando um produto com aproximadamente 60% de cobre chamado “MATTE”. O matte é então transportado a fornos conversores, onde é injetado oxigênio, produzindo assim o chamado “BLISTER” com teor de 98,5% de cobre. Seguindo para a próxima etapa, o blister é submetido a refinação à fogo onde é obtido um material com teor de 99,4% de cobre. Esse material é vazado em moldes especiais formando os “ANODOS” (placas de aproximadamente 1,00m x 1,00m). Embora os anodos pareçam possuir uma porcentagem relativamente elevada de pureza, não são suficientemente puros para fins elétricos necessitando, por conseguinte, passar por uma nova etapa de refinação eletrolítica.

Figura 03 - Fundição do anodo



Fonte: Processo Produtivo, 2012.

Figura 04 - Retirada do anodo após o processo de fundição



Fonte: Processo Produtivo, 2012.

A etapa de refinação eletrolítica consiste em colocar os anodos em cubas contendo solução de água e ácido sulfúrico, juntamente com chapas de partida de cátodo. Nestas cubas ocorre a perda de elétrons do anodo (polo positivo) para o “CATODO” (polo negativo), fazendo com que todo cobre migre para a chapa de cátodo, obtendo-se assim um cobre com 99,9% de pureza.

Após essa série de etapas, o catodo de cobre é levado à fundição onde é aquecido a mais de 1085°C e transformado em seu estado líquido. O cobre ao sair da fundição e entrar em contato com a temperatura ambiente se solidifica e é laminado em forma de barras ou vergalhões. Estes por sua vez, são destinados ao processo de trefilação.

O processo produtivo da empresa Caraíba pode ser dividido em quatro etapas. Começa com a fundição, em que acontece a fusão dos concentrados de cobre que chegam das mineradoras, em geral com 30 % do metal. Da fundição sai um novo produto, o matte, com um teor de 60 % de cobre, além da escória usada para jateamento de navios e correção de clínquer, matéria-prima do cimento. Submetido a novo ciclo de redução, o matte resulta no cobre blister, cujo teor de cobre corresponde a 98,5 %. Segue-se a etapa de refino a fogo, em que, pela eliminação do oxigênio e do enxofre residual, o teor de cobre passa para 99,4 %, sendo então moldado na forma de ânodos. A fase seguinte é o refino eletrolítico, os ânodos são colocados nas chamadas células de eletrólise, intercalados com as chapas de partida. O cobre é então transferido para essas chapas, constituindo o produto final, o cátodo de cobre, com pureza igual ou superior a 99,9 %, ficando os metais preciosos - ouro e prata no fundo das células, de onde são retirados em forma de lama anódica e, posteriormente, processados em plantas específicas no exterior (Moura (2007, p.66).

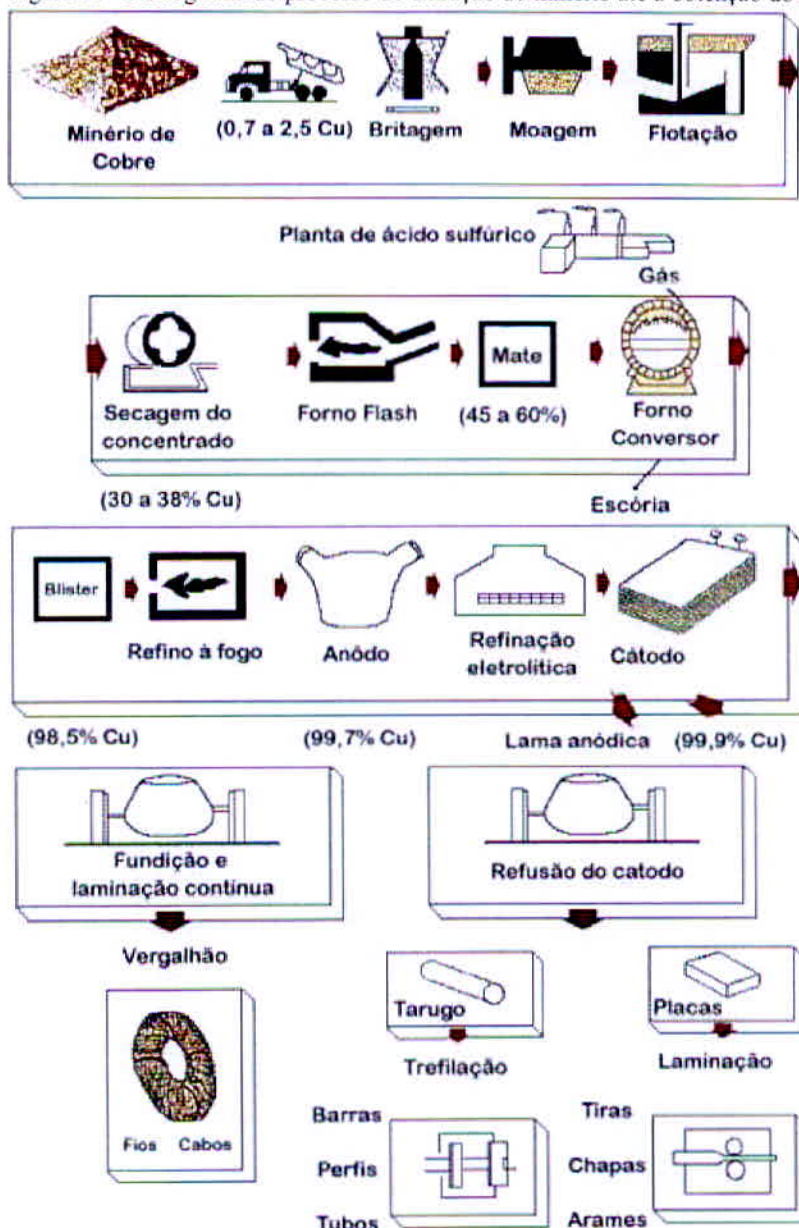
Figura 05 - Vergalhão de Cobre



Fonte: O autor



Figura 06 - Fluxograma do processo de extração do minério até a obtenção do fio



Fonte: Indústria do Cobre, 1997.

### 2.3 História do Cobre no Brasil e no Mundo

Não se sabe exatamente a data da descoberta desse metal tão precioso que nos dias atuais tornou-se uma das Commodities Minerais mais valiosas e mais importantes. Alguns pesquisadores ariscam a dizer que sua descoberta foi há mais de 6 mil anos em seu estado bruto. Na região norte do Golfo Pérsico foram desencavados os primeiros objetos de cobre,



provavelmente utilizados por uma civilização primitiva que descobriu o fascínio de transformar em objetos um material que, martelado, endurece e, aquecido, amolece.

A partir do ano 3500 a.C. desenvolveu-se a arte de fundir o cobre, onde formaram-se os primeiros metalúrgicos que já se valiam de técnicas de “refinação a fogo” do cobre. O Egito foi, certamente, o berço da primeira Idade do Cobre, mas o fato é que esse primeiro cobre veio libertar a humanidade da idade da Pedra, tornando-se o nosso primeiro metal para confecção de armas e utensílios.

De forma um pouco exagerada, o cobre foi conhecido como o pai da civilização. Se refletirmos um pouco a esse respeito, nos primórdios do homem sobre a terra, suas primeiras ferramentas eram feitas com rochas e ossos e a partir de então surge o Cobre. Material macio, dúctil e maleável, perfeito na hora de criar ferramentas e apressar nossos primeiros e decisivos avanços tecnológicos (MOURA, 2007, p. 12).

Ao colonizar parte da África e do Mediterrâneo, o Egito ampliou a utilização de metais que existiam em estado primitivo. Os romanos logo também descobriram as vantagens do cobre e assim iniciava sua popularização. O sucesso do metal espalhou-se em direção à Europa Central, Oriente Médio, África do Sul e China. Dai por diante a evolução do cobre não parou mais de crescer. Atualmente o Chile é o principal produtor de cobre no mundo, principalmente após as reformas políticas que o Congresso determinou, liberando a criação de sociedades mistas entre Governo chileno e empresas estrangeiras.

No Brasil, nossa primeira área de cobre foi descoberta na Bahia, em 1783, numa região próxima de Juazeiro, porém permaneceu-se inexplorada. Com o crescimento da produção agrícola, o governo brasileiro sentiu a necessidade de construir estradas de ferro para escoar sua produção. Na década de 1870, as escavações para novas estradas levaram à descoberta de minérios. Entre eles, na região de Jaguarari a 500 quilômetros de Salvador, estava o cobre. Mas somente em 1944 finalmente a exploração do metal foi efetivamente registrada no DNPM (Departamento Nacional da Produção Mineral). O Brasil é o décimo quinto maior produtor de Minério de Cobre, com produção em 2010 estimada em 230 mil toneladas que representou um crescimento de 6 % em relação ao ano anterior. Espera-se um crescimento significativo da produção, de modo a atingir cerca de 475 mil toneladas até 2014 (IBRAM, DNPM E ALICEWEB, 2012).

### 3 PROCESSO DE TREFILAÇÃO

#### 3.1 Conceito

A trefilação é um processo mecânico onde a matéria-prima (fio, arame, barra ou tubo) é direcionada a uma matriz conhecida como fieira. Devido a forças de tração aplicadas ao lado de saída da fieira, o material sofre um estiramento, ou seja, tem sua seção transversal reduzida e seu comprimento aumentado gradativamente. Este processo é comumente realizado a frio, ou seja, a uma temperatura de trabalho abaixo da temperatura de recristalização, e as forças aplicadas no material através da fieira, provocam o escoamento plástico do mesmo.

O processo de trefilação é classificado como um processo de compressão indireta, já que os esforços preponderantes na deformação são esforços de compressão exercidos pelas paredes do furo da ferramenta sobre o fio, quando de sua passagem, por efeito de um esforço de tração aplicado na direção axial do fio e de origem externa. A justificativa para essa afirmação é que o esforço externo é de tração, e o esforço que provoca a deformação é de compressão (PALMEIRA, 2005).

À medida que o fio passa pelas fieiras, sua resistência mecânica associada ao aumento da ductibilidade provocam a queda de conformabilidade, por isso se faz necessário um tratamento térmico de recozimento. O processo de trefilação é conhecido por possuir vantagens sobre outros processos, como:

- O material pode ser estirado e reduzido em seção transversal mais do que com qualquer outro processo;
- Ótima precisão dimensional
- A superfície produzida é uniformemente limpa e polida
- O processo influi nas propriedades mecânicas do material, permitindo, em combinação com um tratamento térmico adequado, a obtenção de uma gama variada de propriedades com a mesma composição química.



### 3.2 Fatores importantes do processo

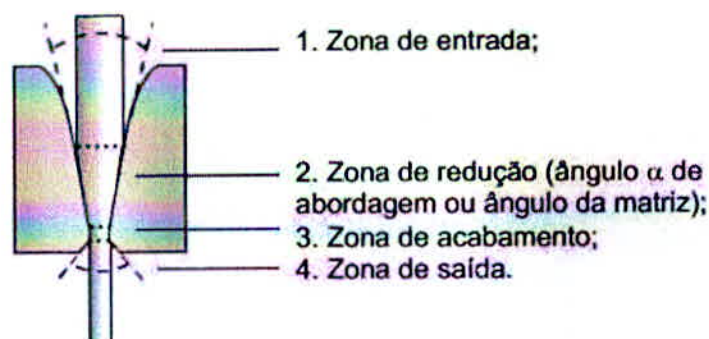
A trefilação possui como uma de suas características, possuir diversos fatores que combinados interferem diretamente na eficiência produtiva do processo, bem como na qualidade do final do produto. Dentre os mais importantes, destacam-se:

#### 3.2.1 Fieiras

As fieiras são ferramentas responsáveis por conferir ao material o dimensional desejado com a maior precisão possível. Geralmente são feitas de metal duro ou diamante sintético para que sejam capazes de suportar o desgaste ao atrito e calor.

É natural que as fieiras sofram desgaste após trefilar um grande comprimento de fio. Tanto as fieiras de metal duro quanto as fieiras de diamante a medida que se desgastam, seu diâmetro aumenta gradativamente. Se recalibradas e repolidas, podem ser usadas na trefilação de fios de diâmetros maiores. A vida útil de uma fieira trabalhando com um determinado diâmetro, é determinada pelo comprimento de fio trefilado sem que a ela seja recalibrada. (ZAVAGLIA, 1979).

Figura 07 - Geometria de uma fieira de metal duro



Fonte: Processos de Fabricação, 2006.

Como na ilustração acima, a fiação é composta de quatro zonas ou partes: Zona de entrada que direciona o fio, zona de redução responsável pela deformação, zona de acabamento responsável por determinar o diâmetro e zona de saída cuja finalidade é facilitar a saída do fio.

Figura 08 - Fieiras de trefilação



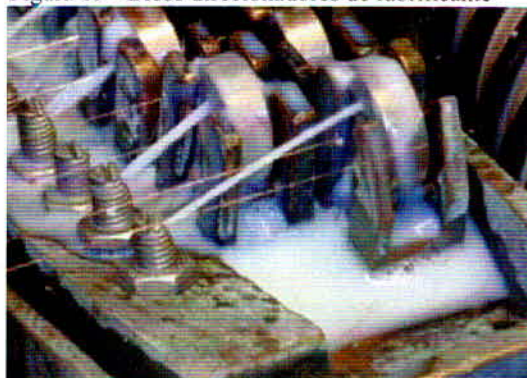
Fonte: O autor

### 3.2.2 Lubrificação

O processo de trefilação do cobre por se tratar de um processo contínuo, é comum se trabalhar com velocidades elevadas. Essas altas velocidades causam um aumento natural da temperatura do processo, interferindo diretamente na vida útil das fieiras, e estas por sua vez na qualidade superficial do fio. Portanto, a lubrificação tem a função tanto de lubrificar, quanto de resfriar. A finalidade do lubrificante entre o fio e as fieiras é:

- Reduzir o desgaste da fieira;
- Obter um fio com boa apresentação superficial;
- Reduzir a força de tração necessária ao processo;
- Esfriar a fieira durante o processo de trefilação.

Figura 09 - Bicos direcionadores de lubrificante



Fonte: O autor

Existem vários tipos de lubrificantes, podem-se citar os mais comuns como sendo óleos solúveis, óleo de linhaça, sabões ou graxas animais fracamente ácidas. Esses lubrificantes trabalham em temperaturas que variam de 40 a 60°C. É imprescindível que essa faixa de temperatura seja respeitada, pois abaixo dessa faixa, a viscosidade é baixa e o fluido não acompanha o fio para dentro da fiação e acima dessa faixa a emulsão perde a ação lubrificante e refrigerante. Podemos citar dois processos mais comuns na trefilação de acordo com o tipo de máquina: por imersão onde as fiação estão submersas num banho de lubrificante e por aspersão, onde um jato de lubrificante é dirigido a cada fiação (ZAVAGLIA, 1979).

### 3.2.3 Reozimento

O processo de reozimento é basicamente um processo de tratamento térmico do material. Quando o fio de cobre passa por uma sequência de fiação, sua estrutura é drasticamente modificada com o aumento de seus grãos, isso faz com que o cobre perca sua ductibilidade e maleabilidade, tornando-se rígido e sem alongamento. Em consequências disso há um atrito maior na passagem do fio sobre as fiação.

Desta forma o processo de reozimento é empregado em todas as etapas onde haja necessidade do cobre prosseguir em retrefilagens sucessivas (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - Fios de cobre nu de seção circular para fios elétricos – especificação. NBR 5111: 1997).



Observações importantes devem ser feitas nesta etapa para garantir o complemento do bom desempenho da trefilação, tais como:

- A temperatura da água de resfriamento não deve exceder a 40°C, para evitar que o fio fique marrom;
- O vapor deve ser mais seco possível;
- Deve ser observado que o fornecimento de vapor seja uniforme;
- As feiras de secagem colocadas na saída do recozedor (dupla) devem ser corretamente dimensionadas. O diâmetro de entrada deverá ser aproximadamente 0,3mm e o diâmetro de saída 0,2mm maior que o fio trefilado. Com este arranjo a umidade é afastada de toda a área do fio, não levando água para os compartimentos seguintes da máquina (dispositivo acumulador, bobinador), assim as mangueiras de ar comprimido que completam esta etapa devem estar em perfeitas condições e em pleno funcionamento;
- Cuidar para que o fio não esfregue em qualquer parte do recozedor.

(ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Procedimento de inspeção de fios para enrolamentos. NBR NM 299:2006).

#### **4 MEDIÇÃO DE DESEMPENHO**

A medição de desempenho pode ser compreendida como um controle dentro de um processo capaz de indicar a eficiência do mesmo.

Por meio da coleta, exame, classificação, análise, interpretação e disseminação dos dados, o sistema de medição de desempenho permite que as decisões e ações sejam tomadas com base em informações porque ele quantifica a eficiência e a eficácia das ações passadas (NEELY, A 1998 apud ATTADIA; MARTINS, 2003, 36).

Podemos igualmente compreender um sistema de medição de desempenho como um conjunto de medidas ou indicadores referentes à organização que permitirão aos gestores alocarem os recursos necessários em suas operações de negócio, de forma a atingir os objetivos previamente estabelecidos.

Uma gestão efetiva de processos requer a consideração de algumas premissas na estratégia do negócio, tais como: estabelecimento das metas, objetivos e indicadores; mensuração do desempenho atual para futura comparação dos resultados; e finalmente revisão da eficiência e eficácia dos processos.

Vários são os indicadores de desempenho disponíveis fazendo com que os gestores sejam seletivos na escolha daqueles que são mais apropriados ao setor de atuação da empresa. Sem um indicador adequado que esteja perfeitamente alinhado com os objetivos da organização, não será possível avaliar com precisão os dados internos bem como o desempenho da empresa diante dos seus competidores (DAVIS et al., 2001 apud SERRA et. al., 2010, 3).

Da mesma forma e com o mesmo grau de importância, os objetivos e metas devem ser estabelecidos adequadamente, isso significa que devem ser claramente definidos, mensuráveis, alcançáveis, relevantes e com prazos pré-estabelecidos.

Portanto, compreendido o conceito de medição de desempenho, torna-se possível estudar o indicador de Eficiência Global de Equipamentos (Overall Equipment Effectiveness – OEE) que será explorado no capítulo a seguir.

## **5 OEE (Overall Equipment Effectiveness)**

### **5.1 Breve histórico**

A Eficiência Global dos Equipamentos (OEE – Overall Equipment Effectiveness) começou a ser reconhecida no final dos anos 80 e início dos anos 90 como um importante método para a medição do desempenho industrial. Nesse mesmo período surgiu o *benchmarking* na manutenção em importantes organizações, a introdução da Manutenção Produtiva Total (TPM) nos Estados Unidos e a fundação da Sociedade dos Profissionais de Manutenção e Confiabilidade (SMRP) (HANSEN, 2006).

Inicialmente, a OEE era vista apenas como uma forma de medição baseada nas práticas e metodologia da TPM com o objetivo de se obter o prêmio TPM. Já com o passar dos anos, muitos engenheiros e profissionais ligados à área de Manutenção, começaram a



enxergá-la como uma ferramenta independente para medir a eficiência real de um equipamento.

A OEE possibilitou a integração das áreas de manutenção, operações e engenharia com vistas à obtenção de níveis superiores de desempenho em uma instalação industrial. Atualmente, ela é aceita com consultores de gestão como uma medida principal de desempenho (HANSEN, 2006).

## 5.2 Conceito de OEE

A OEE é um indicador de eficiência global capaz de identificar a eficiência máxima que um processo pode atingir em um período pré-determinado. Através deste indicador de desempenho temos como vantagens a visualização evidente das perdas por disponibilidade, produtividade e qualidade, além de podermos indicar as áreas ou setores onde devem ser desenvolvidas melhorias.

Atualmente, o OEE é utilizado nas empresas como uma ferramenta para medir o desempenho real dos processos de fabricação, pois consiste em um cálculo simples e prático que considera as perdas de produtividade e as classifica em três categorias primárias. Estas, desmembradas, proporcionam uma análise crítica da situação atual dos processos, evidenciando as fábricas ocultas existentes nas operações de manufatura (HANSEN, 2006).

O objetivo da OEE é, portanto, fornecer em números o quão eficazmente as empresas controlam os seus processos quando são programadas para produzir, além de identificar com clareza a máxima eficácia possível do sistema produtivo (HANSEN, 2006).

Outro objetivo primordial do indicador de OEE é a identificação das chamadas “fábricas ocultas” existentes dentro do processo, responsáveis pelos baixos índices de eficiência normalmente encontrados. Uma vez explicitada e reconhecida a “fábrica oculta”, através de uma análise sistêmica envolvendo todos os departamentos da organização, torna-se possível quantificar a eficiência do indicador OEE. A partir da OEE é possível planejar e implantar um conjunto de melhorias que tenderão a ampliar a capacidade da empresa através de ações que exigem baixo nível de investimento.

Apesar de a OEE ser baseada em uma metodologia, não existe regra ou obrigatoriedade que determina sua utilização. Cada organização é responsável por classificar e definir o que se considera como perdas, paradas e falhas no processo.



### 5.3 Indicadores de OEE

A OEE é função de três indicadores que influenciam diretamente na produtividade dos equipamentos. São eles: Disponibilidade, Performance (ou Desempenho) e Qualidade. O produto destes três itens multiplicado por 100 resulta no índice de OEE e determina a eficácia do processo, ou seja, se o processo está produzindo produtos de qualidade com os requisitos no tempo em que o equipamento está programado para operar (HANSEN, 2006).

O indicador de Disponibilidade é a quantidade de tempo em que um equipamento esteve disponível para trabalhar comparado com a quantidade de tempo em que foi programado para trabalhar. Se por ventura determinada máquina está programada para produzir 24 horas e nessas 24 horas esteve disponível, a disponibilidade foi de 100%. Caso ela dentro das 24 horas tenha ficado parada 2 horas devido a uma falha mecânica, por exemplo, sua disponibilidade foi de então 83,33%.

O indicador de performance ou desempenho é o quanto o equipamento trabalha próximo do tempo de ciclo ideal para produzir uma peça. É comumente relacionado com a velocidade de produção. Podemos analisar da seguinte forma: Se uma máquina está programada a produzir com uma velocidade de 20 metros/min e por falta de mão de obra, por exemplo, foi necessária a redução de velocidade para 15 metros/min, seu desempenho foi de 75%.

Já o indicador de qualidade é o número total de peças boas produzidas comparadas com o número total de produzidas. Portanto, se considerarmos uma produção em um período de 24 horas e dentro deste período o número peças fabricadas for de 300 peças e destas todos estão conformes, por exemplo, o índice de qualidade é de 100%. Porém, se houve um problema durante o processo e 30 peças foram reprovadas, o percentual de qualidade passa a ser de 90%.

Portanto, através da análise destes três índices é possível visualizar com maior clareza as principais perdas que estão ocorrendo durante o processo, sejam elas por manutenções, setups, paradas curtas, redução de velocidade ou problemas de qualidade. Para que a conciliação com a OEE seja coerente, as perdas devem ser convertidas para a unidade tempo. (HANSEN, 2006).

Há seis tipos de perdas que interferem no desempenho dos equipamentos como um todo. (NAKAJIMA, 1989 apud SERRA et. al., 2010, 5). São elas:

a) Paradas não programadas: Vários motivos podem ocasionar a paralisação da produção, como por exemplo, manutenção corretiva, falta de energia, falta de insumos, falta de operador, ausência de ferramentas adequadas, etc.;

b) Paradas por setup ou ajustes: Correspondem aos períodos em que o equipamento deixa de produzir para que ocorram as trocas de produtos, mudanças de linha, preparação de máquina, e outras atividades do gênero;

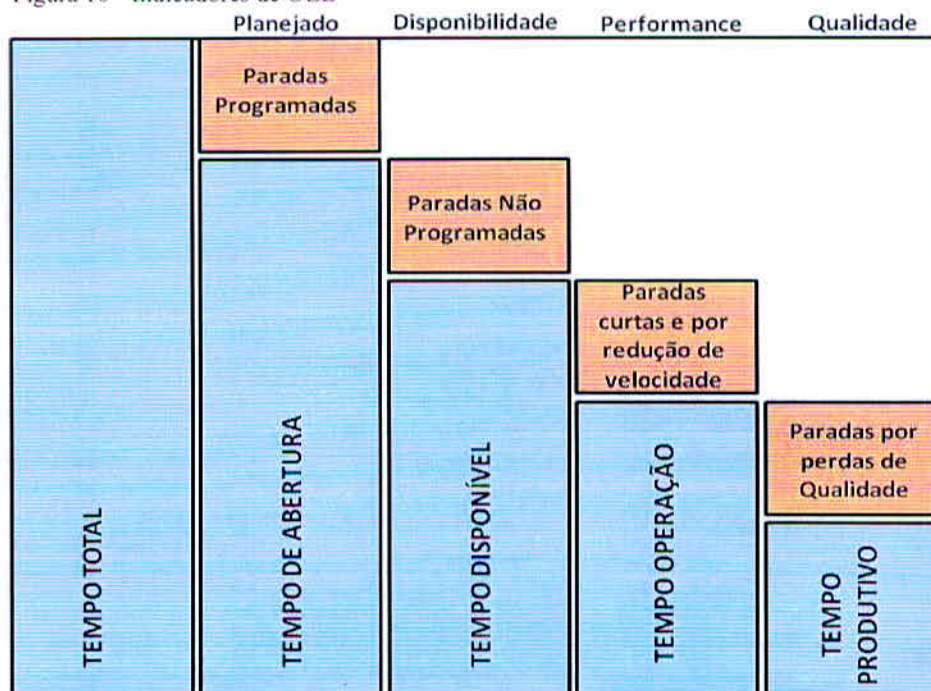
c) Ociosidade e pequenas paradas: São caracterizadas por rápidas interrupções nos ciclos dos equipamentos em pequenos intervalos de tempo;

d) Oscilações de velocidade: Ocorrem quando o equipamento opera com velocidade menor do que a máxima especificada no projeto, aumentando o tempo de ciclo. Podem ser ocasionadas por restrições impostas pelo setor de Manutenção, falhas operacionais, instabilidade da matéria-prima, etc.;

e) Falhas durante o processo (refugos, sucatas e não conformes): São relativas à produção de produtos fora do padrão solicitado pelo cliente ou às sobras de processos;

f) Falhas no início da produção (startup): Estão relacionadas a restrições técnicas dos equipamentos, que necessitam de um período para estabilização das suas condições após períodos sem produção.

Figura 10 - Indicadores de OEE



Fonte: O autor



Como mencionado anteriormente, a OEE é obtida pelo produto dos fatores de disponibilidade, desempenho e qualidade:

$$\text{OEE} = \% \text{ Disponibilidade} \times \% \text{ Desempenho} \times \% \text{ Qualidade} \times 100 \quad (1)$$

Exemplo: Se em um determinado processo obtivemos 95% de disponibilidade, 90% de desempenho e 90 % Qualidade, temos:

$$\text{OEE} = 76,95 \% \text{ de eficiência}$$

Quando obtemos um valor de OEE de 76,95%, a priori enxergamos como um valor excelente, mas para efeito comparativo, as empresas de Classe Mundial consideram como excelente uma eficiência mínima superior a 85% para processos em lotes, 90% para processos discretos e contínuos e 95% para indústrias de fluxo contínuo. Ou seja, para obtermos uma eficiência global de 85% é necessário que tenhamos 95% de disponibilidade, 95% de desempenho e 95% de qualidade.

## **6 IMPACTO DO OEE NO PROCESSO DE TREFILAÇÃO**

Como observou-se anteriormente, por meio da análise dos resultados da OEE é possível identificar onde as reais perdas estão ocorrendo dentro do processo de trefilação, sejam elas por problemas de qualidade, ineficiência operacional, quebras de máquina, redução de velocidade ou até mesmo pela ineficácia das manutenções preventivas e corretivas. Através desta identificação e compreensão de como elas impactam nos indicadores de OEE, formaram-se equipes de trabalho que visam o estabelecimento de metas de eficiência para as máquinas trefiladoras de cobre. Portanto, com a implantação desta ferramenta é possível detectar e atuar através de ações e melhorias nos locais mais críticos do processo, além conscientizar a todos os envolvidos para seguir corretamente os procedimentos operacionais e parâmetros de Engenharia para que não haja desvios que afetem a eficiência das máquinas.

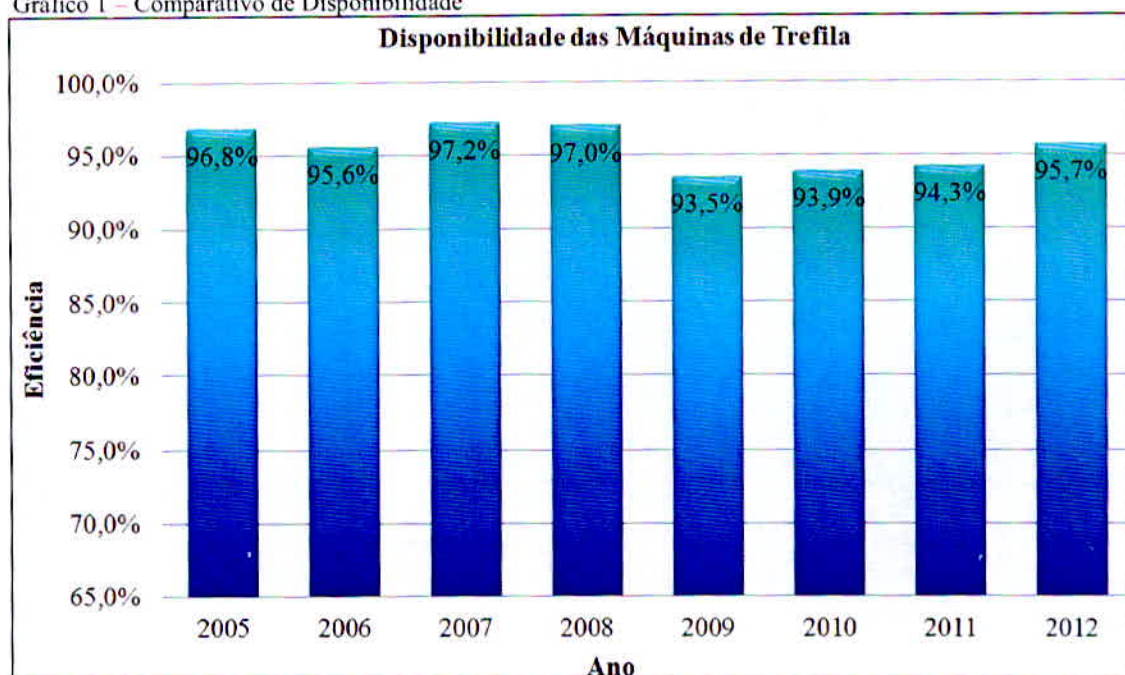
As análises dos tempos no processo tiveram início no ano de 2005, e a eficiência produtiva era basicamente definida através do total produzido pelo total programado. Com o passar dos anos observou-se que esta sistemática para o cálculo de eficiência não condizia com o real desempenho e ganhos da empresa, fazendo-se necessário adotar a ferramenta de

OEE para melhor identificação dos tempos de disponibilidade, desempenho e qualidade. Em janeiro de 2009 a ferramenta de OEE foi efetivamente implantada, tornando-se o principal indicador de eficiência produtiva das máquinas trefiladoras de cobre. Como veremos a seguir, com o passar dos anos pôde-se concluir que com a implantação e utilização desta ferramenta no processo foi possível identificar e quantificar a real eficiência das máquinas trefiladoras de cobre, gerando uma melhora significativa no quadro produtivo da empresa.

### 6.1 Disponibilidade do Processo de Trefilação de Cobre

O gráfico a seguir mostra a eficiência de disponibilidade antes e depois da implantação da ferramenta de OEE. Nota-se através do gráfico que houve uma queda de disponibilidade, porém deve-se levar em consideração que antes da implantação da OEE em 2009 os dados coletados não podiam ser considerados 100% confiáveis, pois não havia uma coleta e controle exato e preciso das informações, devido a isso não conseguia-se visualizar de fato as verdadeiras perdas devido a setup e manutenções corretivas.

Gráfico 1 – Comparativo de Disponibilidade



Fonte: São Marco Indústria e Comércio Ltda.



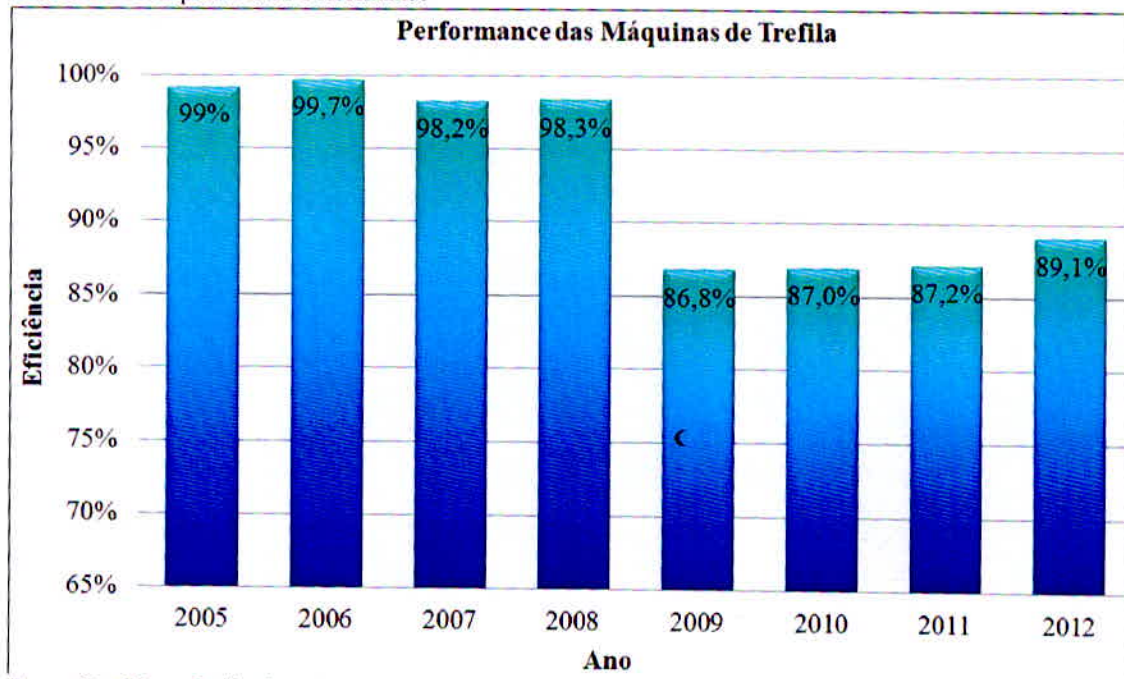
Através dos estudos realizados pela empresa ao longo dos anos, foram feitas padronizações nos tempos de setup e reduzidos os tempos gastos por manutenções corretivas, proporcionando um aumento da eficiência por disponibilidade. Vale ressaltar que para a diminuição das manutenções corretivas é imprescindível que haja um aumento das manutenções preventivas de modo a evitar problemas durante o processo.

## 6.2 Performance do Processo de Trefilação de Cobre

Assim como a eficiência por disponibilidade, a performance do processo não podia ser considerada confiável, pois apenas os tempos de paradas curtas do processo eram considerados.

Podemos dizer que com a padronização das velocidades para cada tipo de máquina trefiladora de cobre, e a redução das paradas curtas no processo, foi possível comprovar a melhora na performance do processo apesar da redução de eficiência em porcentagem.

Gráfico 2 – Comparativo de Performance



Fonte: São Marco Indústria e Comércio Ltda.

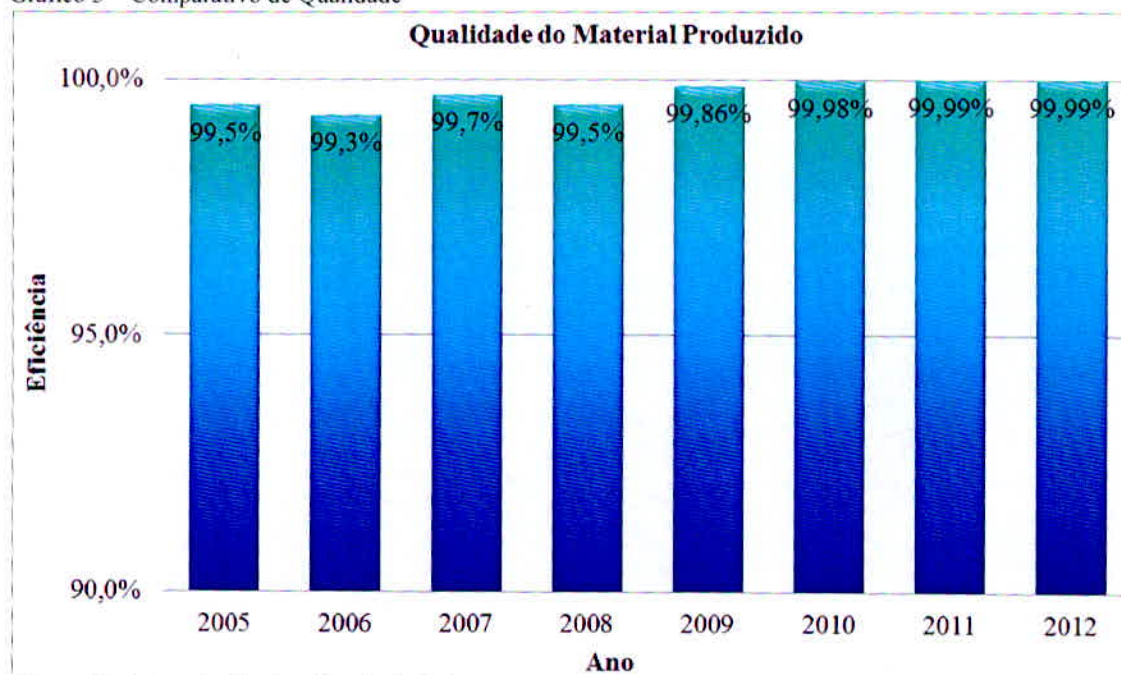
### 6.3 Qualidade no Processo de Trefilação de Cobre

Como mencionado anteriormente todas as perdas do processo segundo a ferramenta de OEE, devem ser transformadas na unidade tempo. Sendo assim, no processo de trefilação de fio de cobre, consideramos as perdas devido à qualidade do produto, como sendo os tempos que foram desperdiçados produzindo sucata ou refugo do processo.

Apesar de ser característico do processo de trefilação não gerar uma quantidade relativa de sucata, após a implantação da OEE, foi possível reduzir ainda mais essa quantidade, praticamente eliminando as perdas devido à qualidade do produto produzido.

Analisando o gráfico a seguir viu-se que o índice de qualidade de todo material que foi produzido no processo também foi elevado diante das melhorias realizadas durante os anos.

Gráfico 3 – Comparativo de Qualidade

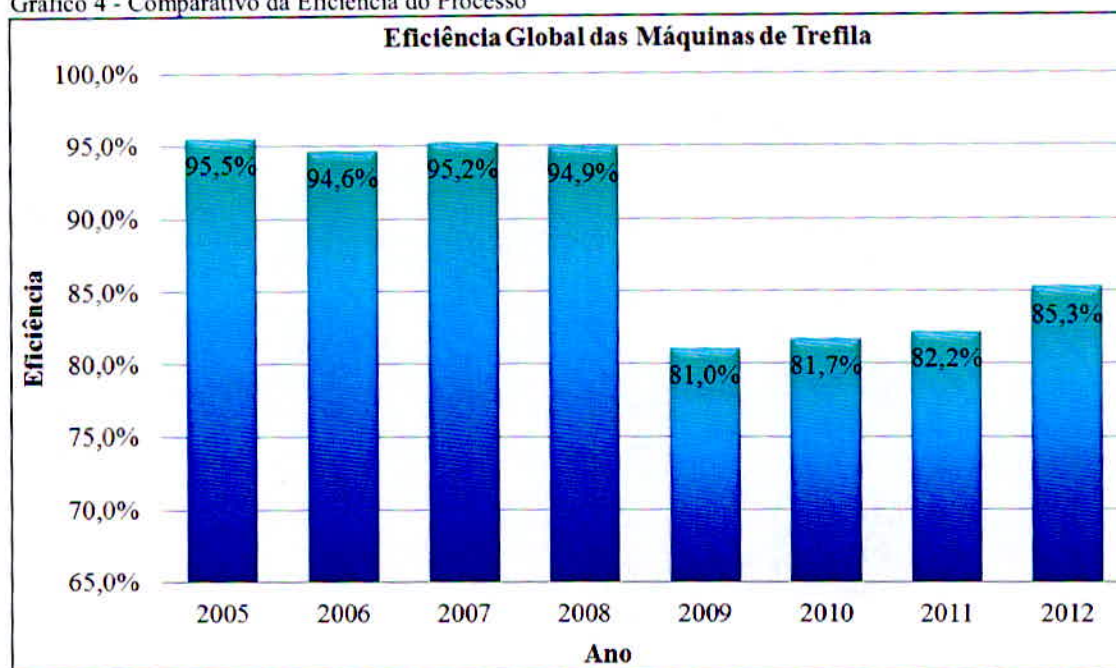


Fonte: São Marco Indústria e Comércio Ltda.

#### 6.4 Eficiência produtiva antes e depois da implantação da OEE

Seguindo o mesmo raciocínio adotado anteriormente, pode-se concluir através da análise do gráfico abaixo que a redução de porcentagem da eficiência das máquinas de trefilação, não significa que houve uma queda de rendimento do processo, e sim que por meio da identificação das eficiências reais de disponibilidade, performance e qualidade, foi possível determinar a eficiência real das máquinas trefiladoras de cobre.

Gráfico 4 - Comparativo da Eficiência do Processo



Fonte: São Marco Indústria e Comércio Ltda.

Diante do estudo realizado no processo de trefilação de cobre e dos indicadores coletados pode-se concluir que a utilização da ferramenta de medição de desempenho OEE é de extrema relevância para a obtenção de melhores resultados no processo e que uma coletada de dados confiável é imprescindível para a obtenção de uma eficiência real das máquinas trefiladoras de cobre. Através de sua utilização foi possível identificar com clareza as conhecidas “fábrica oculta” dentro processo, ou seja, onde as reais perdas estão ocorrendo, mas dificilmente conseguem ser visualizadas.



## 7 CONCLUSÃO

Este trabalho de conclusão de curso teve como objetivo demonstrar os impactos positivos da utilização da OEE (Overall Equipment Effectiveness – Eficiência Global dos Equipamentos) como ferramenta de medição de desempenho no processo de trefilação do cobre.

Dado o nível de eficiência almejado pelas empresas de classe mundial, viu-se o quão desafiadora esta ferramenta se torna dentro do processo de trefilação de cobre, pois além de permitir a identificação das reais perdas dentro do processo, permite avaliar os efeitos das ações de melhoria desenvolvidas e as padronizações realizadas para tornar os equipamentos mais eficazes e, conseqüentemente, gerar maior valor para a empresa.

Conclui-se que com o estudo dos indicadores de disponibilidade, performance e qualidade, além da redução das perdas do processo através da melhor análise e padronização dos tempos é possível obter um aumento da eficiência produtiva no processo de trefilação de cobre.

Com a execução deste trabalho pode-se concluir também que a OEE não deve ser considerada como um solucionador de problemas, e sim um indicador que permite identificar e quantificar os problemas detectados de um modo padronizado, demonstrando através de um único número a eficiência das máquinas trefiladoras de cobre.



## REFERÊNCIAS

ANDRADE, et al. **Indústria do Cobre**. 1997. Disponível em: <[http://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/export/sites/default/bndes\\_pt/Galerias/Arquivos/conhecimentorelato/cobre.pdf](http://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/export/sites/default/bndes_pt/Galerias/Arquivos/conhecimentorelato/cobre.pdf)>. Acesso em: 25 jun 2012

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

\_\_\_\_\_. **NBR NM 299: Procedimento de inspeção de fios para enrolamentos**. 2006.

ATTADIA, L.C.L. et.al. Medição de desempenho como base para a evolução da melhoria contínua. **Revista Produção**. v.13, N.2, p.33-41, 2003. Disponível em: <[http://www.abepro.org.br/biblioteca/enegep2010\\_TN\\_STP\\_113\\_739\\_17096.pdf](http://www.abepro.org.br/biblioteca/enegep2010_TN_STP_113_739_17096.pdf)>. Acesso em: 06 ago 2012. 12h20min.

CHIAVERINI, Vicente. **Tecnologia Mecânica. Materiais de Construção Mecânica**. 2. ed. São Paulo: McGraw-Hill Ltda, 1986. v. III.

HANSEN, R.C. **Eficiência global dos equipamentos: uma poderosa ferramenta de produção/manutenção para o aumento dos lucros**. Porto Alegre: Bookman, 2006.

IBRAM, et. al. **Cobre**. Disponível em: <<http://simineral.org.br/mineracao/?id=6>>. Acesso em: 27 jun 2012. 14h13min.

MORO, Norberto. **Processos de Fabricação: Conformação Mecânica II - Extrusão, Trefilação e Conformação de Chapas**. Florianópolis, 2006. Disponível em: <[http://www.norbertocefetsc.pro.br/pfb\\_conformacaoii.pdf](http://www.norbertocefetsc.pro.br/pfb_conformacaoii.pdf)>. Acesso em: 03 ago 2012. 15h41min

MOURA, Luiz Felipe Heide Aranha. **Cobre Metal Eterno**. São Paulo: Magma Cultural, 2007.

PALMEIRA, A.A. **Engenharia de Produção: Processos de Fabricação IV Capítulo 5: Processo de Trefilação**. Rio de Janeiro, 2005. Disponível em: <<http://www.fat.uerj.br/intranet/disciplinas/Processos%20de%20Fabricacao%20IV/Cap%205%20-%20Trefila%E7%E3o.pdf>>. Acesso em: 28 jun 2012. 13h05min.

SERRA, N.R.C et.al. Utilização do indicador OEE na análise de desempenho dos processos e melhoria contínua na produção de condutores elétricos. In: Encontro Nacional de Engenharia de Produção, 30, 2010, São Carlos, SP. **Anais...** São Carlos, SP: Engeep, 2010. Disponível em: <[http://www.abepro.org.br/biblioteca/enegep2010\\_TN\\_STP\\_113\\_739\\_17096.pdf](http://www.abepro.org.br/biblioteca/enegep2010_TN_STP_113_739_17096.pdf)>. Acesso em: 11/08/2012, 12h42min.

ZAVAGLIA, C.A.C. **Contribuição ao estudo da trefilação de fios capilares de metais não ferrosos**. Campinas, 1979. Disponível em: <<http://www.bibliotecadigital.unicamp.br/document/?code=000052567&fd=y>>. Acesso em: 01 ago 2012. 22h46min.

**PARANAPANEMA. Processo Produtivo. Bahia, 2012. Disponível em:**  
<[http://www.caraiba.com.br/pt/ctt-caraiba-processo\\_produtivo.php](http://www.caraiba.com.br/pt/ctt-caraiba-processo_produtivo.php)>. Acesso em: 24 jun  
2012. 14h31min.