

**E-TEC**  
**Revista de**  
**Tecnologia e**  
**Ciência**

**V.1 – 2017**

**FACULDADE DE TECNOLOGIA**  
**SENAI LONDRINA**

# E-TEC Revista de Tecnologia e Ciência

## Corpo Editorial

Editor Chefe da edição V.1 – 2017  
Katielly Tavares dos Santos

## Comitê Executivo

Marcelo Antônio Strik  
Vicente de Lima Gongora  
Rodolfo Alexandre Hildebrandt  
Camila Fogaça de Oliveira

Editora: Faculdade de Tecnologia Senai Londrina  
ISSN: 2358-5528

Direitos reservados  
**Faculdade de Tecnologia SENAI Londrina**  
Rua Belém, 844 – Londrina PR.  
43 -3294-5100 – [faculdade.londrina@pr.senai.br](mailto:faculdade.londrina@pr.senai.br)

Nenhuma parte desta publicação poderá ser reproduzida sem a autorização prévia e escrita da Editora Faculdade de Tecnologia SENAI Londrina. Este periódico publica nomes individuais, comerciais e marcas registradas e produtos pertencentes a diversas companhias. O Editor utiliza-se destes nomes somente para fins editoriais e em benefício dos proprietários dos nomes e marcas, sem intenção de atingir seus direitos. Observa-se ainda que os dados contidos nos artigos são de responsabilidade dos próprios autores.

## Nesta edição

Prefácio .....	5
Introdução .....	6
Benefícios da Implantação da Ferramenta Manutenção Produtiva Total (TPM) no setor da manutenção de Ferramentas Elétricas.....	7
Identificação e correção de fator de potência dedicado a um motor de indução trifásico.....	39
Protótipo Para Secagem Entre Os Dedos Dos Pés.....	63
Readequação Em Sistema De Ar Comprimido.....	82
Aplicação Da Técnica Da Quantidade Mínima De Lubrificação (MQL) No Torneamento Aço Abnt 1020: Análise Das Propriedades Tribológicas.....	108
Análise Da Qualidade De Energia Elétrica Em Uma Caldeira De Biomassa Água-Tubular.....	148



e-TEC

*A tarefa não é tanto ver  
aquilo que ninguém viu, mas pensar  
o que ninguém ainda pensou sobre  
aquilo que todo mundo vê.”*

*Arthur Schopenhauer*

*25 de maio dia da indústria!*

*A Faculdade de Tecnologia SENAI Londrina promove esta data e, trabalha em busca do fortalecimento e capacitação de seus recursos humanos, tornando-as mais inovadoras e produtivas*

e-TEC

## Prefácio

A Revista e-tec SENAI Londrina é um periódico técnico-científico com publicação quadrimestral a partir de 2016, cujo objetivo principal é fomentar a pesquisa nas áreas de inovação, educação tecnológica, científica e tecnologia industrial. A revista, que é publicada eletronicamente, recebe artigos inéditos (teóricos ou teórico-empíricos) e resenhas de usuários de todo o Brasil e exterior, aceitando publicações em Português, Espanhol e Inglês. A revista também publica entrevistas com pesquisadores e personalidades de contribuição relevantes nas linhas de pesquisa da revista e o recebimento das submissões online é ininterrupto.

Os artigos e resenhas submetidos ao periódico são avaliados inicialmente pelo comitê executivo, que avaliará o enquadramento do texto nas linhas de pesquisa e na sequência encaminhado aos avaliadores. Os entrevistados de cada edição são indicados pelo editor ou pelo conselho editorial e avaliados pelos membros do comitê executivo. Os critérios para a composição do corpo editorial do periódico estão relacionados com os conceitos de excelência, seriedade e inovação que a Faculdade de Tecnologia SENAI Londrina possui.

# INTRODUÇÃO

Está publicação tem caráter multidisciplinar e foi escrita com a intenção de ser utilizada pelos alunos dos cursos de graduação e pós-graduação da Faculdade de Tecnologia SENAI Londrina. Os diversos autores divulgam conceitos e experimentos aplicados na moderna indústria, muitas vezes os procedimentos mostrados são resultados de trabalhos experimentais ou aplicados efetivamente. O objetivo fundamental a ser alcançado, por esta publicação é desenvolver suficiente habilidade para entender e resolver questões semelhantes que possam aparecer durante o desenvolvimento de trabalhos, tanto durante o curso de graduação como em desafios profissionais, tendo como referência a metodologia e os procedimentos adotados pelos autores deste periódico. A publicação foi organizada e dividida em artigos, apresentando em cada um deles um resumo que revela ao leitor as características fundamentais e o foco do trabalho desenvolvido, desta forma, o leitor verifica e avalia o grau de interesse e pode dar continuidade no entendimento da obra escrita. Salienta-se que, o roteiro em cada artigo, é o modelo padrão deste periódico, onde, o leitor motivado pode submeter o seu trabalho para apreciação do corpo editorial deste periódico, através do email "faculdade.londrina@pr.senai.br.

Boa leitura!

# BENEFÍCIOS DA IMPLANTAÇÃO DA FERRAMENTA MANUTENÇÃO PRODUTIVA TOTAL (TPM) NO SETOR DE MANUTENÇÃO DE FERRAMENTAS ELÉTRICAS

<FERNANDO ISAO HAMADA><sup>1</sup>

<MARIO ROBERTO ABRAHAM><sup>2</sup>

<SAULO AGUIAR SAES><sup>3</sup>

## Resumo

No atual cenário industrial surgem concorrências acirradas, com o intuito de alavancar seus lucros e a sobrevivência no mercado, com o objetivo de aumentar seus ganhos sem altos investimentos, o trabalho visa à qualificação dos funcionários do setor de manutenção da fábrica, e a fim de melhorar o desempenho e a qualidade do serviço prestado, e devido a grandes números de reclamações ao setor de manutenção da fábrica, despertou-se o interesse em uma qualificação melhor aos funcionários a fim de proporcionar uma qualidade melhor no serviço prestado, e a implementação da ferramenta manutenção produtiva total, e com o avanço da tecnologia no mercado competitivo existem umas grandes variedades de produtos, e com isso necessita de mão de obra qualificada para proporcionar um serviço de qualidade e com competência, as empresas industriais, em particular necessitam garantir que a manufatura tenha um desempenho acima dos concorrentes, aperfeiçoando seus métodos e recursos constantemente.

**Palavras-chave:** Manutenção Produtiva Total (TPM); Qualidade de manutenção; Competência.

---

<sup>1</sup> Graduação – Faculdade de Tecnologia do Senai Londrina. E-mail: [ferwenhamada@gmail.com](mailto:ferwenhamada@gmail.com)

<sup>2</sup> MBA Sistema de Produção – Faculdade de Tecnologia do Senai Londrina. E-mail: [mario.abraham@pr.senai.br](mailto:mario.abraham@pr.senai.br)

<sup>3</sup> MBA Sistema de Produção – Faculdade de Tecnologia do Senai Londrina. E-mail: [saulo.saes@fiepr.org.br](mailto:saulo.saes@fiepr.org.br)

# 1 INTRODUÇÃO

No cenário industrial atual existe a concorrência acirrada de todos os segmentos no mercado, cada vez mais os empresários estão reduzindo custos, com demissões de funcionários, cortes nas aquisições de equipamentos e até em estocar mercadorias ou matérias primas para a construção de seu produto.

Com isso a concorrência esta cada vez mais competitiva, os proprietários não conseguem investir em maquinários e nem em mão de obra para a alta produção, por isso levou em consideração para o procedimento desse trabalho, pois a ferramenta (do inglês Total Productive Maintenance), conhecida também como as siglas de TPM, é melhorar seus métodos de processo, adotando o sistema de produção de massa, uma vez que esta opção pode aumentar a produtividade a baixos custos, usando a melhor utilização dos recursos produtivos em sua empresa como (máquinas, mão de obra entre outros).

Mas o grande desafio é adaptar e implantar essa ferramenta, pois no mercado atual muitas empresas Brasileiras não tem conhecimento dessa ferramenta, só conhecem a manutenção corretiva, pois acredita firmemente que é o modo mais eficiente da manutenção.

A pesquisa se volta a um setor em uma empresa de serviços e manutenções de equipamentos elétricos localizada em Londrina-PR, onde o técnico do setor de manutenção tem paradas constantes, para executar certos serviços específicos, assim consequentemente comprometendo seu serviço de manutenção, com foco na produtividade analisou-se que a ferramenta de pesquisa TPM, iria ajudar muito a produtividade do técnico e da empresa, com isso levou em consideração que com a implantação dessa ferramenta a

empresa, só teria a ganhar com isso, elevando a produtividade do técnico e aumentando sua qualidade de serviço.

Mas o que levou o desafio de implantar a ferramenta TPM foi às diversas críticas de clientes, pois em base levantadas na empresa, verificou-se que em cada 15 clientes duas tem insatisfação pela demora do atendimento ou até em retorno de máquinas para conserto, assim conforme estudo levou cerca de quatro meses para levantamento de dados e pesquisa para a melhoria contínua de manutenção.

A Manutenção Produtiva Total (TPM) pode ser explicada como um sistema de gestão para administração das operações de manutenção em indústria, em que há uma íntima relação entre pessoas e equipamentos.

De acordo com Robinson e Ginder (1995, p. 1) “o termo ‘Manutenção Produtiva Total’ foi utilizado pela primeira vez, no final dos anos 60, pela empresa Nippondenso, um fornecedor de partes elétricas da Toyota, que usava o slogan ‘manutenção produtiva’ com participação total dos empregados”.

Para explicar a origem da metodologia do TPM e a abrangência de seu escopo de atividades, conforme Ribeiro (2004, p. 10), “no Japão há uma certa disputa entre duas instituições, cada uma defendendo o seu produto como o mais eficaz para competitividade das empresas. Enquanto a Japanese Union of Scientists and Engineers (JUSE) não abre mão de tratar o TPM como uma ferramenta do TQC, o Japan Institute Plant Of Maintenance (JIPM) defende o TPM como uma filosofia gerencial que pode ser aplicada a todas as instalações da empresa”.

Com base nos dados coletados da empresa de acordo com a insatisfação dos clientes do setor de manutenção, levou-se a considerar que o processo deveria ser melhorado assim como a qualidade do serviço prestado.

Sendo assim foi analisado que a ferramenta TPM, seria o mais ideal para o setor devido ao baixo investimento e alto retorno financeiro para empresa não afetando a produtividade e financeiramente mais barato, assim não criando insatisfação para ambas as partes tanto para o funcionário e o proprietário.

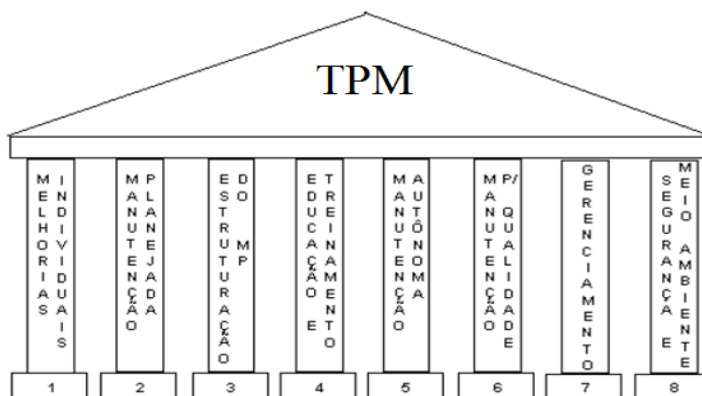
## **2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA**

### **2.1 TPM – MANUTENÇÃO PRODUTIVA TOTAL**

É uma estratégia de gestão de trabalho que visa à máxima eficiência do sistema produtivo, por meio da eliminação das perdas e do conhecimento entre homem e equipamentos.

Para isso existe uma metodologia do TPM baseado em oito princípios conhecidos como oito pilares da TPM conforme figura 1.

Figura 1 – Oito Pilares da TPM.



Fonte : Camargo (2012)

### 2.1.1 PILAR MANUTENÇÃO AUTÔNOMA

Neste pilar o objetivo é capacitar a operação quanto a limpeza e inspeção de pequenos reparos (lubrificação e reapertos) nos equipamentos. A Implantação dá-se em quatro etapas sucessivas, passo a passo, proporcionando um aumento gradativo da capacitação dos operadores.

Com a implantação deste pilar o operador da máquina ou se seu equipamento, ter um problema ou algum imprevisto como terá conhecimento amplo conseguirá resolver o problema, assim proporcionando uma agilidade em questão de manutenção de seu problema se no caso for uma questão simples de manutenção.

Mas para que isso aconteça o operador terá que ter treinamentos específicos, e mudar os processos a serem tomados quando surgir algum imprevisto, e assim aumentando gradativamente o aperfeiçoamento desse pilar terá um aumento produtivo.

## **2.1.2 PILAR MELHORIAS INDIVIDUALIZADAS**

Este pilar é responsável pelo gerenciamento das modificações que ocorre proposto pelas sugestões propostas pelos operadores, gestores e demais funcionários. É o conjunto de atividades que busca obter a eficiência máxima dos equipamentos, pela utilização correta de suas funções e capacidades dimensionadas.

## **2.1.3 PILAR DE MANUTENÇÃO PLANEJADA**

A manutenção planejada tem como forma estabelecer um sistema de manutenção mais efetiva, e que possa eliminar as perdas relativas às quebras e falhas, falhas de produção produtos defeituosas e pequenas paradas que possa prejudicar a produção. As empresas que conduzem a Manutenção Planejada de forma correta conseguem obter resultados animadores, podendo acreditar que a tão esperada quebra zero possa ser realmente possível.

## **2.1.4 PILAR GESTÃO DA FASE INICIAL**

A execução de manutenção pode ter deficiências por falta de informações referentes ao histórico de funcionamento. É imprescindível, assim uma gestão unificada de manutenção de novos equipamentos.

## **2.1.5 PILAR DE EDUCAÇÃO E TREINAMENTO**

A TPM impõe uma mudança de cultura muito forte, que gera a necessidade de capacitar as pessoas a desenvolver novos papéis.

O objetivo deste pilar é promover um sistema com todas as pessoas envolvidas na empresa, tornando aptas a desenvolver seu novo método de trabalho e atividades em um ambiente transparente e motivador, para melhorar o desempenho das pessoas é necessário estimular o desenvolvimento de três aspectos: Conhecimentos, Habilidade e Atitude.

## **2.1.6 PILAR SEGURANÇA, HIGIENE E MEIO AMBIENTE**

O objetivo deste pilar é obter acidente “Zero”, eliminar e prevenir toda condição que afeta a segurança, higiene e meio ambiente preservando a máxima integridade física de todos os ativos industriais, e proporcionando uma qualidade de vida melhor na indústria.

## **2.1.7 PILAR ÁREAS ADMINISTRATIVAS**

Neste pilar o objetivo é atuar na eliminação das perdas que tenha sua origem na geração de informações, como falta de informação e buscar a alta eficiência dos processos administrativos na indústria.

## **2.2 OBJETIVO DA PESQUISA E IMPLANTAÇÃO**

### **2.2.1 EFICIÊNCIA GLOBAL DE EQUIPAMENTO (OEE)**

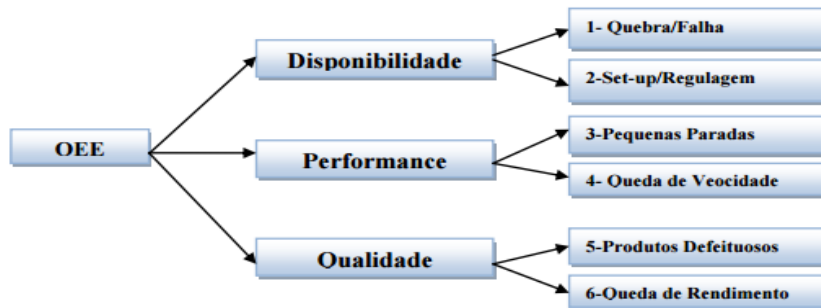
Para acompanhar o processo de implantação e manutenção do TPM na produção, existe um indicador denominado: Eficiência Global de Equipamento (OEE), este tem por finalidade a medição da manufatura, buscando revelar os custos ocultos na empresa e identificando as áreas que precisam de melhorias, podendo também quantificar as melhorias obtidas nos equipamentos.

O OEE envolve três índices (performance, disponibilidade e qualidade) que estão relacionados a seis grandes perdas, o índice de disponibilidade envolve a perda por quebra/falha do equipamento ou por setup e ajustes para troca do modelo a ser fabricado.

O índice de performance é influenciado pela velocidade reduzida do equipamento, ou seja, quando este trabalha abaixo da velocidade em que foi especificado, e por ociosidade ou pequenas paradas onde o próprio operador faz a correção do equipamento.

O índice de qualidade contempla as perdas por problemas de qualidade, ou seja, quando o equipamento produz sucatas, e por queda de rendimento ou start up (tempo que o equipamento leva para retornar ao seu estado normal depois de um tempo de paradas), tais relacionamentos podem ser explicitados no esquema abaixo:

Figura 2 – Estratificação dos fatores do OEE.



Fonte: CHIARADIA (2004)

Com base nos dados coletados na empresa de manutenção, foi possível calcular onde se encontravam mais as falhas, assim a partir dos dados foi feito um planejamento de manutenção para poder dar procedimento no sistema de implantação da ferramenta TPM no setor de manutenção da fábrica. A ferramenta TPM também promove melhorias no sistema do equipamento, procedimentos operacionais, manutenção e desenvolvimento de processos para evitar problemas futuros.

Com os dados coletados na empresa, foi possível chegar a conclusão que o setor de manutenção deixa a desejar em quesito da qualidade de serviço, e em vários procedimentos para o conserto das máquinas, tais como ferramentas obsoleto para usos e até na parte de arranjo físico.

Assim com uma reunião com o líder de manutenção foi proposto uma melhoria no arranjo físico do setor, e também uma melhoria nas bancadas de testes e adaptação a norma ABNT em quesito de segurança no setor como instalações elétricas para o procedimento de testes de máquinas de porte maior.

Sendo assim a figura 3 representa o cálculo da OEE e assim verificando a porcentagem de manutenção se está de acordo com ótimo desempenho na manutenção da fábrica.

Figura 3 – OEE sistemática de cálculo



Fonte: CHIARADIA (2004)

Índice de disponibilidade: Este índice responde a seguinte questão: “A máquina está funcionando?”. Para isso, são consideradas as seguintes perdas:

- perdas de gestão (aguardando programação, falta de operador, falta de ferramental, aguardando produto da operação anterior, etc.);
- perdas por paradas não programadas (manutenção, setup, aguardando laudo, falta de energia elétrica, etc.).

A equação (3) refere-se ao cálculo da disponibilidade:

$$\text{Tempo de Carga (TC)} = \text{Tempo teórico disponível} - \text{paradas programadas (horas)}. \quad (1)$$

$$\text{Tempo real disponível (TRD)} = \text{Tempo de carga} - \text{paradas não programadas (horas)}. \quad (2)$$

$$\text{Disponibilidade (\%)} = \frac{\text{TRD}}{\text{TC}} \times 100 \quad (3)$$

Sendo consideradas que paradas programadas: manutenção preventiva ou programada, almoço, treinamentos, reuniões, etc.

Índice de Performance: O segundo índice responde a seguinte questão: “A máquina está rodando na velocidade máxima?”. Este índice pode ser obtido através da equação (4).

$$\text{Performance (\%)} = \frac{\text{Peças produzidas (pçs)}}{\text{Tempo Standard (pçs hr)} \times \text{Tempo real disponível (h)}} \quad (4)$$

Para Nakajima (1989), a diferença entre a performance teórica e real deve-se às perdas relacionadas às pequenas paradas e à queda de performance da máquina (queda da velocidade para qual a máquina foi projetada).

Índice de Qualidade: O terceiro índice que compõe o OEE responde a seguinte questão: “A máquina está produzindo com as especificações certas?”. Este índice pode ser obtido através da equação (5).

$$\text{Qualidade (\%)} = \frac{\text{Peças produzidas} - \text{Peças Refugadas} - \text{Peças retrabalhadas}}{\text{Peças produzidas}} \quad (5)$$

Eficácia Global do Equipamento (OEE): O indicador OEE, como já foi citado anteriormente, é composto dos três índices anteriores.

De acordo com The Productivity Development Team (1999), seu objetivo é analisar unicamente a eficácia dos equipamentos e não dos operadores.

Sendo assim, ele é utilizado para verificar se a máquina continua trabalhando na velocidade e qualidade especificadas no seu projeto e também para apontar as perdas originadas do sistema produtivo como um todo. Este índice pode ser obtido através da equação (6).

$$OEE(\%) = Disponibilidade \times Performance \times Qualidade \quad (6)$$

Por esse motivo, a identificação das perdas é a atividade mais importante no processo de cálculo do OEE.

A limitação da empresa em identificar suas perdas impede que se atue no restabelecimento das condições originais dos equipamentos, garantindo alcançar a eficácia global, conforme estabelecido quando o equipamento foi adquirido ou reformado.

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

Neste tópico serão apresentadas algumas informações sobre os materiais e métodos que serão empregados no desenvolvimento do trabalho. A finalidade deste estudo está baseada em um melhorar a qualidade de manutenção em uma empresa do segmento em máquinas industriais, tais como ferramentas elétricas, compressores, pinador pneumático, entre outros.

O intuito deste trabalho é aumentar a produtividade e qualidade de manutenção, com pouco investimento e com uma metodologia embasada em bibliografias de gestão de manutenção.

### **3.1 QUAL A ORIGEM QUE LEVOU A QUALIFICAÇÃO DO FUNCIONÁRIO**

A origem que levou a qualificação dos técnicos envolvidos da fábrica foi as constantes reclamações de clientes, por falta de qualidade no serviço prestado em seu produto, pois após poucos dias houve o retorno da mesma com defeito.

Em análise com o líder de manutenção foi identificado vários fatores que fez o serviço do técnico ser avaliado com baixa qualidade, pois seus processos não eram eficaz, pois se tratava de um técnico inexperiente na área de manutenção.

Suas montagens eram de forma incorreta como não saber usas as ferramentas adequadas, a bancada mal arrumada, ferramentas de seu porte obsoleto, e sem conhecimento para usar multímetros, prensas entre outros.

Com isso foi planejado um treinamento para os técnicos para o aprimoramento do mesmo, ao mesmo tempo foi combinado ao mesmo tempo não afetando o serviço da empresa, a adequações de bancadas, instalações elétricas para testes, e trocas de equipamentos obsoletos por novos e com qualidade superior.

Em questão ao treinamento foi ensinada qual a importância de usar as ferramentas corretas, mudando a cultura do técnico sempre deixando sua

bancada arrumada, e somente as ferramentas necessários, foram ensinados o modo correto de trocar rolamentos, a lubrificação das máquinas entre outros.

### **3.2 QUAL FOI A MELHORIA PROPOSTA**

Com a implantação da ferramenta TPM no setor de manutenção da fábrica, foi possível notar a melhoria de qualidade de serviço realizado, pois o técnico estava mais preparado para efetuar vários procedimentos.

Suas ações mudaram, pois foram analisados os procedimentos que o técnico fazia ao fazer um serviço, e foram ensinados os passos corretos a fazer assim diminuindo o tempo a ser executado, assim aumentando ainda mais a produtividade.

Com foco em sua produção o líder de manutenção observou que poderia aumentar ainda mais a produtividade, pois a concorrência no mercado esta cada vez mais alta.

## **4 MÉTODOS**

Nesta seção serão apresentados os procedimentos tomados pelo líder de manutenção para a melhoria e implantação da ferramenta TPM no setor da fábrica.

## 4.1 5S

Essa metodologia surgiu no Japão em meados do século XX e consiste basicamente no empenho das pessoas em organizar o local de trabalho por meio de manutenção apenas do necessário, em ter senso de limpeza, e da padronização e da disciplina na realização do trabalho. Os 5S são derivados das palavras japonesas, iniciadas pela letra “s” e que exprimem princípios fundamentais de organização 5 ‘esses’: SEIRI, SEITON, SEISO, SEIKETSU, SHITSUKE.

Segundo Lapa (1998), os cinco “s” são definidos conforme definição abaixo:

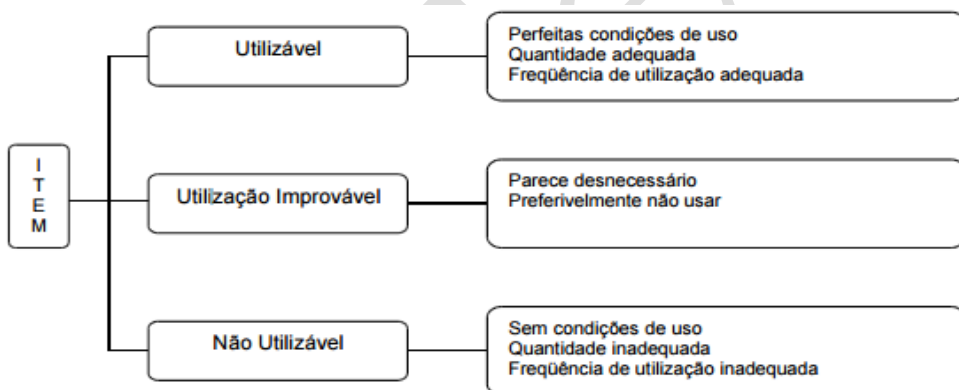
1. SEIRI – Senso de utilização, arrumação, organização, seleção;
2. SEITON – Senso de ordenação, sistematização, classificação;
3. SEISO – Senso de limpeza, zelo;
4. SEIKETSU – Senso de asseio, higiene, saúde, integridade;
5. SHITSUKE – Senso de autodisciplina, educação, compromisso;

## 4.2 SEIRI

O ‘senso de utilização’ consiste em deixar na área de trabalho somente o que é extremamente necessário, significa usar recursos disponíveis, com bom senso e equilíbrio, identificando materiais, equipamentos, ferramentas, informações e dados necessários e desnecessários, descartando ou dando a devida destinação àquilo considerado desnecessário ao exercício das atividades.

Deve-se eliminar não só os desperdícios de coisas materiais, como também as tarefas desnecessárias, analisando o trabalho, e evitando assim esforços desnecessários. Porém, o senso de utilização pressupõe que além de identificar excessos e/ou desperdícios, estejamos também preocupados em identificar “o porquê do excesso” de modo que medidas preventivas, não reacionárias, sejam adotadas para que os acúmulos destes excessos não ocorram novamente.

Figura 4 -Esquema para classificação de itens necessários e desnecessários



Fonte: Gomes et al (1998).

Sendo assim o líder de manutenção analisou tudo que está em volta ao seu trabalho, separando o que era necessário e o que não era, verificou qual a utilidade de cada coisa dentro da oficina, adequando o estoque as necessidades, criando um ambiente agradável com o próximo compartilhando materiais de trabalho com os demais, e criando um dia para a limpeza da oficina.

### 4.3 SEITON

Com a implantação do primeiro senso (de utilização) apenas o essencial para execução das tarefas permanecerá no ambiente de trabalho.

O próximo passo a ser dado é desenvolver um arranjo físico sistemático para organizar de maneira mais funcional o local de trabalho, isto é, dispor os recursos eficiente e eficazmente de modo a facilitar o fluxo de pessoas, materiais e informação e gerar um sistema de controle visual.

O ‘senso de ordenação’ pode ser definido como “um otimizador da área de trabalho”, pois consiste em definir critérios e locais apropriados para estocagem, depósitos de ferramentas e materiais, armazenamento e fluxo de informações, ou seja, “fazer com que as coisas necessárias sejam utilizadas com rapidez e segurança, a qualquer momento” (HABU et al, 1992).

Figura 5 – Bancada de trabalho



Fonte: Do autor (2016)

Bancada de serviço adaptado com chave seleção de 127/220V com lâmpada teste, amperímetro embutido e voltímetro, com uma torno morsa de

bancada e com somente ferramentas necessárias para a manutenção do técnico responsável, pintada numa cor agradável proporcionando um ambiente melhor e agradável.

Figura 6 – Mesa de soldagem de componentes eletrônicos



Fonte: Do autor (2016)

Mesa totalmente adaptada para fazer ajustagem de placas eletrônicas, e soldagem de componentes eletrônicos, com ferramentas manuais, máquina de soldagem elétrica e multímetros para verificação dos componentes das placas eletrônicas.

Figura 7 – Ferramentas elétricas de auxílio



Fonte: Do autor (2016)

Ferramentas elétricas de auxílio na manutenção e ferramentas devidamente organizadas e guardadas corretamente.

#### 4.4 SEISO

Como o próprio nome diz, este senso consiste em manter limpo o ambiente de trabalho (paredes, armários, gavetas, piso etc). A filosofia principal neste senso não consiste no ato de limpar, mas no ato de não sujar.

Em um sentido mais amplo estende-se também este senso para a informação, que deve ser armazenada corretamente e atualizada frequentemente para garantir que dados inúteis e dispersos não afetem as tomadas de decisões, a limpeza deve ser feita de forma sistemática e encarada como inspeção.

Pois, assim, possibilitará a detecção de falhas nos equipamentos. O senso de limpeza busca também identificar as causas da sujeira ou do mau funcionamento dos equipamentos e eliminá-las (bloqueio das causas).

A implantação deste senso eliminará todo tipo de poluição sonora (ruídos e gritos), visual (bagunça e sujeira) e ambiental (intrigas, fofocas e discussões) trazendo benefícios para empresa, como por exemplo, a melhoria do ambiente de trabalho; a capacidade de detectar falhas de equipamentos; a redução da taxa de deterioração dos equipamentos (maior vida útil), e, portanto uma maior economia; o aumento da autoestima no trabalho, etc.

O conceito transmitido neste terceiro senso é que limpar deve ser uma tarefa presente na rotina do trabalho, mas o não sujar deve ser um hábito.

#### **4.5 SEIKETSU**

O quarto senso denominado senso de higiene, saúde e integridade, é alcançado com a prática dos sentidos anteriores.

Consiste basicamente em garantir ambiente não agressivo e livre de agentes poluentes, manter boas condições sanitárias nas áreas comuns (banheiros, cozinha, restaurantes etc.), zelar pela higiene pessoal, gerar e disponibilizar informações e comunicados de forma clara e, no sentido mais amplo do senso, ter ética no trabalho e manter relações interpessoais saudáveis, tanto dentro quanto fora da empresa.

Porém, este senso é de vital importância para assegurar a manutenção dos 3S iniciais, pois a melhoria da qualidade de vida no trabalho estimula a adesão e comprometimento de todos (com a nova filosofia de trabalho).

Com a aplicação deste senso e a manutenção dos demais supracitados a empresa poderá obter como resultado a melhoria da qualidade de vida no trabalho, a melhoria do relacionamento interpessoal, a diminuição do absenteísmo, a melhoria de produtividade, etc.

Como visto este senso busca condições favoráveis à integridade tanto física quanto mental dos trabalhadores. Hábitos como não fazer o que é prejudicial; não estabelecer condições mínimas de asseio, define o que é o SEIKETSU.

#### **4.6 SHITSUKE**

O senso de autodisciplina, educação e compromisso, como definido por LAPA (1998) procura corrigir o comportamento inadequado das pessoas e consiste em uma nova fase, onde todos deverão moldar seus hábitos.

Todos na organização devem seguir e comprometer-se com as normas, os padrões e os procedimentos formais e informais e introduzindo os conceitos de kaisen na vida pessoal (hábitos), profissional (aquisição de conhecimentos) e na empresa como um todo. Segundo Habu et al (1992), “quando a disciplina (SHITSUKE) se consolida, pode se dizer que o 5S como um todo também se consolida”.

A consolidação deste senso determina que a mudança de valores está disseminada e enraizada em toda organização. Este senso é mais difícil de ser implementado, pois envolve mudança de comportamento.

E como é intrínseco ao ser humano a resistência a mudanças, quer seja por medo, comodismo ou interesse, torna-se abstruso mudar a cultura da organização, que é composta por relações técnicas (hábitos relativos à

realização das tarefas) e relações sociais (hábitos relativos aos relacionamentos interpessoais).

Este é o senso de maior acuidade no 5S, não que os demais não tenham importância, mas por ser aquele que trabalha a dimensão social (hábitos, valores, comportamentos e crenças), aquele que faz com que os indivíduos “aprendam a aprender”.

Os benefícios que este senso traz para empresa são inúmeros, como por exemplo, melhoria do relacionamento interpessoal, aprimoramento pessoal e empresarial, predisposição ao desenvolvimento de trabalho em grupo devido ao aumento da responsabilidade e estímulo a criatividade, melhoria da qualidade devido ao cumprimento das normas e padrões, desenvolvimento de um cenário favorável a administração participativa, o conceito kaisen (melhoria contínua) se torna intrínseco à vida pessoal, profissional e empresarial, facilitando a introdução de “Políticas da Qualidade” na empresa. etc.

O sucesso de qualquer empresa é fruto do trabalho em grupo. E a consequência deste senso “é um maior respeito mútuo e comprometimento dentro da empresa” (GOMES et al, 1998).

## **5 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS**

Nesse tópico serão apresentados os resultados de análise e discussões dos resultados obtidos ao longo do trabalho, como por exemplo, cálculo OEE da manutenção do técnico, procedimentos e adaptação há nova forma de trabalho e cultura.

## 5.1 CÁLCULO OEE DO TÉCNICO

O líder obteve o tempo de manutenção de cada máquina formulou uma planilha para verificar o desempenho do técnico, após a implantação da ferramenta TPM e os 5S no setor melhorando os arranjos físicos e trocando as ferramentas obsoletas por novas e de boa qualidade assim proporcionando ao técnico uma qualidade no desempenho dele.

Com os tempos disponíveis de cada tempo de manutenção o líder pegou cada um fez os cálculos OEE de cada máquina, calculando com o tempo disponível considerou algumas percas de produção como intervalos e paradas do técnico em uma hora assim obtendo um tempo disponível de 420 minutos.

De acordo com a figura 8 podemos observar os cálculos do OEE do técnico com os dados coletados na empresa, já com o tempo disponível calculado pelo líder podemos observar que o OEE do técnico é 11,2%.

Logo após a implantação da ferramenta TPM houve treinamentos, palestras, vídeos aula para o técnico aumentar seu conhecimento para melhorar seu desempenho no serviço, assim após alguns meses, houve uma conferência para verificar o desempenho do técnico novamente, e verificar se o resultado obtido foi positivo para ambos após um investimento razoável no setor.

Figura 8 – Planilha de cálculos OEE antes da TPM

Máquinas	Antes da TPM (min)	% Parado	Antes TMP Produzindo	% Produzindo
Esmerilhadeira	42	100%	378	0,900
Furadeira	37	8,8%	383	0,912
Martelete	65	15,5%	355	0,845
Pinador Pneumático	55	13,1%	365	0,869
Serra Marmore	40	9,5%	380	0,905
Lixadeira	40	9,5%	380	0,905
Serra Circular	50	11,9%	370	0,881
Parafusadeira	35	8,3%	385	0,917
Chave de Impacto	45	10,7%	375	0,893
Compressores	80	19,0%	340	0,810
Retifica	45	10,7%	375	0,893
Politriz	50	11,9%	370	0,881
Serra Tico Tico	43	10,2%	377	0,898
Tupia	70	16,7%	350	0,833
Serra meia esquadria	50	11,9%	370	0,881
Soprador Termico	30	7,1%	390	0,929
Aparador de Grama	30	7,1%	390	0,929
Plaina	55	13,1%	365	0,869

Fonte: Do autor (2016)

Como podemos observar na figura 9 a tabela OEE do técnico após quatro meses após sua implantação da ferramenta TPM, podemos observar que houve uma melhoria de tempos de manutenções, assim proporcionando uma melhoria na qualidade e a melhoria individual do técnico, pois muitas vezes o técnico teria que pedir autorização do líder para executar algumas tarefas específicas.

Observando a figura 9 observamos o OEE do técnico em 20,2% assim podemos ter a conclusão teve um aumento de 9% de OEE, sendo assim um OEE de 80% de produção.

Figura 9 – Planilha de Cálculos OEE depois da TPM

Máquinas	Depois da TPM (min)	% Parado	Depois TPM Produzido	% Produzindo
Esmerilhadeira	34	8,1%	386	0,9190
Furadeira	26	6,2%	394	0,9381
Martelete	47	11,2%	373	0,8881
Pinador Pneumático	42	10,0%	378	0,9000
Serra Marmore	34	8,1%	386	0,9190
Lixadeira	31	7,4%	389	0,9262
Serra Circular	38	9,0%	382	0,9095
Parafusadeira	28	6,7%	392	0,9333
Chave de Impacto	32	7,6%	388	0,9238
Compressores	62	14,8%	358	0,8524
Retifica	38	9,0%	382	0,9095
Politriz	37	8,8%	383	0,9119
Serra Tico Tico	30	7,1%	390	0,9286
Tupia	48	11,4%	372	0,8857
Serra meia esquadria	37	8,8%	383	0,9119
Soprador Termico	21	5,0%	399	0,9500
Aparador de Grama	19	4,5%	401	0,9548
Plaina	37	8,8%	383	0,9119

Fonte : Do autor ( 2016 )

## 6 PLANO DE AÇÃO PARA MAIOR PRODUTIVIDADE

Para alavancar a produtividade e competência da empresa o empresário tem um plano de ação que além de colaborar com o colaborador, fará que ele tenha motivação para estar efetuando cada vez mais o serviço sem precisar estar alertando.

A comissão deve proporcionar benefício tanto para o colaborador como para o proprietário, é necessário que primeiramente se tenha estabelecido metas e objetivos a serem atingindo, uma vez que estes devem ser demonstrados e explicados a todos colaboradores envolvidos (gerente, linha de produção, etc.). Porém devendo ser demonstrado de forma que não seja uma imposição, onde o resultado trará benefício para todos os envolvidos no processo da organização.

Existindo duas formas de poder alcançar um bom desempenho do colaborador, a motivação feita para as funcionárias pelo colaborador e por meio de benefícios, ambas trazem resultados. Mas a primeira proporciona um melhor ambiente organizacional e não requer tanto gasto, trata-se de manter uma boa relação com o colaborador.

Na motivação para o colaborador o líder deve demonstrar interesse tanto pela tarefa exercida do colaborador como pela sua rotina. Mantendo uma relação com o mesmo, e demonstrando a este que ele é essencial dentro da organização.

No caso de erros, primeiramente elogia-se o que foi feito de correto, depois demonstre a ele a forma que você faria e então coloque a forma que o colaborador deve fazer, todavia não fazendo de forma a constrangê-lo. No

caso se empresa for de porte grande pode ser delegada essa função a um colaborador específico para motivar, geralmente cabe à função de RH.

Por benefícios pode ser realizadas ideias de menos custos que irão promover bem estar ao colaborador dentro do contexto organizacional. Como por exemplo, a instalação de uma sala de lazer para o colaborador, onde o mesmo pode dispor de um lugar de descanso na hora de seu almoço. Momentos de recreação com jogos, podendo ter premiações, mas sendo feitas em horários que não estejam trabalhando, de custo a ser analisador pelo líder. Descontos nos produtos que o funcionário compra diretamente da empresa.

Portanto um colaborador que possui reconhecimento da empresa, ou seja, de seu líder, por conseguinte desempenhara melhor suas funções, levando se em consideração que um ambiente organizacional que possui atividades que não estejam diretamente relacionadas ao trabalho faz o colaborador sentir-se em um contexto familiar. Fazendo-se assim com que o mesmo produza mais, por estar satisfeito com o atual emprego, e se sente parte integrante do contexto organizacional. Dependendo do contexto da empresa podem ser feitas pequenas comissões em dinheiro.

## **7 CONCLUSÃO**

Para o desenvolvimento deste trabalho foi necessário verificarmos a atual situação no setor de manutenção da fábrica, para podermos ver se existe muita ocorrência de falhas de manutenção, as opiniões do cliente, a satisfação do cliente e possíveis crítica e sugestões.

Com os dados obtidos pela pesquisa na fábrica foi possível estar verificando o que poderia ser melhorado e aprimorado para estar efetuando o serviço com mais qualidade e eficiência, conversamos com o líder de manutenção, gerente e nos reunimos para uma reunião abordando a qualidade do serviço e se fosse possível fazer a melhoria.

Com o intuito de melhorar a qualidade e a competência da manutenção foi sugerido que fosse implantado a TPM no setor de manutenção.

Baseado na TPM analisou que o setor de manutenção necessitaria de mudanças no arranjo físico do setor, bem como fazer os procedimentos de 5S e teríamos que ter os técnicos envolvidos.

Dentro da análise do líder foi verificado que dos oito pilares da TPM o que se encaixava mais na implantação seria O Pilar da Manutenção autônoma, pilar da Melhoria Individualizada e o pilar da Educação e Treinamento, e também do 5S, assim os técnicos do setor além de treinamentos adequados teria autonomia para executarem serviços que não necessitasse deslocar outro experiente assim afetando a produção.

O pilar de melhorias individualizadas seria fazer serviços padrões de uma mesma máquina ou do mesmo segmento, assim o técnico não iria variar suas manutenções e cada vez mais iria aprimorar na manutenção deste equipamento.

O pilar de Educação e Treinamento iria exigir um pouco mais de todos, pois terá que ter o apoio de outro setor da fábrica, e iria impor um serviço a mais no outro setor mas como em uma fábrica todos são uma equipe, iremos fazer uns treinamentos e palestras para mostrar aos setores

envolvidos que se ambos ajudarem vão estar colaborando um com outro e só terão a ganhar e obterem as suas metas.

Depois de todos os processos impostos pelos gestores da fábrica, o passo seguinte foi implantar esse sistema, no começo tivemos algumas discórdia e reclamações internas, mas com o aperfeiçoamento e a repetição no dia a dia, tudo foi de acordo com os planos e já é possível ver que o resultado cresceu o faturamento de ambas as partes.

Com o passar do tempo implantaremos os conceitos dos Gurus da manutenção, impostos pelos Joseph Juran, Shigeo Shingo, Kaoru Ishikawa, para estar cada vez mais melhorando a qualidade e eficiência do serviço.

Como hoje em dia a concorrência está cada vez mais acirrada para não perder seus clientes o líder de manutenção, vai propor mais para frente quando estiver mais instabilizado e com alto retorno financeiro ao setor, vai propor um plano de ação para o técnico envolvido neste projeto.

Com o intuito de cada vez mais cria melhorias e ter boa satisfação dos clientes criou-se um plano de ação para estimular o técnico a produzir mais sem que ele precise estar alertando assim a qualidade do serviço, iria alavancar para um nível mais alto assim proporcionando um atendimento melhor aos clientes, e adquirindo novos clientes, mostrando confiança e qualidade na manutenção de seus produtos.

## Abstract

In the current industrial scenario there are fierce competitions, with the aim of leveraging profits and survival in the market, in order to increase their earnings without high investments, the work aims at the qualification of employees in the plant maintenance sector, and in order to Improve the performance and quality of service provided, and due to large numbers of complaints to the factory's maintenance sector, interest in a better qualification for employees was raised in order to provide a better quality of service, and the implementation of With the advancement of technology in the competitive market there are a large varieties of products, and with this requires skilled labor to provide a quality and competent service, industrial companies in particular need to ensure that the Manufactures have a performance above competitors, perfecting their methods and resources constantly.

**Keywords:** Total Productive Maintenance (TPM); Quality of maintenance; Competence.



## REFERÊNCIAS

CAMARGO, Paulo Rogério. **Implementação de técnicas da teoria das restrições e da mentalidade enxuta: Estudo de caso em uma empresa automobilística.** Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção Mecânica do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Taubaté) – Taubaté, 2012.

CHIRARADIA, A.J.P. **Utilização do indicador de eficiência global de equipamentos na gestão e melhoria contínua dos equipamentos:** Um estudo de caso na indústria automobilística. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul – Escola de Engenharia. Porto Alegre, RS. 2004.

GOMES, D. et al. **Aplicando 5S na gestão da qualidade total.** São Paulo: Pioneira, 1998.

HABU, N.; KOIZUMI Y.; OHMORI Y. **Implementação do 5S na prática.** Campinas: Editora Icea, 1992.

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

HIRANO, H. **5 pillars of the visual workplace: the source book for 5S implementation.** Portland, Oregon: Productivity Press, 1995.

RIBEIRO, H. (2004) - **Total Productive Maintenance** – Manutenção produtiva total. Banas Report/ EPSE. São Paulo.

ROBINSON, C. J. & GINDER, A. P. (1995) - **Implementing TPM: North American experience**. Productivity Press. Portland.

MORAES, Paulo Henrique de Almeida. **Manutenção produtiva total: estudo de caso em uma empresa automobilística**. Taubaté: UNITAU, 2004.

NAKAJIMA, S. **Introdução ao TPM – Total Productive Maintenance**. São Paulo: IMC Internacional Sistemas Educativos, 1989.

TAKASHI, Y.; OSADA, T. **TPM/MTP - Manutenção produtiva total**. São Paulo: IMAM, 1993.

# IDENTIFICAÇÃO E CORREÇÃO DE FATOR DE POTÊNCIA DEDICADO A UM MOTOR DE INDUÇÃO TRIFÁSICO

<ANDRÉ AMORIM DIAS DA SILVA><sup>1</sup>

<PAULO BRONIERA JUNIOR><sup>2</sup>

<WESLEY CANDIDO DA SILVA><sup>3</sup>

<KATIELLY TAVARES DOS SANTOS><sup>4</sup>

## Resumo

Energia elétrica desde sua descoberta até os dias atuais fornece uma infinidade de recursos e viabilidades para as indústrias, comércio e residências. Deste modo, a utilização desta energia deve ser feita de forma eficiente e sustentável. Assim, vários trabalhos têm apresentado estratégias para se obter uma alta eficiência de operação de equipamentos, bem como das instalações em que os mesmos estão conectados e instalações elétricas. Neste sentido, este trabalho aborda conceitos aplicados a eficiência de instalações por meio da correção do fator de potência. Mais especificadamente será apresentado um estudo dedicado a correção de FP (fator de potência) a uma máquina de indução trifásica de 0,5 CV operando em condições não nominais e conectada diretamente a rede elétrica. Resultados experimentais serão apresentados para validar a proposta.

**Palavras-chave:** Fator de Potência, Motor de Indução, Banco de capacitores

---

<sup>1</sup> Graduação – Tecnologia em Manutenção Industrial, da Faculdade de Tecnologia do Senai Londrina. E-mail: [andreamorim74.a@gmail.com](mailto:andreamorim74.a@gmail.com)

<sup>2</sup> Mestre, Faculdade de Tecnologia Senai Londrina. e-mail: [paulo.broniera@pr.senai.br](mailto:paulo.broniera@pr.senai.br)

<sup>3</sup> Especialista, Faculdade de Tecnologia Senai Londrina. e-mail: [wesley.candido@pr.senai.br](mailto:wesley.candido@pr.senai.br)

<sup>4</sup> Mestre, Faculdade de Tecnologia Senai Londrina. e-mail: [katielly.santos@pr.senai.br](mailto:katielly.santos@pr.senai.br)

# 1 INTRODUÇÃO

Energia elétrica desde sua descoberta até os dias atuais fornece uma infinidade de recursos e viabilidades para as indústrias, comércio e residências. Entretanto, devido à grande demanda de utilização e altos custos cobrados por seu consumo, tem agravado as preocupações relacionadas a eficiente utilização da energia por geradores, transmissores e principalmente consumidores finais.

Portanto, tal contexto promove duas importantes vertentes complementares: I) Qualidade da Energia elétrica, a qual, foca em mitigar todos os distúrbios que afetam negativamente o desempenho das máquinas e equipamentos elétricos, II) Eficiência da energia elétrica, a qual tem por objetivo garantir que a energia consumida está sendo efetivamente transformada em trabalho.

O motivo de baixa eficiência energética é caracterizado distintamente a cada equipamento, nos equipamentos vemos exemplos típicos; I) Para bombas (existência de ar nas tubulações), II) Compressores de ar (vazamentos nas linhas), III) Transformadores (operando a vazio), IV) Motores elétricos (superdimensionados) (MAMEDE FILHO, 2012). Sendo assim se um determinado equipamento sofre anomalias externas não apresentando o rendimento esperado para o qual foi projetado, isto é causas de uma baixa eficiência energética, pode-se relacionar e acrescentar cuidados com o fator de potência o qual causam problemas nas instalações elétricas entre os quais citar: sobrecarga nos cabos e transformadores, o aumento das quedas de tensão e aumento das contas a serem pagas pelo fornecimento da energia elétrica (CREDER, 2006).

O trabalho de Souza (2000) apresenta um estudo de correção de fator de potência para instalações de baixa potência empregando filtros ativos onde destaca soluções como a utilização de equipamentos que apresentam característica resistiva e baixa distorção harmônica de corrente. Já o trabalho de Pomilio (2007) propõe pré-reguladores de fator de potência que descreve as desvantagens do baixo fator de potência e apresenta alguns reguladores em modo contínuo e descontínuo.

Entre os equipamentos os quais são estudadas soluções para obter alta eficiência energética destacam-se os motores de indução trifásicos. Estes por sua vez, são responsáveis por 75% do consumo da energia demandada para a indústria (MAMEDE FILHO, 2012), diante desta realidade de tão grande emprego de motores de indução trifásico, é que se caracteriza à importância de um estudo que mostre os resultados de uma solução aplicada ao referido motor (MIT), caso o rendimento energético na transformação da energia elétrica em real trabalho mecânico, não seja satisfatório. Sendo assim, este trabalho tem como objetivo apresentar um estudo de caso sobre um dos recursos mais tradicionais e utilizados nos ambientes industriais, a correção do fator de potência no respectivo MIT, com a aplicação do método capacitivo, cálculos analíticos e aquisição de dados com a utilização de analisador de energia, voltímetro, amperímetro, entre outros equipamentos. Onde Santos (2001), caracteriza tais práticas de aquisição de dados como métodos expedidos, método este de fácil execução em campo ou laboratório, e sob tais dados adquiridos mostrar os resultados e comprovar os benefícios de tal aplicação.

As próximas seções deste artigo irão expor definições e conceitos que servirão de base para a melhor compreensão do trabalho realizado e resultados obtidos.

## 2 FATOR DE POTÊNCIA

A maioria das cargas das unidades consumidoras consome energia reativa, tais como: motores, transformadores, reatores, entre outros. As cargas indutivas necessitam de campo eletromagnético para seu funcionamento, por isso sua operação requer dois tipos de potência:

Potência ativa, grandeza que efetivamente realiza trabalho gerando calor, luz, movimento, etc. são medida em W [watts].

Potência reativa, usada apenas para criar e manter os campos eletromagnéticos das cargas indutivas, sua unidade de medida é o Var [volt-ampere reativo].

Segundo Boylestad (2004), enquanto a potência ativa é sempre consumida na execução de trabalho, a potência reativa, além de não produzir trabalho, circula entre a carga e a fonte de alimentação, ocupando um espaço no sistema elétrico que poderia ser utilizado para fornecer mais energia ativa, a soma vetorial quadrática da potência ativa e reativa, temos origem a potência aparente cuja, sua unidade de medida é o Va [volt-ampere].

O fator de potência “FP” expressa o percentual de potência ativa transformada em trabalho de um total de potência aparente drenada da rede elétrica por uma determinada carga, o qual pode ser expresso pela equação 1, de acordo com resolução normativa ANEEL 2012, o fator de potência deve

ser mantido mais próximo da unidade 1, mas permite um valor mínimo de 0,92.

$$Fp = \frac{P}{S} \quad 1)$$

Onde:

Fp = Fator de potência

P = Potência ativa

S = Potência aparente

A relação entre as três potências citadas pode ser expressa pela equação 2.

$$S^2 = P^2 + Q^2 \quad 2)$$

Onde:

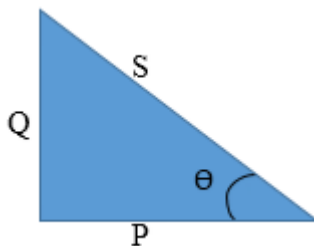
S = Potência aparente

P = Potência ativa

Q = Potência reativa

Assim a relação entre as potências aparente, ativa e reativa podem ser demonstradas graficamente pelo triângulo retângulo da Figura 1.

Figura 1: Triângulo das potências



Fonte: Elaborado pelo autor

A partir da Figura 1 observa-se que o fator de potência também pode ser expresso como uma relação angular entre o eixo da potência ativa e a potência aparente, podendo ser achada matematicamente pelo cosseno do ângulo de defasagem entre a potência aparente “S” e a potência ativa “P” conforme ilustra a equação 3.

$$F_p = \cos \theta \quad 3)$$

Onde:

$F_p$  = Fator de potência

$\cos \theta$  = Cosseno do ângulo de defasagem

De acordo com a Figura 1, é observado que o ângulo de defasagem  $\theta$  aumenta com a quantidade de potência reativa demandada pela carga. A potência reativa é destinada a manutenção de campos elétricos e magnéticos, os quais encontrados em cargas com características indutivas e capacitivas. Considerando o comportamento de CA, as cargas consumidoras de energia reativa indutiva ou capacitiva, por sua vez são encontradas em diferentes aplicações e equipamentos, exemplos;

I) Reativas Indutivas: Motores de indução trifásico (MIT), enrolamento de transformadores, fornos de indução, reatores, etc. II) Reativas Capacitivas: Motores síncronos superexcitados (compensadores síncronos) ou capacitores (ASHFAQ, 2004).

Na sequência a próxima sessão definirá conceitos básicos relacionados a tais cargas.

## 2.1 Conceito de cargas capacitivas e indutivas.

Para realizar um trabalho de pesquisa ou aplicação prática com relação a correção de fator de potência, faz-se necessário distinguir determinadas cargas para que se direcione o foco de cálculos procedimentos corretos para análise do circuito em questão. Estas cargas a serem compreendidas são as indutivas, capacitivas e as cargas não lineares. E através destas cargas também pode-se obter as características entre corrente e tensão, isto é se a corrente está atrasada em relação a tensão ou vice versa, para que este tipo de distinção auxilie na aplicação correta relacionada ao tipo de equipamento ou circuito.

Cargas indutivas: esta carga tem por característica a autoindução, que é provocada com a circulação da corrente alternada por uma determinada bobina, na energização desta bobina é induzida uma tensão em si mesma e está tensão por sua vez retarda a circulação da corrente elétrica (BARROS, 2014).

Este retardo da corrente elétrica é devido à resistência da circulação desta corrente que constitui o fenômeno denominado de reatância indutiva, designado por  $X_L$ , cuja unidade de medida é o ohm ( $\Omega$ ), e sua equação é:

$$X_L = \omega \cdot L = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot L$$

4)

$X_L$  = reatância indutiva

f = frequência em hertz (Hz)

L = indutância da bobina ou condutor em henry (H)

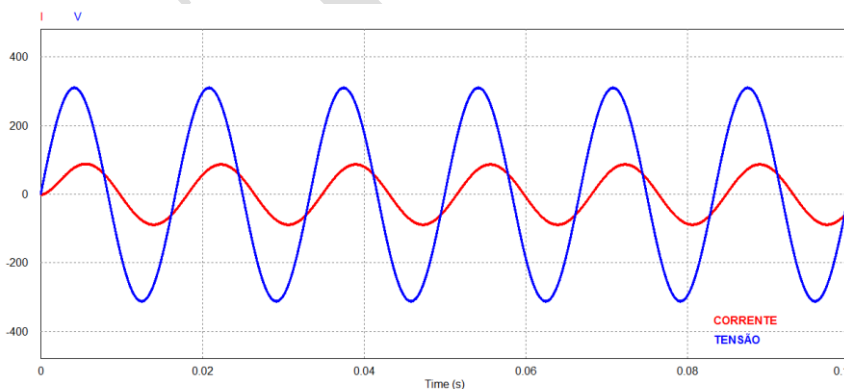
$\omega = 2 \cdot \pi \cdot f$  = frequência angular em [rad /s]

Ainda em cargas indutivas ocorre uma defasagem entre o sinal senoidal da tensão e da corrente, onde a corrente está atrasada ou defasada em relação a tensão (BARROS, 2014).

Em concordância com a definição descrita anteriormente, um exemplo de carga indutiva de grande aplicação na indústria, é o motor de indução, que absorvem uma determinada quantidade de energia ativa para produzir trabalho e precisa também de energia reativa para ativação do campo indutor ou campo girante através da magnetização (MAMEDE FILHO, 2012).

A figura 2 apresenta o comportamento defasado da corrente (I) em relação a tensão (V) que é característico nas cargas indutivas (BARROS, 2014).

Figura 2: Circuito indutivo



Fonte: Elaborado pelo autor

Conforme a figura 2:

TENSÃO – Representa forma de onda tensão total (V) adiantada em relação à corrente total (I);

**CORRENTE** – Representa forma de onda corrente total (I) atrasada em relação à tensão total (V).

Cargas capacitivas: capacitores acumulam a cargas elétricas ao longo do tempo, também apresentam uma resistência à circulação da corrente alternada denominando, denominada de reatância capacitiva, designada por  $X_C$ , que é medida em  $[\Omega]$  (BARROS, 2014).

A equação aplicada aos circuitos capacitivos consiste em:

$$X_C = \frac{1}{\omega \cdot C} \quad 5)$$

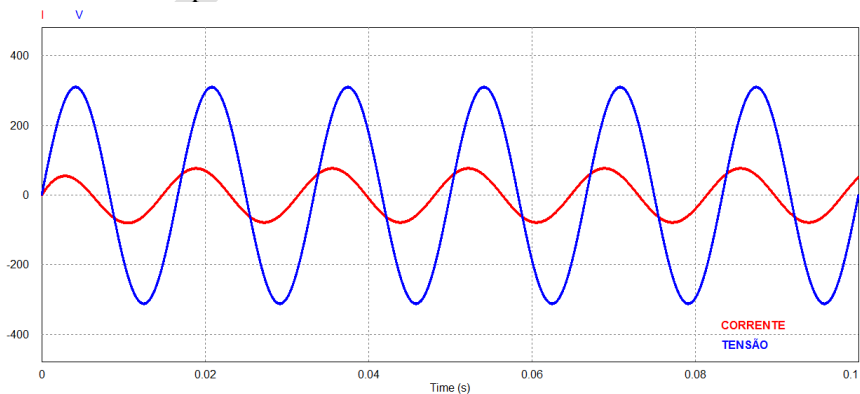
C = capacitância em farad[F]

$\omega = 2 \cdot \pi \cdot f$  = frequência angular em [rad /s]

f = frequência angular em hertz [Hz]

Na figura 3 apresenta o comportamento defasado da tensão (V) em relação a corrente (I).

Figura 3: Circuito capacitivo



Fonte: Elaborado pelo autor

Conforme a figura 3:

TENSÃO - Representa forma de onda tensão total (V) atrasada em relação à corrente total (I);

CORRENTE - Representa forma de onda corrente total (I) adiantada em relação à tensão total (V).

## 2.2 Cargas ou situações que causam um baixo fator de potência

Considerando-se conceitos, definições e princípios básicos descritos anteriormente pode-se definir também que cargas capacitivas têm por característica o campo elétrico e as cargas indutivas têm por característica o campo magnético, sendo assim as cargas indutivas são muitas vezes as responsáveis pelo baixo fator de potência.

Segundo Mamede Filho (2012), segue exemplos relacionados ao baixo fator de potência:

- Motores superdimensionados para máquinas interligadas ou acopladas aos mesmos que não se utilizarão de toda capacidade potencial;
- Suprimento de lâmpadas de descarga gasosa associadas a reatores de baixo fator de potência;
- Transformadores operando com cargas extremamente baixas ou até ligados em vazio sem carga alguma;
- Fornos a arco; Fornos de indução eletromagnética, denominado sob esta característica de carga indutiva;
- Máquina de solda a transformador;
- Retificadores AC/DC;
- Alta quantidade de motores de pequena potência em operação.

Estas cargas características de baixo fator de potência tem contribuído enormemente para o aumento de consumo de potência reativa, devido ao fato

de terem características não lineares, provocando muitas vezes alterações nos padrões de fornecimento de tensão e corrente no sistema elétrico.

### **2.3 Consequências de um baixo fator de potência.**

Devido ao excesso de energia reativa as consequências surgem em um efeito cascata, nas instalações com um baixo fator de potência onde as perdas de energia elétrica partem de uma elevação da corrente provocando o aquecimento de condutores e equipamentos, ou seja as percas por efeito joule (BIM, 2009).

Com a elevação da corrente, podem ocorrer as quedas de tensão provocando até a interrupção do fornecimento de energia elétrica e a sobrecarga em componentes da rede de fornecimento desta energia, essas quedas de tensão podem agravar-se quando a rede estiver sob maior exigência de fornecimento. Com isso podem provocar a diminuição da intensidade luminosa de lâmpadas e a elevação da corrente dos motores (CREDER, 2006).

## **3. MATERIAIS E MÉTODOS**

Referente à metodologia utilizada, para atender os pré-requisitos, serão utilizados os parâmetros estabelecidos pelo PRODIST (Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional), o qual é o órgão responsável pela regulamentação. Note que, embora possam existir problemas na sua estrutura é nele em que as leis e resolução se baseiam, logo é o documento a ser utilizado (o que não impede uma análise mais crítica

também do próprio PRODIST). Além disso, haverá um embasamento nas resoluções normativas 414, 479 e 418 que definem os parâmetros referentes às medições do fator de potência bem como seu limite no valor de 0,92. A resolução 418 indica que quando é feita a medição toda, e qualquer instalação elétrica está sujeita a cobrança de excedentes de reativos, logo, para qualquer valor no fator de potência que viole o limite acima identificado haverá cobrança.

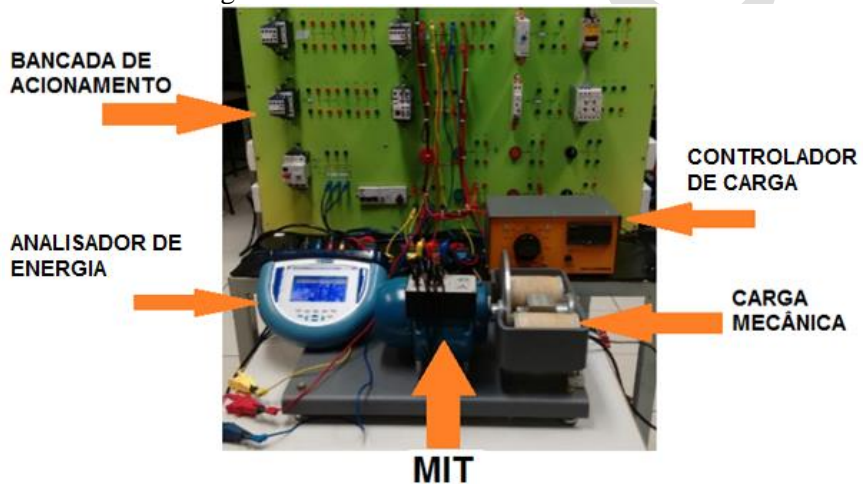
Foi realizado um estudo de caso que especifica a aquisição de dados retirada de um motor de indução trifásico com baixo fator de potência, para posterior correção do mesmo adequando o valor de 0.48 para 0,92 FP. Para tal estudo foi projetado um diagrama multifilar com analisador conectado a sua potência, onde se obteve a aquisição de dados sem a correção para posteriormente calcular o valor correto do banco de capacitores que foi aplicado e retirados os dados para discussão dos resultados.

Para medições e análise utilizou-se o equipamento Analisador de Energia: equipamento capaz de realizar medições com várias grandezas como tensão, corrente (na frequência fundamental e suas harmônicas), potência aparente, potência ativa, potência reativa, fator de potência, entre outros. O Analisador de energia, é de modelo RE 6000 da marca EMBRASUL. Este modelo encontra-se dentro dos pré-requisitos da ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica) e do PRODIST. O motor de indução trifásico utilizado foi o modelo W22, ½CV da marca Weg. Para simular a carga acoplada ao motor utilizou-se um controlador de carga marca De Lorenzo. Estrutura de comando e potência instalada em bancada didática do laboratório Senai Londrina. Banco de capacitores com valor corrigido.

## 4. IDENTIFICAÇÃO E CORREÇÃO DO FATOR DE POTÊNCIA

Este trabalho no que diz respeito aos aspectos metodológicos utiliza-se de um analisador de energia para a identificação do fator de potência em um motor de indução trifásico. O motor foi fechado em triângulo e conectado diretamente a rede elétrica em um sistema 127/220V. A Figura 4 apresenta a estrutura utilizada nos ensaios.

Figura 4: Estrutura utilizada no trabalho



Fonte: Elaborado pelo autor

O motor foi monitorado operando com tensões nominais e com carga mecânica de 1Nm. Neste caso o motor drenou uma potência aparente da rede elétrica de 257VA, uma potência ativa de 120W, uma potência reativa de 226VAR e apresentou um fator de potência de total de 0,48. A Figura 5 apresenta o fator de potência medido por meio do analisador de energia.

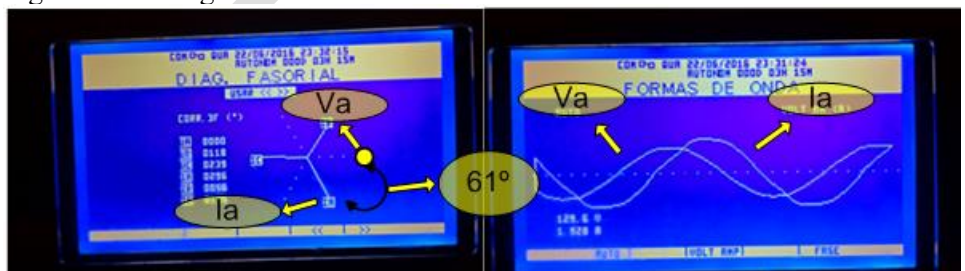
Figura 5: Medida do fator de potência antes da correção



Fonte: Elaborado pelo autor

Por se tratar de uma carga predominante indutiva o fator de potência medido de 0,48 representa um atraso da corrente da fase “a” em relação a tensão da fase “a” de aproximadamente  $61^\circ$ . A figura 6 apresenta o diagrama de fases do circuito, bem como as formas de onda da tensão e da corrente plotadas em tela pelo analisador de energia.

Figura 6: Defasagem entre a tensão e corrente da fase “a”



Fonte: do autor

De posse das informações retiradas por meio do analisador de energia foram aplicados os cálculos do banco de capacitores para a elevação do fator de potência de 0,48 para 0,92. As equações (6) e (7) apresentam os cálculos

das novas potências aparente e reativa desejadas para o FP de 0,92 respectivamente.

$$S = \frac{P}{fp} = \frac{120W}{0,92} = 130,4VA$$

6)

Onde:

S: potência aparente (VA);

P: potência ativa watts (W);

fp: fator de potência

Com o dado do valor de potência aparente, foi possível calcular o valor da potência reativa, tendo em vista que o valor de potência ativa já foi adquirido com o equipamento de análise:

$$Q = \sqrt{S^2 - P^2} = \sqrt{130,4^2 - 120^2} = 51,03VAR$$

Onde:

Q: potência reativa (VAR);

S: potência aparente (VA);

P: potência em watts (W).

Para verificar qual a potência reativa do banco de capacitores deve-se encontrar a diferença entre a potência reativa medida e a potência reativa desejada:

$$Q_c = VAR \text{ Sem correção} - VAR \text{ desejado} = 226 - 51,03 = 174,97VAR$$

Com os valores já conhecidos foi calculado a corrente do capacitor ( $I_c$ ) sobre a tensão de fase:

$$I_c = \frac{P_{\text{reat.corrigida}}}{V_c} = \frac{174,97\text{VAR}}{127\text{V}} = 1,38\text{A}$$

A reatância capacitiva ( $X_c$ ), resultou da tensão fase sobre a corrente capacitiva:

$$X_c = \frac{V_c}{I_c} = \frac{127\text{V}}{1,38\text{A}} = 94,18\Omega$$

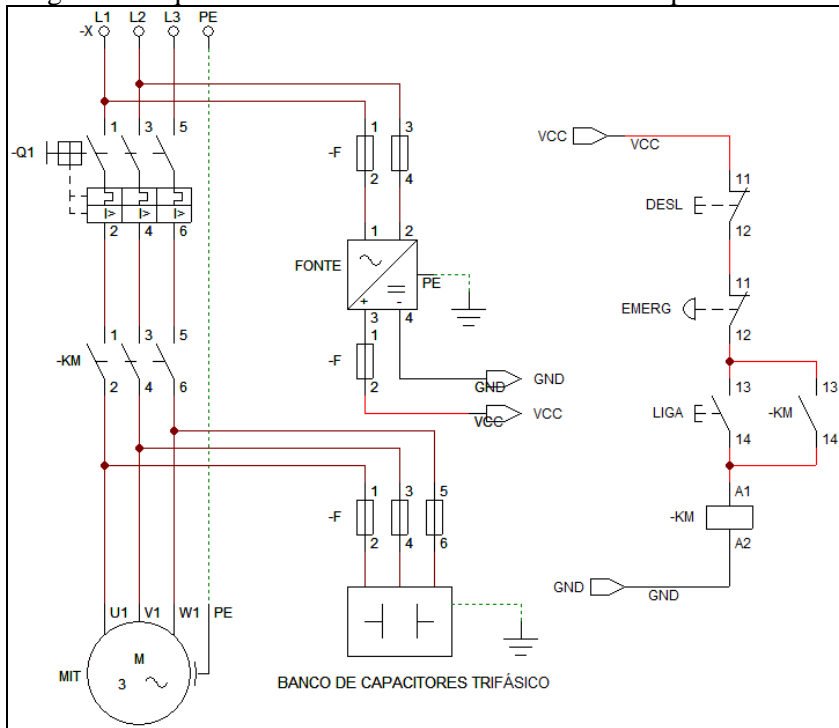
O valor do capacitor para a correção de potência no circuito ser:

$$X_c = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot C}$$

$$C = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot X_c} = C = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot 60 \cdot 94,18} X_c = 28,8 \times 10^{-6}\text{F} \text{ ou } 28,8 \mu\text{F}$$

O capacitor calculado foi de 28,8 $\mu$ F. Entretanto, foi adotado a utilização de valores comerciais de 30 $\mu$ F para os capacitores. Assim, os referidos capacitores foram conectados em paralelo com a máquina seguindo o esquema representado pela figura 7.

Figura 7: Esquema de fechamento Motor e banco de capacitores



Fonte: Elaborado pelo autor

Após a implementação do banco de capacitores o fator de potência medido subiu para 0,94, o que resultou em uma potência aparente por fase de 127,65VA e uma potência reativa de 43,55Var. A Figura 8 apresenta o fator de potência medido após a implementação do banco de capacitores.

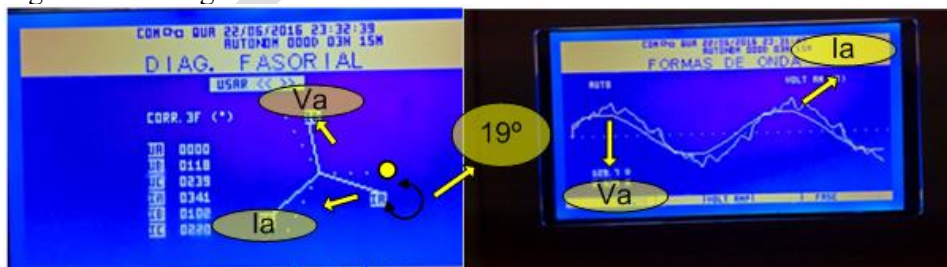
Figura 8: Fator de potência após correção



Fonte: Elaborado pelo autor

Devido ao aumento do fator de potência o ângulo entre as tensões e correntes do circuito também diminuíram de forma significativa. O novo ângulo medido entre a tensão da fase “a” e a corrente também da fase “a” foi de aproximadamente  $19^\circ$ . A Figura 8 apresenta o diagrama de fases do circuito, bem como as formas de onda da tensão e da corrente plotadas em tela pelo analisador de energia.

Figura 9: Defasagem entre a tensão e corrente da fase “a”



Fonte: Elaborado pelo autor

Sob a metodologia proposta obteve-se em primeira etapa de aquisição de dados identificadores as potências e fator de potência do respectivo MIT em operação como apresenta a Quadro 1.

Quadro 1: Dados de identificação de fator de potência

<b>CARGA APLICADA AO CONJUGADO DO MIT</b>	<b>POTÊNCIA APARENTE (S)</b>	<b>POTÊNCIA ATIVA (P)</b>	<b>POTENCIA REATIVA (Q)</b>	<b>FATOR DE POTÊNCIA <math>\text{COS } \theta = \text{FP}</math></b>
1Nm (Newtom /m)	257VA	120W	226VAR	$\text{COS } 61^\circ = 0.48$

Fonte: Elaborado pelo autor

Perante tais resultados observou-se que à máquina (MIT), operava em regime de fator de potência inferior ao objetivado por regulamentos e condições que proporcionam à operações dentro de uma eficiência energética satisfatória. Isto é, para que em ocasião pudesse produzir um trabalho mecânico no eixo do motor requerido por um conjugado de 1Nm, absorvia-se da rede uma energia classificada em potência aparente no valor de 257VA e com um ângulo de defasagem da corrente em relação a tensão (atraso) de  $61^\circ$ , resultando assim em uma fator de potência de 0,48 de característica predominante indutiva.

E sob tal experimento foram alcançados os objetivos energéticos satisfatórios como apresenta a quadro 3 comparada a quadro2 com resultados de identificação.

Quadro 2: Sem correção do fator de potência.

<b>CARGA APLICADA AO CONJUGADO DO MIT</b>	<b>POTÊNCIA APARENTE (S)</b>	<b>POTÊNCIA ATIVA (P)</b>	<b>POTENCIA REATIVA (Q)</b>	<b>FATOR DE POTÊNCIA <math>\text{COS } \theta = \text{FP}</math></b>
1Nm	257VA	120W	226VAR	$\text{COS } 61^\circ = 0.48$

Fonte: Elaborado pelo autor

Quadro 3: Após a correção do fator de potência no valor desejado de 0,92.

<b>CARGA APLICADA AO CONJUGADO DO MIT</b>	<b>POTÊNCIA APARENTE (S)</b>	<b>POTÊNCIA ATIVA (P)</b>	<b>POTENCIA REATIVA (Q)</b>	<b>FATOR DE POTÊNCIA <math>\text{COS } \theta = \text{FP}</math></b>
1Nm	127,65VA	120W	43,55VAR	$\text{COS } 19^\circ = 0.94$

Fonte: Elaborado pelo autor

Outro aspecto relevante a se considerar em tal aplicação é o da corrente, em que na primeira situação sem a aplicação do respectivo banco de capacitores, toda corrente absorvida tinha origem na fonte de fornecimento, isto é, o motor consumia com a carga aplicada de 1Nm, uma corrente aproximada de 3 amperes fornecida integralmente pela rede elétrica. Após a correção do fator de potência sob à aplicação de capacitores, onde os mesmos por suas características de armazenamento de energia tornam-se parte do fornecimento da energia conseqüentemente parte da corrente necessária para o funcionamento do motor de indução.

## 5 CONCLUSÃO

Este artigo analisa e comprova através do experimento que embora determinadas aplicações sejam consideradas simples trazem por real característica não a simplicidade mas sim uma tradicional e clássica aplicação que beneficia aspectos fundamentais relacionados ao fator de potência, onde neste exemplo o benefício direto foi proporcionar eficiência de transformação da energia elétrica absorvida da rede em real trabalho mecânico, e o benefício indireto pode proporcionar a diminuição no

carregamento de transformadores e infraestrutura de condutores respectivo a cada instalação onde tal correção for implementada. Espera-se ainda a reversão do efeito de perdas de energia elétrica proveniente da elevação da corrente seguido do aquecimento de condutores (efeito Joule), consequências essas do excesso de energia reativa nas instalações.

Tal estudo não só permitiu que obtivesse resultados relacionados a eficiência energética, entretanto revela características implícitas nesta aplicação que propõem também estudos relacionados a qualidade de energia, pelo fato de apresentar distorções harmônicas após a implementação de capacitores. Bem por contribuições para futuros estudos relacionados a cargas não lineares, carregamento de transformadores, aplicação do método a outros tipos de equipamentos, cargas não fixas, implementação a projetos, aplicação de bancos automáticos etc.

# **IDENTIFICATION AND POWER FACTOR CORRECTION DEDICATED TO A THREE PHASE INDUCTION MOTOR**

## **Abstract**

Electric power from his/her discovery to the current days supplies an infinity of resources and viabilities for the industries, trade and residences. This way, the use of this energy should be made in an efficient and maintainable way. Like this, several works have been presenting strategies to obtain a high efficiency of operation of equipment's, well of the facilities in that the same ones are connected and electric facilities. In this sense, this work approaches applied concepts the efficiency of facilities through the correction of the potency factor. More specifically, a study will be presented dedicated to the correction of PF (power factor) to a three-phase induction machine of 0.5 CV operating in non-nominal conditions and connected directly to the power grid. Experimental results will be presented to validate the proposal.

**Key-words:** Factor of Potency, Motor of Induction, Bank of capacitors.

## REFERÊNCIAS

BARROS, Benjamim Ferreira de. **Gerenciamento de energia:** ações administrativas e técnicas de uso adequado da energia elétrica. São Paulo: Érica, 2014.

CREDER, Hélio. **Instalações elétricas.** 14.ed. Rio de Janeiro: LTC, 2006.

MAMEDE FILHO, João. **Instalações elétricas industriais.** 8.ed. Rio de Janeiro: LTC, 2012.

POMILIO, J. A. **PRÉ-REGULADORES DE FATOR DE POTÊNCIA.** 200. 226 f. Trabalho submetido a Pós-Graduação em Engenharia Elétrica – Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação da Universidade Estadual de Campinas. 2007.

SANTOS, Afonso Henriques Moreira; [ET AL.]. **Conservação de energia:** eficiência energética de instalações e equipamentos. 2. ed. Itajubá: Nova Fronteira, 2001.

SOUZA, F. P. **CORREÇÃO DO FATOR DE POTÊNCIA ARA INSTALAÇÕES DE BAIXA POTÊNCIA EMPREGANDO FILTROS ATIVOS.** 2000. 226 f. Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica) – Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis. 2000.

BOYLESTAD, Robert L. **DISPOSITIVOS ELETRÔNICOS E TEORIA DE CIRCUITOS.** 8ª Edição. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2004.

ASHFAQ, A. **Eletrônica de Potência.** 1ª Edição. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2000.

BIM, Edson. **MAQUINAS ELÉTRICA E ACIONAMENTOS.** 1ª Edição. São Paulo: Elsevier Ltda, 2009.

ANEEL. **Regulamenta a definição, os valores de referência e a abrangência na aplicação do Fator de Potência para faturamento do**

**excedente de reativos de unidades consumidoras.** Resolução Normativa nº. 414, de 9 de setembro de 2012, Brasília.

SIEMENS; **Manual de motores elétricos.** São Paulo: Siemens do Brasil, 2008. Disponível em: <<http://www.siemens.com.br>>. Acesso em: 12 de março 2016.

RAMPAZZO, Lino. **Metodologia científica: para alunos dos cursos de graduação e pós-graduação.** São Paulo: Stiliano, 1998.

e-TEC

# PROTÓTIPO PARA SECAGEM ENTRE OS DEDOS DOS PÉS

<ISRAEL DE SOUZA JÚNIOR><sup>1</sup>

<HELIO KIUJI KAYAMORI><sup>2</sup>

<APARECIDO SERAPIÃO DOS SANTOS><sup>3</sup>

## Resumo

Este artigo mostra um dispositivo capaz de realizar a secagem entre os dedos dos pés após o banho. O equipamento tem o objetivo de auxiliar as pessoas que apresentam dificuldade ao realizar a secagem entre os dedos dos pés, como obesos, idosos e até mesmo pessoas que não são dispostas. A secagem dos pés é de fundamental importância para a higienização humana, pois sua falta ocasiona vários problemas como frieira, microfissuras propiciando a proliferação de bactérias. Portadores de diabetes têm como recomendação médica um cuidado especial com a higienização dos pés, tornando este projeto um bom aliado neste processo de cuidados com os pés e a saúde. O protótipo consiste em gerar um fluxo de ar através de um moto ventilador, com uma resistência de aquecimento direcionando o fluxo de ar gerado para os pés. Esse processo se dá através de um secador.

**Palavras-chave:** Diabetes. Secagem entre os dedos pés. Higienização.

---

<sup>1</sup> Graduação – Faculdade de Tecnologia do Senai Londrina. E-mail: israel-cris@hotmail.com

<sup>2</sup> Eng°. Eletricista – Faculdade de Tecnologia do Senai Londrina. E-mail: Helio.kayamori@pr.senai.br

<sup>3</sup> Especialista – Faculdade de Tecnologia do Senai Londrina. E-mail: aparecido.serapião@pr.senai.br

# 1 INTRODUÇÃO

Secar os pés após o banho é de fundamental importância e altamente recomendado por médicos pelo fato de que a umidade entre os dedos é um bom local para a proliferação de bactérias e fungos que provocam inúmeras doenças, tais como, frieira, fissuras e chulé. (PINHEIRO, 2016).

Segundo Cubas (2013), em suas recomendações de como cuidar dos pés diabéticos, a mesma recomenda fazer uma boa secagem principalmente entre os dedos. Pessoas portadoras de diabetes são altamente advertidas pelos médicos a cuidar dos pés rigorosamente, pois a doença causa dificuldade de cicatrização.

Desta forma, o objetivo deste artigo é o desenvolvimento de um dispositivo para resolver o problema quanto à secagem correta dos pés de portadores de diabetes. A utilização deste equipamento não se restringe apenas a diabéticos, mas também a idosos e obesos e a qualquer pessoa que tenha dificuldade em realizar a secagem dos pés.

Tendo em vista CUBAS (2013), A falta de cuidado dos pés de diabéticos pode ocasionar a amputação do mesmo, onde cuidados são obrigatórios para manter o bem estar e saúde dos pés.

O trabalho de RAIZER (2016) revela que o fluxo de ar gerado pelo secador tem que estar de acordo com a energia térmica que é capacitada e o tempo de exposição para secagem correta sem que haja alguma deficiência para onde está sendo exposto o ar, onde secadores verticais são mais eficientes que os horizontais.

Para o desenvolvimento do protótipo foi necessário esquematizar o funcionamento de um secador para o princípio de funcionamento do

equipamento com diagramas elétricos e apresentação das medições sobre o fluxo de ar, energia térmica e tempo para secagem correta.

## **2 FUNDAMENTAÇÃO TEORICA**

### **2.1 Problemas relacionados à umidade nos pés**

Para CUBAS (2013), A umidade nos pés, provenientes de suor pode acarretar em bactérias conhecida como bromidrose que propicia odor característico. Esse suor pode ser minimizado com um maior cuidado referente aos pés e sua limpeza.

De acordo com CALIRI (2016), lavar os pés e não realizar a secagem correta, principalmente entre os dedos pode gerar feridas crônicas que se não cuidadas, acarreta em doenças mais graves, dependendo do tipo de pessoa ate chegar a sua amputação.

### **2.2 Secador**

O princípio de funcionamento de um secador se dá a geração de ar quente para evaporação de líquidos no local que é aplicado. Sua composição inicia em um ventilador acionado por um motor e um elemento de aquecimento. (CONNELL, 2014).

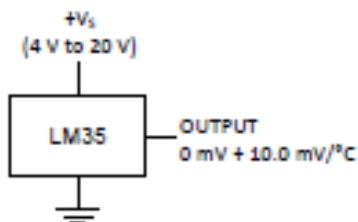
Existem secadores de vários tipos, podendo ser simples até mais complexos. Os secadores simples, como por exemplo, um secador de cabelo, é composto apenas de um ventilador para fluxo do ar que é acionado por um motor e esquentado por uma bobina de aquecimento. Secadores mais

complexos necessitam de uma placa eletrônica para controle dos seus dispositivos, como por exemplo, um secador de mão com opção de fluxo de ar frio ou quente.

### 2.3 Circuito integrado

O circuito integrado (CI) LM35, requisito básico para montagem do equipamento, é um sensor de temperatura que tem como função medir a temperatura do local em que está instalado. É um CI de baixo custo e fácil utilização, sendo possível ser implementado em diversos tipos de projeto.

Figura 1- Diagrama LM 35



Fonte: *Instruments* (2016)

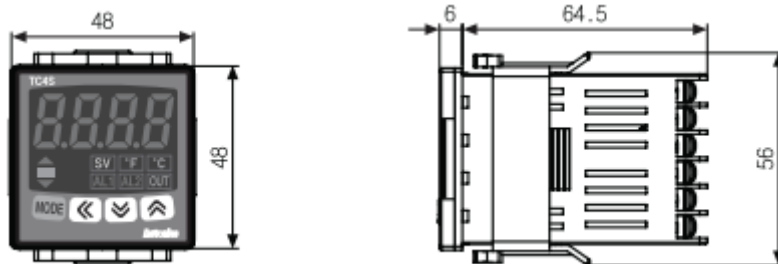
Segundo seu fornecedor *INSTRUMENTS* (2016), em seu *Datasheet* sua estrutura segue da seguinte forma: Alimentação de tensão de 4-20 Vcc para temperatura de  $0 + 10 \text{ mV}/^{\circ}\text{C}$ .



TCN4S, sendo um controlador de temperatura que é possível fazer a configuração para o controle ideal de temperatura que desejar.

Segundo o fabricante Autonics, as especificações relacionadas ao tamanho do controlador se encontram na figura 3.

Figura 3: Especificações



Fonte: Autonics (2016)

É necessário ter conhecimento das características do produto para que se faça uma correta instalação do mesmo, verificando a alimentação, configurações dos botões, entre outros aspectos importantes. A figura 4 relata as características técnicas do controlador série TC4.

Figura 4: Características TC4

Série	Série TC4						
	TC4S	TC4SP	TC4Y	TC4M	TC4H	TC4W	TC4L
Alimentação	100–240VAC 50/60Hz						
Voltagem permitida	90–110% da voltagem corrente						
Consumo de Energia	Máx. 5VA						
Método de display	7 Segmentos( Vermelho), Outro Display ( Verde, Amarelo, LED Vermelho)						
Tamanho do caractere	H	15.0mm	15.0mm	20.0mm	14.6mm	20.0mm	22.0mm
	W	7.0mm	7.4mm	9.5mm	7.0mm	9.5mm	11.0mm
Tipo de Entrada	RTD	DIN Pt100Ω (Resistência máxima permitida de 5Ω por fio)					
	TC	K(CA), J(IC)					
Método de Amostragem	TC	(*) (PV ± 0.5% ou ± 1°C mais alto) rdg ± 1 Dígito					
	RTD	(**) *TC4S (Tipo Plugue) é (PV ± 0.5% ou ± 2°C o mais alto)rdg ± 1 Dígito ** Baseado em temperatura normal (23 ± 5°C)					
Saída	Relé	250VAC 3A 1a					
	SSR	12VDC ± 2V 20mA Max.					
	Sub	* AL1, AL2 Saída relé: 250 VCA 1A 1a (* TC4SP, TC4Y possui AL1 apenas).					
Método de Controle	Controles ON/OFF e P, PI, PD, PID						
Histerese	1 ~ 100°C (KCA, JIC, PT1) / 0.1 ~ 50.0°C (PT2)						
Banda proporcional	0.1 ~ 999.9°C						
Tempo Integral	9999 Segundos						
Tempo Derivado	9999 Segundos						
Controle Periódico	0.5 ~ 120.0 Segundos						
Reset Manual	0.0 ~ 100.0%						
Tempo de Amostragem	100ms						
Resistência Dielétrica	2000VAC 50/60H por 1 minuto. ( Entre a entrada do terminal e a alimentação)						
Vibração	Amplitude de 0.75 mm na frequência de 5–55hz em cada direção X, Y, Z por 2 horas						
Vida útil do relé	Mecânico	Mínimo 10.000 operações					
	Mal-funcion.	Mínimo 10.000 (em 250VCA carga resistiva 3A )					
Resist. de Isolamento	Mínimo de 100MΩ (em 500VCC)						
Ruído	μS						
Retenção de memória	Aprox. 10 anos ( Usando memória não volátil)						
Temp. Ambiente	–10 ~ 50°C ( No estado normal )						
Temp. de Estoque	–20 ~ 60°C ( No estado normal )						
Umidade Ambiente	35 ~ 85%RH						
Peso Unitário	Aprox. 97g	Aprox. 84g	Aprox. 127g	Aprox. 127g	Aprox. 118g	Aprox. 118g	Aprox. 172g
Certificado							

\* (\*) (PV ± 0.5% ou ± 2°C mais alto)rdg ± 1 Dígito

\*\* (\*)

Fonte: Autonics (2016)

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

O princípio de funcionamento de um secador se dá a geração de ar quente para evaporação de líquidos no local que é aplicado. Sua composição inicia em um ventilador acionado por um motor e uma resistência de aquecimento. (CONNELL, 2014).

Para desenvolvimento deste protótipo foram executadas as seguintes etapas: seleção e dimensionamento dos componentes elétricos, desenvolvimento do diagrama elétrico conforme normas, testes e simulações.

Foram construídos protótipos utilizando um ventilador de baixo fluxo confinado dentro de uma carenagem, onde o fluxo de ar é direcionado aos pés, promovendo a secagem entre os dedos. Após testes realizados, foram definidas a potência, temperatura, fluxo de ar e melhor sistema de ventilação, para atingir o objetivo.

Os recursos necessários para criação deste manual foram: componentes descritos no tópico resultados instrução de montagem, *softwares* para esquemas e medições, laboratório para ensaios, fornecedores e projetista.

Os Resultados esperados são a secagem entre os dedos dos pés otimizada (menor tempo, menor temperatura, menor consumo).

## **4 RESULTADOS**

### **4.1 Melhores resultados obtidos, nos testes realizados:**

Os resultados obtidos foram mensurados no protótipo montado e descrito á seguir.

O aquecimento foi parametrizado via controlador para ser desligado quando atingir uma temperatura de 55 ° C e volta a ligar com 40 ° C, ao longo do tempo de acionamento (2 minutos) este ciclo se repete.

Os parâmetros mensurados foram:

Vazão do ar = 185 L/min

Diâmetro da câmara = 150 mm

Comprimento da câmara = 400 mm

Tempo secagem = 2 minutos.

Temperatura máxima de aquecimento = 55 ° C.

A vazão de ar do sistema foi medido com auxílio de um medidor de vazão de ar mostrado na figura 5

Figura 5- Medição de vazão do ar



Fonte: Autor (2016)

## 4.2 Instruções de montagem do protótipo para coleta de parâmetros

Para a construção de protótipo foi utilizado componentes de uso industrial devido a sua flexibilidade de montagem e praticidade.

Para início da montagem, foram necessários os seguintes materiais:

- Secador de cabelo de 1800 W, 127 V;
- Termopar;
- Controlador de temperatura TCN4S;
- Tubo de PVC medindo 150 mm de diâmetro, comprimento de 400 mm com entrada e local de descanso para o pé, resistência mecânica com capacidade de 180 Kg.

O termopar utilizado foi do tipo “J” nomenclatura adotada pela Norma ANSI, A sua liga é feita de Fe-Co, Iron-Constantan. Onde (+) Ferro (99,5%) (-) Constantan - Cu58 Ni42, normalmente se produz o ferro e a partir de sua característica casa-se o constantan adequado.

A identificação da polaridade é o positivo (ferro) é magnético, o negativo não é magnético.

Segundo TERMOPARES (2013), são as seguintes características do termopar:

- Faixa de utilização: 0 a 800°C;
- f.e.m. produzida: 0 a 42,922 mV;
- Potência termoeétrica média: 5,65 mV/100°C;
- Pode ser utilizado em atmosferas a vácuo, inertes, oxidantes ou redutoras;
- Baixo custo relativo, sendo assim é um dos mais utilizados industrialmente;

- Tem baixa homogeneidade, devido à dificuldade de obtenção do ferro com alto teor de pureza;
- Indicado para serviços contínuos até 760°C em atmosfera neutra ou redutora;
- Limite máximo de utilização em atmosfera oxidante de 760°C, devido à rápida oxidação do ferro;
- Utilizar tubo de proteção acima de 480°C;
- Pode ser utilizado, ocasionalmente, para temperaturas abaixo de 0°C, porém, a possível ferrugem ou quebra do ferro, sob esta condição, o tornam inadequado.

Figura 6- Termopar tipo “J”



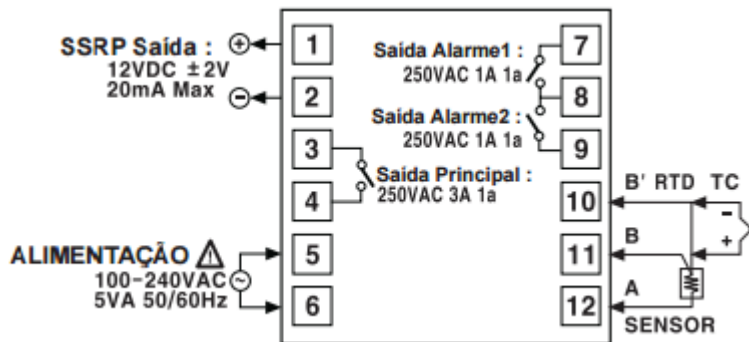
Fonte: Autor (2016)

O controlador de temperatura utilizado foi da Autonics, modelo TCN4S parametrizado para termopar tipo J, com histerese de 15 °C e ajuste

de temperatura máxima de 55°C, saída de controle á relé, tipo de controle ON/OFF.

Para verificar a correta ligação do controlador de temperatura, segue na figura 7 seu esquema de conexões:

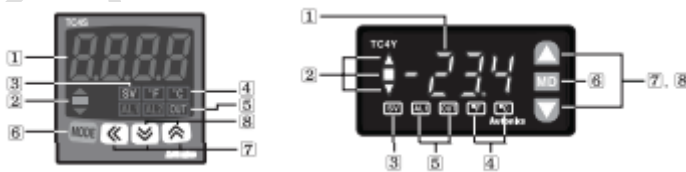
Figura 7: Conexões



Fonte: Autonics (2016)

Para parametrização do controlador de temperatura, tem-se a seguinte descrição do produto segundo o fabricante Autonics:

Figura 8: Descrição



Fonte: Autonics (2016)

Onde:

1 - Display de temperatura Mostra a temperatura atual (PV) no modo RUN, parametrização e o valor de preset para cada grupo no modo troca de parâmetro;

2 - Desvio e indicador Auto-Tuning Indica o temperatura atual (PV) baseado no valor de preset (SV) por meio do LED Indicador de desvio (▲, ■, ▼) são mostrados a cada 1 seg, operando em auto-tuning;

3 - Indicador de valor de preset (SV). Pressione qualquer botão para checar ou alterar a temperatura atual (SV), valor de preset (SV). O indicador estará ligado valor de preset piscará;

4 - Indicador de temperatura (°C/°F): Mostra a temperatura atual da unidade;

5 - Indicador de saída de Sub/Controle. -SAÍDA: Acionará quando o controle de saída (Controle de saída principal) estiver ligado. Acionará até 3% da operação no controle de Ciclo/Fase. - AL1/AL2: Acionará quando a saída de alarme AL1/AL2 estiver ligada;

6 - Botão MODE: Usado para entrar em um grupo de parametrização, retornar para o modo RUN, alterando parâmetros e salvando valores de processo;

7 - Ajuste: Usado para entrar no modo de valor de preset, digite mover e digite para Cima/Baixo;

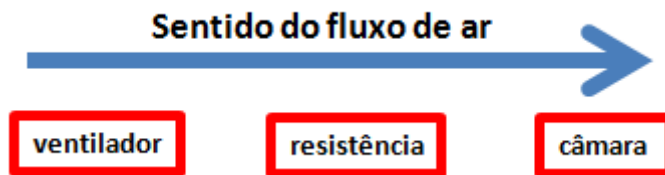
8 - Botão FUNCTION: Pressione os botões ▼+▲ por 3 seg para operar na função (RUN/STOP cancela de saída de alarme) selecionada no parâmetro interno.

## 4.2 Montagem do protótipo

Foi utilizado um secador de cabelos de 1800W de potência, uma câmara feita com um tubo de PVC com dimensional aproximado de 150 mm de diâmetro e comprimento de 400 mm com entrada e local de descanso para o pé a mesma deve também oferecer resistência mecânica para suportar pesos em torno de 180 Kg (pois o equipamento tem como previsão de usuários pessoas obesa também).

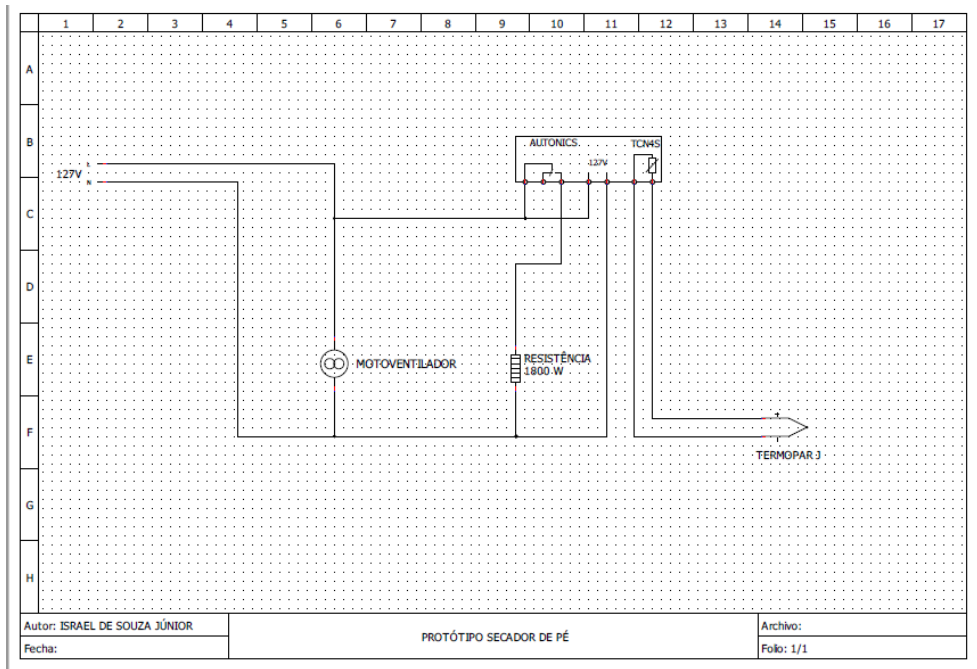
A montagem foi feita seguindo o esquema:

Figura 9: Montagem sentido de fluxo do ar



Fonte: do autor (2016)

Figura 10: Esquema elétrico



Fonte: Autor (2016)

Figura 11: Protótipo



Fonte: Autor (2016)

Conforme ilustrado:

- 1: Secador de cabelo;
- 2: Tubo de pvc;
- 3: Posição do pé

### **4.3 Sugestão de montagem para confecção do equipamento.**

Um sensor de reflexão IR pode ser montado na parte interna da câmara a fim de sentir a presença do pé em sua posição.

Um circuito de controle e funcionamento utilizando um controlador arduino uno acrescido de interfaces pode ser utilizado para dar lógica ao sistema, funcionando basicamente da seguinte forma:

Assim que o pé estiver em sua posição o ventilador deve ser acionado, a resistência deve ser acionada e chaveada através de um controlador de temperatura no qual deve supervisionar rigorosamente a temperatura de saída de ar não deixando atingir valores superiores a 55° C, este controlador deve conter uma janela de histerese em torno de 15 ° C. Um tempo de acionamento deve ser acionado ao iniciar o processo e ao ser atingido (estourado) o processo deve ser interrompido e só voltará a ser acionado quando o pé for retirado e colocado novamente.

Poderá também conter um supervisor que possibilite o usuário fazer programas personalizados e dedicados a cada usuário, este programa pode ser ajustado parâmetros tais como temperatura, tempo de secagem, histerese de acionamento do aquecimento, taxa de ciclo de aquecimento.

Para sentir a temperatura poderá ser utilizado um sensor de temperatura CI LM 35 da *texas instruments*, possibilitando a construção de uma placa de controle com baixo custo de projeto.

## 5 CONCLUSÃO

O sistema de aquecimento convencional (resistência de aquecimento) se mostra capaz de atingir nosso objetivo.

Recomendamos numa etapa posterior um estudo focado no melhoramento de eficiência energética do protótipo e aerodinâmica visando à otimização do sistema.

Assim se torna a melhor forma de realizar a secagem entre os dedos um sistema constituído de um motoventilador com vazão em torno de 185 L/min, junto com um elemento de aquecimento de 1800 W (projetada para trabalhar com ventilação forçada) contidos em uma câmara com dimensional de 150 mm de diâmetro por 400 mm de comprimento onde deve haver uma entrada para o pé e plataforma de descanso para o mesmo, o sentido de fluxo de ar deve ser dos dedos para o calcanhar em uma temperatura máxima de 55 °C sendo chaveada e modulada com uma histerese de 15 °C para menos, em ciclos repetitivos durante um tempo de 2 minutos.

# PROTOTYPE FOR DRYING BETWEEN FINGERS FEET

## Abstract

This article shows a device capable of performing drying between the toes after bathing. The equipment is intended to help people who have difficulty when performing drying between the toes, as obese, elderly and even "lazy".

The drying of the feet is of fundamental importance for human hygiene because its lack leads to various problems such as chilblains, microcracks providing the proliferation of bacteria. Patients with diabetes have medical advice as special care of the hygiene of the feet, making this project a good ally in this process of foot care and health. The prototype consists in generating an airflow through a fan bike, with a heating element directing the air flow generated for the feet. This process occurs through a dryer.

**Key-words:** Diabetes. Drying between the toes feet. Sanitation.

## REFERÊNCIAS

AUTONICS. **Manual controlador de temperatura série 4S**. 2016. Disponível em: <file:///C:/Users/sony%20duo/Downloads/controlador%20de%20temperatura.pdf>. Acesso em: 18 Out. 2016.

CALIRI, H. L. Maria. **Feridas crônicas: Prevenção e tratamento**. 2016. Disponível em: <[http://www2.eerp.usp.br/site/grupos/feridasronicas/index.php?option=com\\_content&view=article&id=38&Itemid=64](http://www2.eerp.usp.br/site/grupos/feridasronicas/index.php?option=com_content&view=article&id=38&Itemid=64)>. Acesso em: 05 Ago. 2016.

CONNELL, O. M. Ann. **Os fundamentos**. 2014. Disponível em: <<http://casa.hsw.uol.com.br/secadores-de-cabelo1.htm>>. Acesso em: 12 Ago. 2016.

CUBAS, R. Marcia; et al. **Pé diabético: Orientações e conhecimento sobre cuidados preventivos**. 2013. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/fm/v26n3/a19v26n3.pdf>>. Acesso em: 15 Jun. 2016.

INSTRUMENTS, Texas. **LM35 Precision Centigrade Temperature Sensors**. Datasheet, 2016.

PINHEIRO, M. Ana. **Pé de atleta – sintomas, tratamento e causas**. 2016. Disponível em <<http://www.minhavidacom.br/saude/temas/pe-de-atleta>>. Acesso em: 20 Jun. 2016.

RAIZER, Fernando. **Secadores – aproveitamento de energia e outras tendências**. 2016. Disponível em: <<http://www.ferrazmaquinas.com.br/conteudo/secadores-aproveitamento-de-energia-e-outras-tendencias.html>>. Acesso em: 10. Jun. 2016.

TERMOPARES. **Característica termopares tipo “J”**. São Paulo, 2013. Disponível em: <[http://www.termopares.com.br/teoria\\_sensores\\_temperatura\\_termopares\\_tipo\\_j\\_feco/](http://www.termopares.com.br/teoria_sensores_temperatura_termopares_tipo_j_feco/)>. Acesso em: 18 Out. 2016.

# READEQUAÇÃO EM SISTEMA DE AR COMPRIMIDO

<PAULO DEMARCHI><sup>1</sup>  
<FLÁVIO ANTUNES FERREIRA><sup>2</sup>  
<LAERCIO BERGAMIN><sup>3</sup>

## Resumo

O presente estudo apresenta o caso de uma oficina automotiva que utiliza sistema de ar comprimido para a realização de seus serviços de manutenção. Essa é uma oficina interna da empresa e é responsável pela manutenção da frota de ônibus da companhia há quarenta anos, que até então era dotada de sistema de ar comprimido ultrapassado e com falhas. Através de diagnóstico com coleta de dados e análise, o estudo apresenta a situação do sistema e consumo de energia elétrica, propõe intervenção no banco de compressores de ar comprimido e atenta para outras melhorias. Apresenta proposta de intervenção técnica incluindo custos com equipamento e instalação. A partir da nova estrutura instalada, foi possível gerar informações gerenciais importantes como o consumo de ar comprimido em termos de vazão e energia elétrica, por período do dia, por semana, mensalmente e anualmente, também foram implantados relatórios de manutenção preventiva e corretiva. O estudo ainda inclui as atividades realizadas para a implantação das mudanças. Também apresenta um comparativo entre os dois cenários, demonstrando os custos do cenário um sendo a manutenção do sistema antigo versus o custo do cenário dois, qual seja, implantação e manutenção da nova estrutura. Por fim, apresenta os resultados econômicos e financeiros obtidos com a nova estrutura.

**Palavras-chave:** compressor, eficiência, custos.

---

<sup>1</sup> Graduação – Tecnologia em Manutenção Industrial, da Faculdade de Tecnologia Senai Londrina. E-mail: paulo.demarchi@viacaogarcia.com

<sup>2</sup> Professor - Tecnologia em Manutenção Industrial, da Faculdade de Tecnologia Senai Londrina. E-mail: flavio.ferreira@pr.senai.br

<sup>3</sup> Professor - Tecnologia em Manutenção Industrial, da Faculdade de Tecnologia Senai Londrina. E-mail: laercio.bergamin@pr.senai.br

# 1 INTRODUÇÃO

Atualmente, o gerenciamento detalhado dos custos operacionais de uma empresa impacta significativamente no preço final de seus produtos e serviços, influenciando sensivelmente na competitividade frente seus concorrentes de mercado.

É comum as empresas utilizam a energia elétrica como fonte básica para movimentação de suas máquinas e equipamentos e é portanto um dos componentes mais importantes para sua operação e por conta disso, requer maior atenção.

O gerenciamento da utilização da energia elétrica, requer várias etapas, desde um diagnóstico técnico da instalação, e análise dos consumidores elétricos visando ao final, a otimização dos processos produtivos.

Uma pesquisa do Departamento de Energia dos EUA mostrou que em uma instalação industrial típica, aproximadamente 10% da energia elétrica consumida é utilizada na geração de ar comprimido. Para algumas instalações, a geração de ar comprimido pode atingir 30% ou mais da eletricidade consumida.

No ciclo de vida de um compressor, 70% do custo do ar comprimido é energia elétrica, ou seja, se você quer que seu m<sup>3</sup> de ar comprimido custe menos, então aumente a EFICIÊNCIA ENERGÉTICA do seu compressor. (MIKA Compressores, 2016, P1).

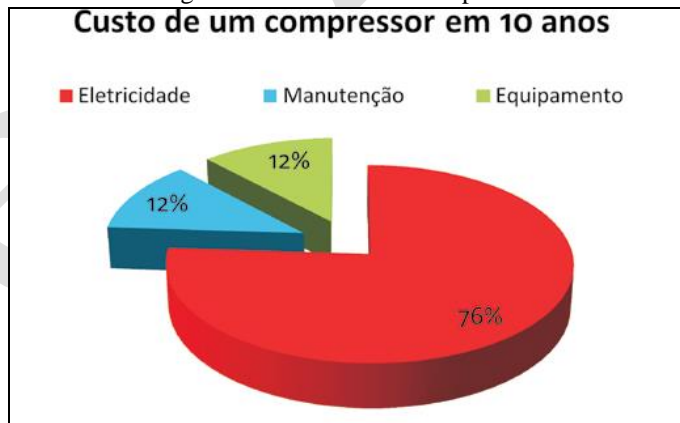
Existem várias formas de se alcançar a eficiência energética, uma delas é a “utilização de compressores com velocidade controlada através de inversor de frequência.” (MIKA COMPRESSORES, 2016, P1).

Outros aspectos a se considerar em um projeto para redução de custo do ar comprimido são:

- Utilização de motores eficientes no projeto do compressor;
- Utilização de componentes projetados de forma a provocar o mínimo de perda de pressão interna no compressor, por exemplo: filtro de ar de admissão, válvula de admissão, separador ar/óleo e resfriador posterior. Os modelos mais novos de compressores são elaborados com técnicas computacionais de dinâmica de fluídos, que diminuem ao máximo a perda de carga;

- Sistemas de monitoramento eletrônico: para gerenciar as funções vitais do compressor e instalações;
- Sistemas de reaproveitamento de energia;
- Temperatura do ar: quanto mais quente o ar de admissão, menor o rendimento da instalação. Para cada 4°C de acréscimo na temperatura do ar aspirado, o compressor consumirá 1% a mais de potência para entregar o ar nas mesmas condições;
- Tratamento adequado do ar comprimido: proporciona aumento da vida útil dos equipamentos; diminui a manutenção nas tubulações; reduz custos com a aquisição de dispositivos de coleta e eliminação do condensado nas linhas; redução das paradas de produção devido à manutenção corretiva; redução de perdas de pressão na distribuição de ar, por eliminar as resistências ao escoamento do ar e conseqüentemente, economia de energia.
- Drenagem adequada: certos modelos de compressores perdem ar comprimido pelos drenos de condensado. Evite esses modelos.
- Dimensionamento correto da rede de distribuição – quanto melhor dimensionada, menor a energia elétrica consumida pelo compressor. (MIKA Compressores, 2016, P1).

Figura 1 – Custo de um compressor



Fonte: S.A. Air Solutions (2016)

A figura 1 demonstra a importância do custo de energia elétrica, e o quadro 1 demonstra o desperdício de energia elétrica conforme o diâmetro de um furo.

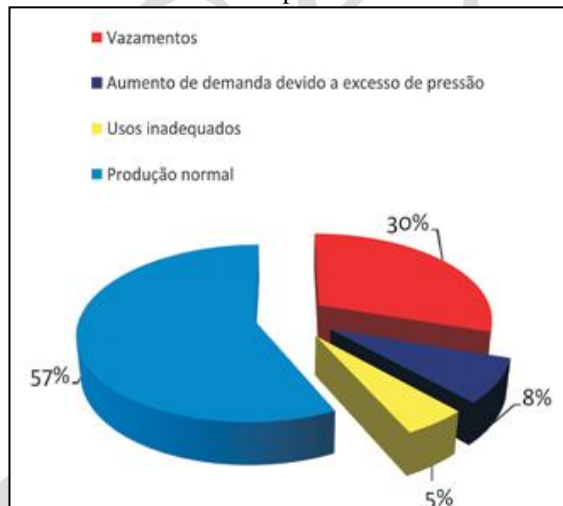
Quadro 1 – Custo de vazamento por perda de ar

Ø do furo em mm	m <sup>3</sup> /min 6 bars	watts/hora
1	0,063	415
3	0,567	3.733
5	1,575	10.369
10	6,3	41.476

Fonte: S.A. Air Solutions (2016)

A Figura 2 demonstra o consumo típico de um sistema de ar comprimido, onde apenas 57% do consumo é utilizado na produção normal.

Figura 2 – Consumo típico de um sistema de ar comprimido



Fonte: S.A. Air Solutions (2016)

A perda de carga ou queda de pressão também é um problema nos sistemas de ar comprimido que pode estar operando em uma pressão muito superior a exigida. Essas variações na pressão também geram desperdício de energia elétrica, conforme demonstra o quadro 2.

Quadro 2 – Variação de pressão e custo financeiro

m3/h	340		800		1700	
$\Delta P$ bar	0,07 (1)	0,14 (2)	0,07 (1)	0,14 (2)	0,07 (1)	0,14 (2)
R\$/ano	420	840	990	1980	2100	4200
*Considerando: P=7bar / uso = 16h/dia - 300 dias/ano						

Fonte: Metalplan (2016)

A temperatura de admissão do ar deve ser outro ponto a se verificar. A elevação de temperatura diminui a densidade do ar, reduzindo a eficiência do compressor. “Admite-se que uma redução de 3 graus centígrados na temperatura de admissão do ar ambiente pelo compressor, gera uma economia de energia de 1%.” (Metalplan, 2106, P1).

Outro problema a ser enfrentado nos sistemas de ar comprimido é a contaminação, que é a soma do ar ambiente com outras substâncias que vão sendo acumuladas durante o processo de compressão do ar. A norma ISO-8573 tipifica os contaminantes como Sólidos, Água e Óleo.

“O resultado da mistura de todos os contaminantes é uma emulsão ácida e abrasiva que compromete o correto funcionamento de um sistema de ar comprimido em qualquer tipo de aplicação.” (Metalplan, 2016).

O Quadro três demonstra o custo da contaminação por m3 para cada tipo de aplicação industrial. Os valores foram aferidos por tipo de aplicação possível na indústria, no comércio e nas atividades de prestação de serviços nos Estados Unidos. Os dados foram convertidos para reais considerando um dólar igual a três reais.

Quadro 3 – Custo da Contaminação

APLICAÇÃO TÍPICA	R\$/m <sup>3</sup>
Limpeza de peças e ferramentas; Proteção individual p/ a automação pneumática.	0,00024
Acabamento de itens não críticos; Ferramentas pneumáticas.	0,0006
Jateamento; Pintura; Prótese odontológica, etc.	0,0036
Indústrias Têxtil, Plástica, Metalúrgica, Mecânica, Recapagem de pneus e similares.	0,0135
Indústrias Automobilísticas, Papel e Celulose, Instrumentação, etc.	0,0135
Hospitais e Indústrias Alimentícias, Químicas e Farmacêuticas.	0,045
Processamento de materiais higroscópicos; Exposição do ar a temperaturas abaixo de zero °C 0,05.	0,15
Indústrias Eletrônica, Nuclear, Siderúrgica, Gravação de CDs, Processamento de filmes, etc.	2,13
*Calculado a partir de casos reais. Considerando 1 USD = R\$ 3,00.	

Fonte: Metalplan (2016)

## 1.1 Diagnóstico

O estudo foi realizado na empresa de transporte de passageiros Viação Garcia, empresa de grande porte atuante em sete estados, possui 2091 funcionários e transporta 12,5 milhões de passageiros por ano. Possui 600 veículos em sua frota com idade média de 3,6 anos que roda anualmente 53,3 milhões de quilômetros. O estudo vai focar o consumo de energia elétrica dos sistemas de ar comprimido da oficina que custou entre 2014 e 2015 R\$ 702.106,00.

Figura 3 – Oficina Viação Garcia (vista aérea).



Fonte: <https://www.google.com.br/maps/search/via%C3%A7%C3%A3o+garcia>

É imprescindível que o diagnóstico seja realizado com base em conceitos teóricos e práticos considerando as particularidades de cada instalação e seu perfil de atuação, contudo, há alguns aspectos gerais que se aplicam a qualquer instalação e podem servir de base para a elaboração de um diagnóstico energético.

Esse diagnóstico deve avaliar toda a utilização de energia elétrica da instalação, e alavancar pontos onde se deve atuar de forma planejada prioritariamente podendo ocorrer em paralelo com outras medidas de redução de custos obtidos pela racionalização do consumo de energia elétrica.

## **1.2 Levantamento de informações**

O acompanhamento do consumo de eletricidade de uma empresa tem como objetivo conhecer em detalhes as despesas mensais com esse insumo, verificar sua evolução ao longo do projeto de eficiência energética adotado.

Há diversas ferramentas (softwares) de auxílio para o monitoramento do comportamento do consumo o de energia de uma instalação, contudo, na fatura mensal fornecida pelo concessionário de fornecimento de energia elétrica já contempla informações necessárias para avaliar o perfil de consumo, contudo é fundamental que essa avaliação seja feita pelas áreas técnicas da empresa em conjunto com as áreas administrativas que são responsáveis pelo seu pagamento e contabilização.

## **1.3 Envolvimento da equipe**

Outro fator fundamental para o sucesso e perpetuação do projeto de eficiência energética numa empresa é a criação de grupos de trabalho com colaboradores de áreas diversas de modo a possibilitar a constante conscientização da utilização deste recurso. A conscientização dos colaboradores geral, possibilita o arrasto de conceitos para a otimização para outras formas de redução de custos numa empresa, e é imprescindível a geração de relatórios identificando a performance da atuação provinda dos trabalhos executados com foco na redução de energia elétrica e demais tópicos identificando a evolução, ou a necessidade de rever as práticas aplicadas seguindo o conceito PDCA (Planejar, Executar, Verificar, Agir).

## **1.4 Consultoria externa**

Mesmo em empresas que possuem corpo técnico em projetos de eficiência energética na planta, podem ainda contratar empresas terceiras especializadas no tema para avançar com estudos pontuais de viabilidade da eventual alteração de modalidade tarifária, e de acordo com o perfil alavancado na instalação.

As etapas genericamente descritas acima deverão ser aplicadas na Empresa de transporte coletivo de passageiros Viação Garcia, que será o ambiente de estudo deste trabalho.

## 1.5 Procedimentos metodológicos

Nesta etapa é relacionada toda a sistemática teórica para entender o princípio físico da relação de transformação de energia aplicada em compressores de ar comprimido instalados na planta da Viação Garcia, os diferentes tipos de compressores e seus subsistemas.

O autor propõe efetuar diagnóstico sobre situação atual de todo o sistema de geração, distribuição e consumo final. Identificar e definir condições ideais para as instalações do ambiente físico da rede de compressores.

Propõe também a implementação dos seguintes pontos:

a) realização periódica de auditoria no sistema para manter a correta regulagem da pressão fornecida pelo sistema de acordo com a demanda instalada na planta, desse modo são mantidas faixas de pressão de trabalho adequadas para os diferentes setores, considerando seus requisitos de funcionamento;

b) medições recorrentes sobre o tempo de máquina ligada operando em turno mais produtivo e turno menos produtivo;

c) utilização de gráficos comparativos relacionando as perdas por geração de calor próprio dos compressores de êmbolo;

d) quantificar e dimensionar vazamentos na rede de distribuição e qual impacto tal inconformidade acarreta para o custo final da geração do ar comprimido;

e) Captar periodicamente e quantificar os resultados obtidos antes e depois das intervenções, e gerar informações gerenciais comparativas com objetivo de auxiliar nas tomadas de decisão entre duas opções, quais sejam, investimento em reformas e manutenção do sistema instalado, ou investimento na aquisição de compressores com melhor eficiência;

## 2 DELIMITAÇÃO DO TEMA

O diagnóstico realizado apontou a necessidade de reestruturação de procedimentos organizacionais, alterações nos processos e práticas operacionais.

Porém, o estudo aqui proposto não tratará de todos estes pontos, e irá concentrar-se apenas no projeto de eficiência energética do sistema pneumático.

O sistema pneumático transforma energia elétrica em energia mecânica. Ele é formado por diversos componentes. Um destes componentes é chamado compressor.

O compressor de ar comprimido é uma máquina que transforma energia elétrica em energia mecânica pneumática. Ele comprime o ar ambiente dentro de reservatórios, que os distribui para toda a oficina através de tubulações e mangueiras. O sistema pneumático da companhia é utilizado em ferramentas pneumáticas manuais, ferramentas de bancada, na limpeza de veículos, na calibração de pneus, em pinturas veiculares entre outros componentes. Seu mal dimensionamento e utilização incorreta, gera perdas e má qualidade do serviço. O sistema de ar comprimido da empresa consome 30% de toda a energia elétrica da oficina da empresa.

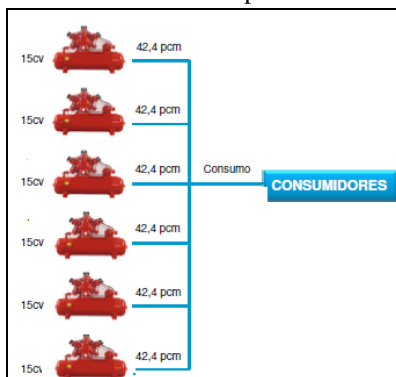
Por isso, o conhecimento do balanço energético característico deste sistema, pode contribuir muito para identificar as perdas que reduzem a eficiência. Pode também fornecer um ponto de partida para a identificação de oportunidades de melhoria e, através da implementação de ações, aumentar a eficiência energética.

É notável a importância do sistema de ar comprimido para a operação da oficina da empresa, portanto o foco específico do trabalho é o banco de compressores de ar comprimido da oficina da empresa.

A decisão por atuar em cima deste equipamento se deve ao grande impacto no consumo e custo com energia elétrica, característica própria desse tipo de equipamento.

## 2.1 Problematização

Figura 4 – Estrutura de compressores da oficina.



Fonte: Autor

O banco de compressores compõe uma capacidade instalada de 90 CV ou 66.240 Watts, e capacidade nominal de 254 PCM.

A seguir tem-se o resultado do diagnóstico realizado sobre o sistema de ar comprimido da oficina da Viação Garcia:

- a) O sistema de ar comprimido da empresa é formado por uma rede de compressores e uma rede de distribuição que opera há mais de 40 anos, sua manutenção é precária;

Figura 5 – Manutenção precária.



Fonte: Autor

- b) Os reservatórios não possuem homologação conforme estabelecido na norma regulamentadora (NR 13);

Figura 6 – Foto de um dos reservatórios.



Fonte: Autor

c) O sistema utiliza compressores de baixo rendimento;

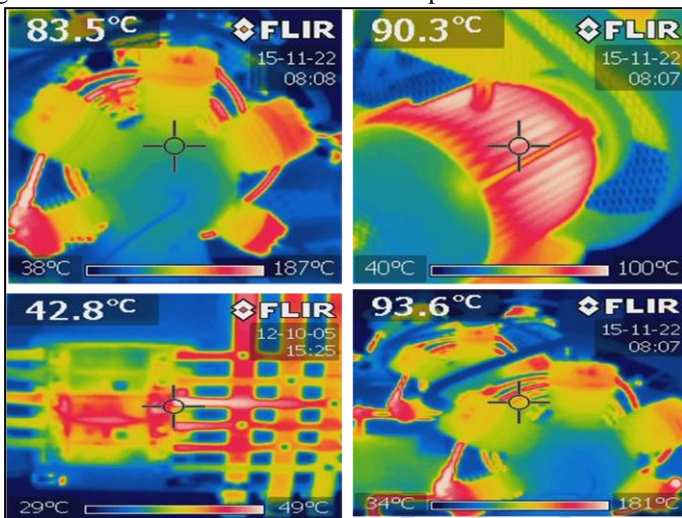
Figura 7 – Foto do banco de compressores.



Fonte: Autor

d) A má distribuição física dos equipamentos gera deficiência na captação do ar de aspiração, captando ar aquecido que aumenta o consumo de energia elétrica. Os motores estão fora do enquadramento de eficiência energética conforme tabela Procel;

Figura 8 – Foto termossensível de um compressor em funcionamento.



Fonte: Autor

Figura 9 – Partida direta dos motores, sequenciada em cascata.



Fonte: Autor

- e) Perda de pressão em toda a rede de distribuição e nos periféricos, acarretando a necessidade de trabalho quase ininterrupto do banco de compressores gerando consumo desnecessário;

Figura 10 – Mangueira com vazamento.



Fonte: Autor

- f) Falta de procedimentos de manutenção recorrente sobre os compressores, que, portanto trabalham ininterruptamente, mesmo em períodos onde não há demanda de consumo;

Figura 11 – Motor do compressor.



Fonte: Autor

- g) Por conta das deficiências, ocorre a concentração de umidade na rede de distribuição, demonstrando a necessidade de utilização de secadores eficientes, principalmente no setor de pintura veicular;

Figura 12 – Câmara de pintura.



Fonte: Autor

Figura 13 – Filtro.



Fonte: Autor

Toda a sequência de inconformidades apresentada necessita de atuação corretiva imediata, visando além da otimização do sistema, a aplicação de regulamentação legal e a implantação de plano de manutenção recorrente seguindo os critérios técnicos atualizados.

## 2.2 Objetivos

O objetivo deste estudo é analisar as inconformidades em um sistema de geração e distribuição de ar comprimido, visando otimizar seu funcionamento, de modo a obter resultados financeiros com a redução de consumo de energia elétrica em um instalação.

O estudo busca comparar financeiramente custos com manutenção da rede de compressores atualmente instalados na Viação Garcia, e determinar a viabilidade de implementação de reformas no sistema, a adoção de planos de manutenção específicos, e determinar a necessidade de investimentos de modo amplo na sistemática de operação da planta.

O estudo também consiste em conhecer custos e fazer a comparação entre manter o sistema atual, que é composto por compressores de deslocamento linear de baixo rendimento versus promover a substituição do banco de compressores por equipamentos com melhor rendimento (compressores de parafusos). O comparativo deverá ser validado posteriormente, logo que se derem as correções das inconformidades e deficiências avaliadas sobre o atual banco de compressores.

### 2.2.1 Objetivos Específicos

Para se alcançar o objetivo esperado, deve-se determinar o custo de operação do atual banco de compressores e compará-lo com o custo depois que as melhorias e correções forem implantadas. As ações a serem realizadas foram determinadas na fase de diagnóstico e são elas:

- a) Adequar o sistema de manutenção dos compressores;
- b) Testar eficiência de compressão dos compressores de acordo com manual do fabricante;
- c) Eliminar vazamentos na rede;
- d) Descentralizar compressores individuais para usos pontuais;
- e) Determinar faixa de horários para ligar e desligar a rede de compressores;
- f) Conhecer as diferentes necessidades de pressão necessárias para cada ambiente abastecido pela rede;
- g) Eliminar redes de distribuição ociosas;
- h) Eliminar redes de distribuição subterrâneas passíveis de perda de pressão;

Figura 14 – Tubulação subterrânea.



Fonte: Autor

- i) Adequar manutenção dos equipamentos de uso final;

Figura 15 – Ferramenta de uso final, manutenção precária.



Fonte: Autor

- j) Substituir ferramentas e máquinas operatrizes que utilizam outras fonte de energia (EX= bateria de Lítio).

## 2.3 Resultados e discussões

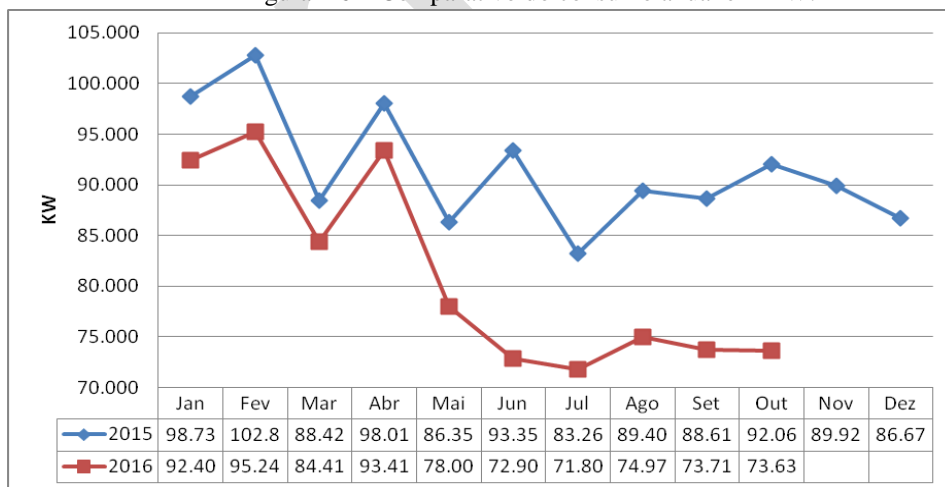
Após a realização do diagnóstico e levantamento de informações sobre o sistema atual, definiu-se o que deveria ser feito conforme elencado nos objetivos específicos (item 2.2.1). A partir daqueles objetivos específicos, iniciaram-se as atividades de mudança, conforme elencadas a seguir cronologicamente:

- a) Troca do banco de sete compressores de pistão por um compressor de “roscas” ATLAS COPCO, investimento que retorna em dois anos e meio;
- b) Desligamento de toda a linha de distribuição subterrânea antiga e com vazamentos expressivos. Foram desativados 130 metros de tubulação;
- c) Inativação e retirada de linhas de distribuição antigas já inoperantes;
- d) Instalação de compressor dedicado para ambientes onde a pressão deve ser maior, diminuindo a pressão na rede principal. Redução de 11bar para 9bar o que gerou economia em energia elétrica;
- e) Instalação de bicos redutores de vazão e pistolas redutoras de vazão, otimizando a utilização do ar comprimido nas pontas;
- f) Troca de jogos de reparos em 35 pontos de lubrífil, eliminando ainda mais os vazamentos;
- g) Implementação de procedimento de desligamento de compressores em períodos em que não há atividade na oficina (sábados, domingos e feriados);

- h) Implementação de procedimento de verificação periódica nas linhas de distribuição. Com a eliminação destes vazamentos a economia foi expressiva;
- i) Eliminação de três reservatórios que estavam fora da norma NR13, possível somente após a troca dos compressores e eliminação de vazamentos;
- j) Reunião para educação e esclarecimento da equipe sobre o ar comprimido, impactos do desperdício e cuidados com a segurança;

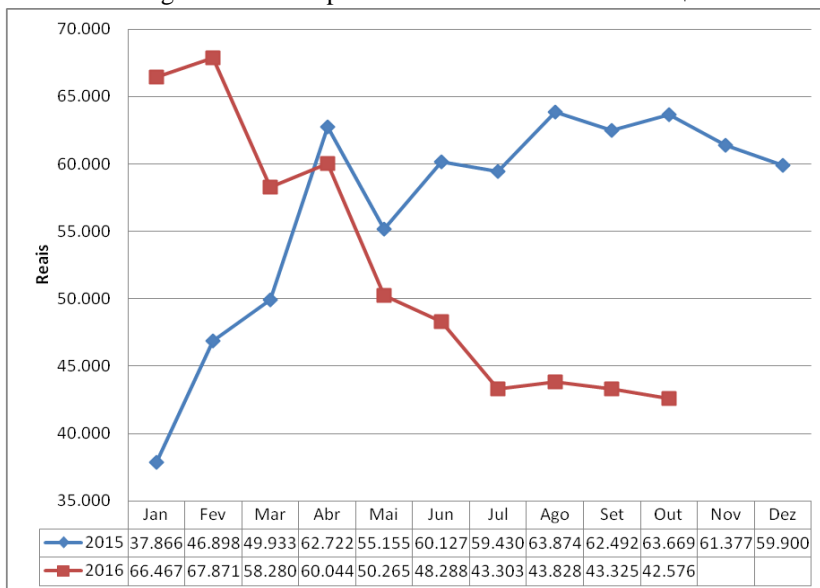
Conforme gráfico comparativo, de redução de uso de energia elétrica, a redução no consumo foi impactante expressiva.

Figura 16 – Comparativo do consumo anual em KW.



Fonte: Autor

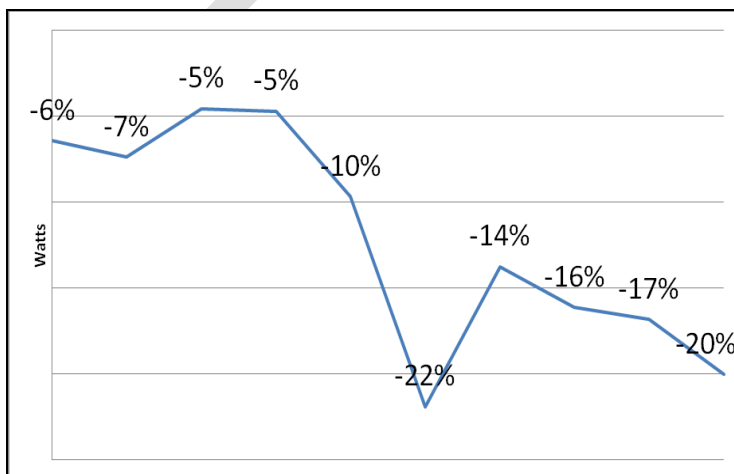
Figura 17 – Comparativo do consumo anual em R\$.



Fonte: Autor

Com os dados levantados dos anos de 2015 e 2016, e comparando mês a mês, tem-se a queda do consumo conforme gráfico demonstra a seguir.

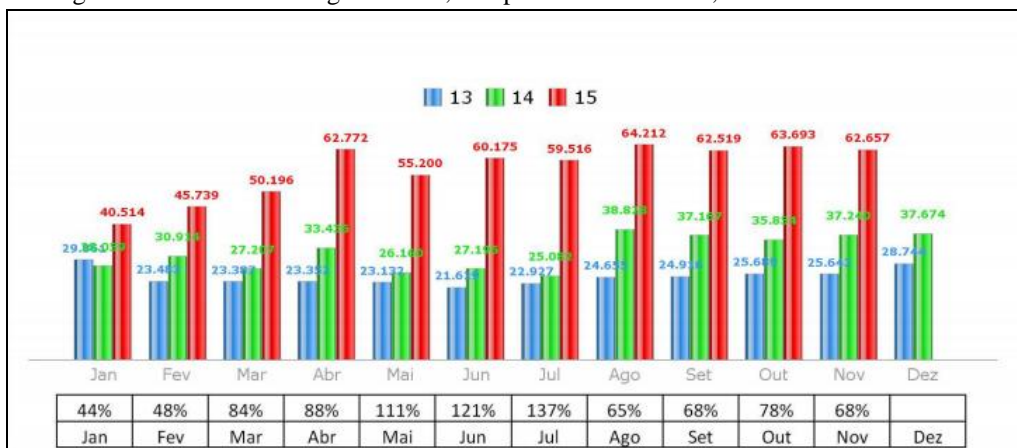
Figura 18 – Comparativo demonstrando queda do consumo mês a mês entre os anos de 2015 e 2016.



Fonte: Autor

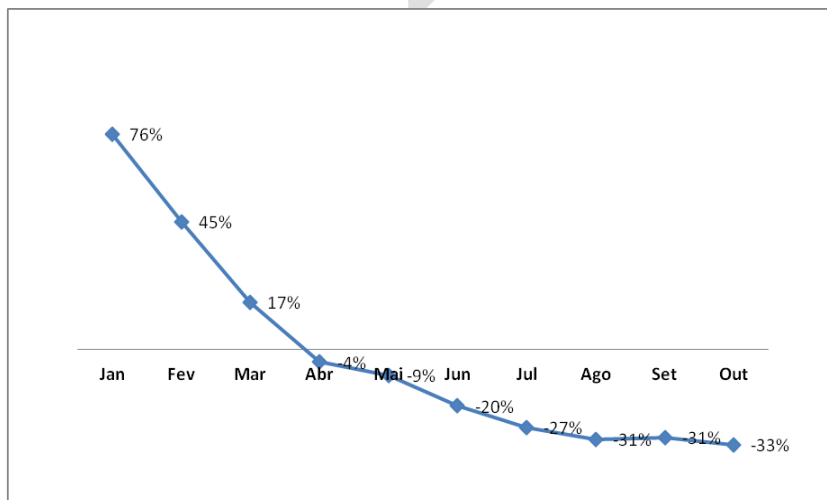
A seguir é mostrado o perfil da Viação Garcia do consumo de KW/h e de valores em Reais, onde mostra que mesmo diminuindo o consumo, o custo pago em R\$ pela energia elétrica dobrou em alguns períodos do ano por conta da alta do preço da energia elétrica.

Figura 19 – Custo de energia elétrica, comparativo entre 2013, 2014 e 2015.



Fonte: Autor

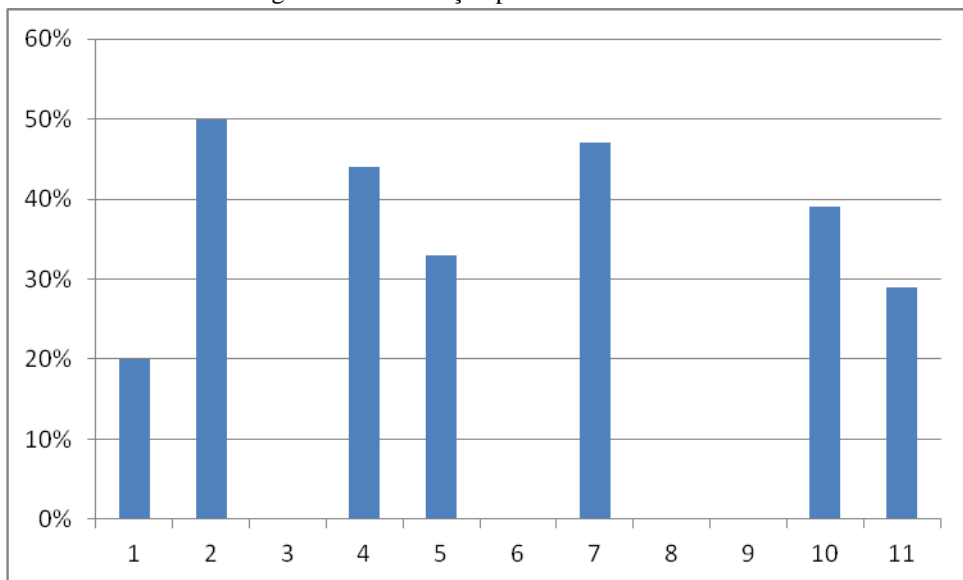
Figura 20 – Variação da despesa com energia elétrica, comparativo mês a mês entre 2015 e 2016.



Fonte: Autor

A seguir é mostrada a vazão de ar utilizado a cada hora do dia. Sendo 100% vazão máxima que o equipamento permite. Nota-se que o equipamento trabalha atualmente com capacidade ociosa.

Figura 21 – Utilização por hora do dia.



Fonte: Autor

### 3 CONCLUSÃO

Devido ao aumento do custo da energia elétrica ocorrida nos últimos períodos, as empresas sentiram a necessidade de implementar políticas internas e métodos para o uso mais racional e o aumento da eficiência no uso da energia elétrica, visando a redução de custos de produção.

Conforme consta no Manual de Eficiência Energética na indústria (COPEL 2009), um adequado projeto e um bom plano de operação de manutenção das instalações elétricas podem representar significativas economias de energia, assim como garantir boas condições para funcionamento e segurança e continuidade da produção.

Segundo Ilo da Silva Moreira (Sistemas Pneumáticos – 2012), os custos com ar comprimido podem crescer consideravelmente quando ocorrer vazamentos na rede distribuidora. Tendo um furo de 3,5 mm de diâmetro e sendo a pressão de 6 bar, na região do vazamento, indica uma vazão de 0,5m<sup>3</sup>/min, ou seja, 500 litros de ar comprimido vazando a cada minuto.

O presente estudo demonstrou que sistemas de ar comprimido quando mal projetados e com pouca manutenção preventiva e corretiva, geram desperdícios expressivos de energia elétrica. Os números entre as realidades do sistema anterior comparados aos números da realidade após as intervenções demonstram a importância do correto manuseio dos sistemas de ar comprimido.

# COMPRESSED AIR SYSTEM ADEQUACY

## Abstract

This case study presents the case of an auto motor shop that uses compressed air actuation in their maintenance services. This is an internal company's shop and is in charge for the entire company's bus fleet, since forty years ago, since then using an old and full of failures equipments. Through diagnoses and collecting data analysis, brings the actual electrical energy consumption and proposes an intervention in the compressed air bank among other improvements. Proposes a technical intervention including equipment and implementation costs. From the new installed structure, it was possible to generate important managerial information such as consumption of compressed air and electrical energy daily, weekly, monthly and annually, also were created preventive and corrective reports. The study include the activities done for the changes to happen. Also introduces a comparison between two scenarios. Being the old system costs and maintenance the scenario one, versus the cost of scenario two being the new structure implementation and maintenance. It concludes demonstration the economical and financial benefits taken operating in the new structure.

**Keywords:** compressed, efficiency, costs.

## REFERÊNCIAS

BARROS, Benjamim Ferreira de. **Gerenciamento de Energia**.2014.

BORGES NETO, MANUEL RANGEL. **Geração de Energia Elétrica**, 2013.

COPEL – **Manual de Eficiência Energética na Indústria** (2005).

EQUIPAMENTOS METALPLAN, O Tratamento de Ar comprimido como Fator de Redução de Custos na indústria. Disponível em, [http://www.pipesystem.com.br/Artigos Tecnicos/Tratamento Ar Comprimido Metalplan.pdf](http://www.pipesystem.com.br/Artigos_Tecnicos/Tratamento_Ar_Comprimido_Metalplan.pdf) >. Acesso em 19 out. 2016.

ILO DA SILA MOREIRA. **Sistemas Pneumáticos**, 2012.

MANUAL PRÁTICO – **Eficiência Energética em Sistemas de Ar Comprimido** –Eletrobrás / Procel.

MYKA COMPRESSORES. Disponível em:<<http://mykacompressores.com.br/quanto-custa-o-ar-comprimido>>. Acesso em 19 out. 2016.

PROCEL. **Eficiência Energética em Sistemas de Ar Comprimido**. Manual Prático, 2005.

S.A. AIR SOLUTIONS. Ar Comprimido, Gerenciamento e Avaliação. Disponível em < [http://www.cba-automacao.com.br/pdf/gerenciamento e avaliacao.pdf](http://www.cba-automacao.com.br/pdf/gerenciamento_e_avaliacao.pdf) >. Acesso em 19 out. 2016.

# APLICAÇÃO DA TÉCNICA DA QUANTIDADE MÍNIMA DE LUBRIFICAÇÃO (MQL) NO TORNEAMENTO AÇO ABNT 1020: ANÁLISE DAS PROPRIEDADES TRIBOLÓGICAS

<RENAN CEZAR FRANCO><sup>1</sup>

<ADRIANA GISELI LEITE CARVALHO><sup>2</sup>

<ANTÔNIO CARLOS RODRIGUES><sup>3</sup>

## Resumo

O presente trabalho possui o intuito de apresentar uma visão ampla a respeito da importância do fluido de corte na indústria metal-mecânica, comparando dois tipos de fluidos de corte diferentes, fluido sintético e fluido biodegradável utilizando a técnica da quantidade mínima da lubrificação, aplicada em um processo de usinagem visando diagnosticar a qualidade da peça usinada. A metodologia utilizada foi submeter corpos de prova ABNT 1020 a dois processos de usinagem, tais como, acabamento e desgaste e logo após aplicar os testes de rugosidade superficial e dureza. Os ensaios permitiram analisar os parâmetros de velocidade de corte, velocidade de avanço, rotação por minuto e a influência da rugosidade, ou seja, o acabamento superficial da peça usinada. Com base em dados obtidos nos testes, comparando os dois tipos de fluidos de corte, foi diagnosticado que os parâmetros de usinagem não apresentam grande diferença entre ambos os fluidos, porém pode se identificar uma melhor qualidade do processo ao utilizar o fluido biodegradável, proporcionando uma boa lubrificação e uma ótima refrigeração e sem proporcionar odores e vapores tóxicos presentes no processo com o uso de fluido sintético.

**Palavras-chave:** Fluidos de corte. Usinagem. Qualidade.

---

<sup>1</sup> Graduando em Tecnologia e Manutenção Industrial pelo SENAI

<sup>2</sup> Mestre – Faculdade de Tecnologia Senai Londrina. E-mail: [adriana.carvalho@pr.senai.br](mailto:adriana.carvalho@pr.senai.br)

<sup>3</sup> Especialista – Faculdade de Tecnologia Senai Londrina. E-mail: [antonio.rodriques@pr.senai.br](mailto:antonio.rodriques@pr.senai.br)

# 1 INTRODUÇÃO

Na indústria de manufatura, os processos são realizados por meio da conformação mecânica ou da usinagem, comumente, estes processos atuam em uma mesma peça. Por se tratar de um dos processos mais utilizados, a usinagem abrange a maior parte dos produtos industrializados, pois, em alguma parte de suas etapas de produção, ou até mesmo em processos de melhoria da qualidade superficial das peças são feitos por usinagem.

O que caracteriza o processo de usinagem é a transformação de matéria-prima em produto por meio da remoção de material na forma de cavacos (SANTOS; SALES, 2007). Na realização do processo, ocorre a interação entre a superfície da peça e uma ferramenta de corte. Nessa região de contato, existe a presença do atrito que, conseqüentemente, pode gerar desgaste prematuro na ferramenta de corte, além de gerar um acabamento superficial que comprometa o dimensional da peça.

Desde a pré-história, os seres humanos exerciam algum tipo de usinagem, como processamento de pedras e metais. Assim, as peças foram se tornando cada vez mais elaboradas até chegarem à construção de máquinas simples e eficientes. A busca por mecanizar processos manuais é muito grande por parte da sociedade no decorrer dos anos, de forma que hoje é impossível imaginar o mundo sem o uso de máquinas operatrizes.

Embora esse ícone faça parte da nossa era, a sua origem vem das primeiras civilizações, onde povos da mesopotâmia utilizavam tornos rudimentares para fabricação de móveis e objetos cotidianos. O material predominante era a madeira e, no decorrer do tempo, o metal foi ganhando cada vez mais importância, de maneira que foram surgindo novas técnicas e

ferramentas. A máquina mais antiga que se enquadra nesses termos é uma mandriladora de canhões de bronze, do século XVI, XVII e XVIII (ABIMAQ, 2006). De acordo com essa evolução, as máquinas e os processos foram evoluindo cada vez mais e, por conseguinte, foram necessitando cada vez mais de melhorias nos processos.

Nos processos de usinagem, as máquinas necessitam de ferramentas de corte, e estas ficam em contato com a superfície do material durante o trabalho. Sempre que duas superfícies se movimentarem, uma em relação à outra, ocorrerá o atrito, que poderá levar ao desgaste, sendo que este pode ser definido como um prejuízo mecânico a uma ou às duas superfícies, geralmente envolvendo perda progressiva de material. Em muitos casos, o desgaste é severamente prejudicial, levando a um aumento contínuo da folga entre as partes que se movimentam ou a uma indesejável liberdade de movimento e perda de precisão.

Um meio de simular um determinado desgaste ocasionado pelo atrito em um material é por meio de testes, a tribologia vem de encontro a este aspecto, sendo uma ciência que o conhecimento adquirido vem da física, da química, da mecânica e da ciência dos materiais para explicar e prever o comportamento de sistemas físicos que são usados em sistemas mecânicos (DINIZ; MARCONDES; COPPINI, 2013).

Uma das formas de minimizar os efeitos do atrito na região de corte é a partir da utilização dos lubrificantes que atuam como melhoria no processo, que envolvem o desgaste da ferramenta e má conformidade da peça. Suas principais funções são refrigerar em altas velocidades e lubrificar em baixas velocidades de corte (SANTOS; SALES, 2007).

Na indústria metal-mecânica, a usinagem é um aspecto comum no ambiente de trabalho, esse processo sofre melhorias no decorrer do tempo, sendo uma delas o uso de fluídos, que influenciam de forma positiva no andamento do processo.

Porém, essa melhoria vem com algumas consequências, algumas delas são os efeitos causados no meio ambiente e os danos à saúde do ser humano, os custos referentes aos fluídos de corte, o perigo à saúde do operador e a crescente severidade da legislação quanto aos descartes industriais que tem pressionado as indústrias a reverem suas produções, compatibilizando-as com as exigências das normas e da sociedade.

De acordo com Pusavec (2010), 39 milhões de toneladas de fluídos são utilizados em máquinas, o que representa um aumento de 1,2% por década e gera consumo de água causando danos ao meio ambiente. Segundo os dados de Souza (2010), uma família de 4 pessoas consome, em média, 22m<sup>3</sup> de água/mês. Comparando esses dados com o processo de usinagem, pode-se identificar o desperdício de água ocasionado, onde em um processo de desbaste o uso de água é de 8,3m<sup>3</sup>/hora e em um processo de acabamento 9,2m<sup>3</sup>/hora.

A não utilização de fluídos de corte retira da usinagem os seus benefícios, que são: a lubrificação, a refrigeração e a remoção dos cavacos gerados. Isso significa que há mais atrito e adesão entre a ferramenta e a peça, que são submetidas a uma maior carga térmica, o que pode resultar em níveis mais altos de desgaste da ferramenta e prejudicar a qualidade superficial e geométrica das peças.

O presente trabalho mostrará como o fluído de corte aplicado junto a técnica da quantidade mínima de lubrificação é um fator importante na

usinagem de materiais e como a substituição dos fluídos sintéticos por fluídos biodegradáveis podem alcançar a exigências de um processo de usinagem e demonstrar características satisfatórias em relação a economia, saúde do ser humano e a redução do efeito causado no meio ambiente.

## **2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA**

### **2.1 TRIBOLOGIA**

De origem grega, a palavra tribologia se divide em duas partes: tribos (atrito) e logia (estudo). Assim, o estudo da tribologia se ocupa, essencialmente, em operar na redução do atrito entre duas superfícies em movimento relativo entre si. Logo, de acordo com Alves (2014 apud BHUSHAN, 1999), a tribologia vem com a finalidade não somente de reduzir o atrito, mas também de eliminar as perdas de material e desgastes de ferramentas e gerar uma economia maior para a indústria. O que unifica a tribologia não são os conhecimentos básicos, mas sim a área de aplicação. Assim, como os campos do conhecimento que formam a tribologia existiam antes da sua formação, os estudos dos fenômenos de lubrificação, atrito e desgaste antecedem 1966, que foi o marco de estudos da tribologia em relação aos possíveis impactos econômicos.

O equipamento utilizado para realizar os ensaios tribológicos em materiais é o tribômetro, que tem por objetivo simular os esforços e movimentos gerados por duas superfícies em contato, além de medir as propriedades de atrito e desgaste de combinações de materiais e lubrificantes.

Este método de ensaio pode ser aplicado em diversas áreas, tais como: mecânica, automotiva, aeroespacial, eletrônica, biomédica entre outras. Possibilita com que várias vezes o efeito de desgaste causado pelo atrito possa ser avaliado, atribuindo os resultados almejados em uma determinada peça (ALVES, 2014).

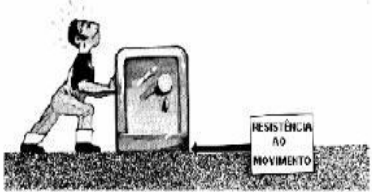



Tal ciência é de grande importância para as diversas áreas tecnológicas, levando em conta que o desgaste demasiado em dispositivos mecânicos pode diminuir o processo fabril, desse modo, elevando os custos da manutenção e os ensaios tribológicos possibilitam evidência por meio do controle das condições de desgaste do material.

## 2.2 ATRITO

O atrito é a interação entre as superfícies dos corpos que estão em contato entre si e em movimento relativo, ou seja, é o resultado do contato entre duas superfícies movendo-se uma em relação a outra, sendo a resistência a esse movimento que causa o atrito. Esse fator acontece mesmo possuindo duas superfícies lisas e polidas que, por meio da visão e do tato não é possível identificar, por suas saliências e reentrâncias muito pequenas (picos e vales), que dificultam o deslizamento da superfície, gerando o atrito.

Sempre que duas superfícies se movimentarem, uma em relação a outra, ocorrerá o atrito, que poderá levar ao desgaste, sendo que este pode ser definido como um prejuízo mecânico a uma ou às duas superfícies, geralmente envolvendo perda progressiva de material (SANTOS; SALES, 2007). Adaptado de Santos e Sales (2007), o quadro 1 ilustra os principais tipos de atrito, bem como a sua ocorrência.

**Quadro 1.** Tipos de Atrito.

Tipo Atrito	Ilustração	Ocorrência
Sólido		Quando há contato entre duas superfícies sólidas.
Deslizamento		Quando uma superfície se desloca diretamente em contato com a outra.
Rolamento		Quando o deslocamento acontece por meio da rotação de corpos cilíndricos ou esféricos.
Fluído		Quando existe uma camada fluida entre as duas peças.

Fonte: Adaptado de SANTOS e SALES (2007).

As superfícies sólidas, mesmo as mais polidas, apresentam irregularidades. Assim, o modo como as superfícies interagem, caracteriza o atrito. Uma das formas de minimizar os efeitos do atrito é a partir da utilização dos lubrificantes que atuam nesse processo como melhoria no desgaste da ferramenta. Por lubrificantes compreende-se todo o material que interpõe entre superfícies, formando uma película que evita ou ameniza contato entre ambas as partes.

### 2.3 PROCESSOS DE USINAGEM

O processo de usinagem é a transformação da matéria prima em produto por meio de remoção de matéria na forma de cavacos. É dividida em duas categorias, de acordo com a energia empregada: uma delas é a usinagem tradicional, ou também chamada convencional, em que o material é retirado por cisalhamento por meio da ação de uma ferramenta de corte.

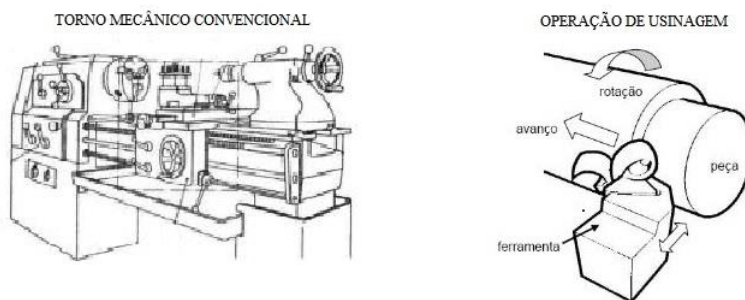
Existem vários processos, como torneamento, fresamento, furacão, alargamento, rosqueamento, retificação, brochamento, etc. Tais processos necessitam de uma ferramenta de corte para remoção de material, sendo esta constituída de um material mais duro e mecanicamente mais resiste que a peça.

Este estudo terá como foco o processo de torneamento que consiste em retirar progressivamente o cavaco da peça trabalhada. No torneamento a ferramenta penetra na peça por meio de um movimento rotativo ao redor do eixo, permitindo um corte regular do material. O torneamento só é possível por meio de três movimentos entre a peça e a ferramenta, sendo eles: movimento de corte, movimento de avanço e o movimento de penetração.

O movimento de corte é o principal que permite o corte do material de maneira rotativa, realizado pela peça. Em segundo, o movimento de avançando é o de deslocamento da ferramenta em relação à superfície da peça. Por último, o movimento de penetração determina a profundidade de corte, empurrando a ferramenta em direção à peça, assim, regulando a profundidade do passe e a espessura do cavaco.

A figura 1 ilustra a máquina que é um torno mecânico convencional Nardini 650, e o processo de torneamento de uma peça, em que se demonstra a cinética do processo, sendo os movimentos de rotação, avanço e ao sentido de percurso da ferramenta.

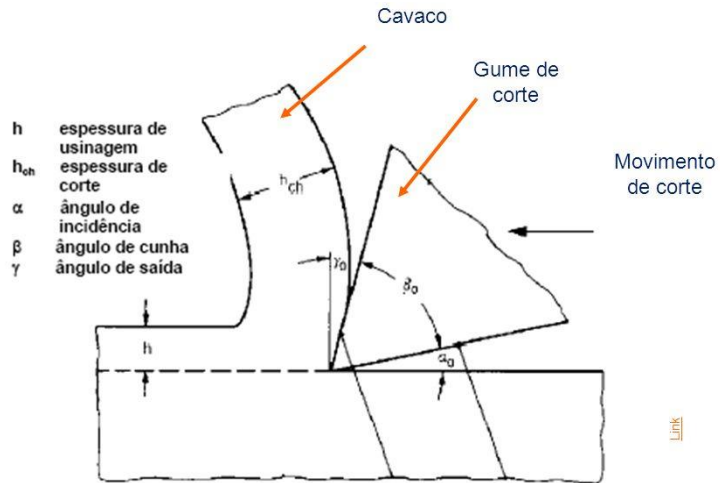
**Figura 1.** Torno mecânico convencional e operação de usinagem.



Fonte: Adaptado de SOUZA (2010).

Os tipos mais comuns de ferramentas de corte são o aço carbono, aço rápido, metal duro e cerâmica; cada um com seu objetivo e característica de usinagem (MACHADO et al., 2011). A seguir, a figura 2 exemplifica a geometria da ferramenta de corte:

**Figura 2.** Geometria da ferramenta de corte.



Fonte: LIMA (2016).

A ferramenta de corte tem sua vida útil de acordo com a eficiência em que ela trabalha, até perder sua capacidade de corte. Ao atingir um tempo previamente estabelecido, a ferramenta deve ser afiada ou trocada para próximas usinagens. O desgaste das ferramentas tem influência principalmente da velocidade de corte, pelo avanço, pelos fluidos refrigerantes que são aplicados no momento da usinagem e também pela profundidade de usinagem em que a ferramenta é submetida.

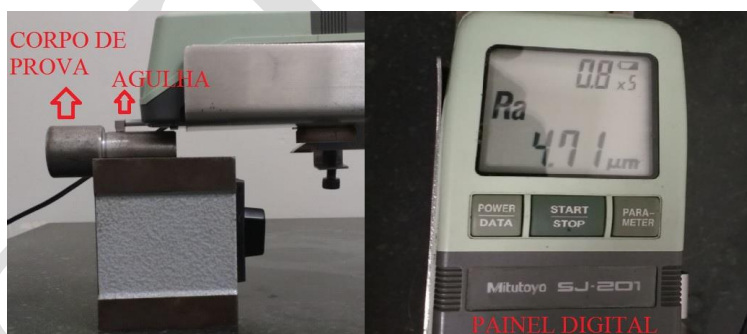
## 2.4 RUGOSIDADE SUPERFICIAL

A superfície dos componentes mecânicos deve ser adequada às funções que exercem. Conforme aumentam as exigências dos projetos mecânicos, aumenta-se também a importância do estudo do acabamento superficial. A rugosidade superficial é o conjunto de irregularidades nas

peças, ou seja, saliências e reentrâncias (picos e vales). A rugosidade interfere na qualidade do deslizamento, na resistência ao desgaste, na aparência, na resistência oferecida pela superfície ao escoamento dos fluidos lubrificantes, entre outros.

Essas irregularidades são avaliadas com o auxílio de aparelhos eletrônicos, como o rugosímetro, que opera por meio do processo de percorrer a superfície com o apalpador acompanhado de um guia. Enquanto o apalpador acompanha a rugosidade, a guia acompanha as ondulações na superfície. Em conjunto, o movimento da agulha é transformado em impulsos elétricos e registrado no mostrador do gráfico. Na figura 3 ilustra-se o aparelho utilizado para os testes e de rugosidade

**Figura 3.** Rugosímetro.

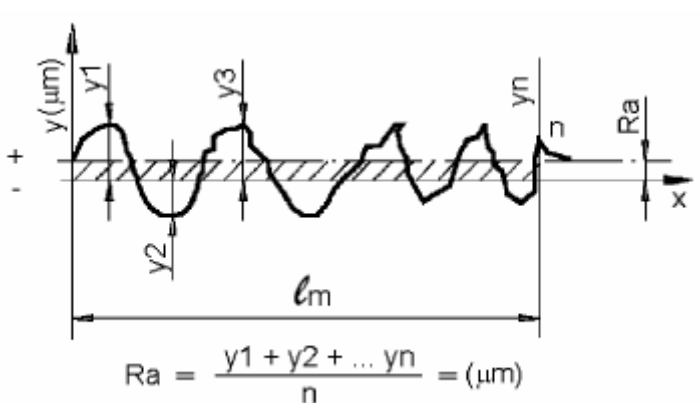


Fonte: autor.

O parâmetro utilizado para o ensaio de rugosidade, é o parâmetro Ra, que é a media dos valores absolutos das ordenadas de afastamento ( $y_i$ ) dos pontos do perfil de rugosidade em relação a linha media, dentro do percurso de medição (lm). Essa grandeza pode corresponder a altura de um retângulo, cuja área é igual a soma absoluta das áreas delimitadas pelo perfil de

rugosidade e pela linha média, tendo comprimento o percurso de medição (lm). Na figura 4 ilustra o parâmetro utilizado para a medição de rugosidade.

**Figura 4.** Parâmetro de Rugosidade.



Fonte: Adaptado de (ROSA, 2009).

O parâmetro Ra é usado quando necessário um controle contínuo da rugosidade nas linhas de produção, em superfícies que o acabamento apresenta sulcos de usinagem e em superfícies de pouca exigência, onde o acabamento é feito apenas para fins estéticos.

## 2.5 FLUÍDOS DE CORTE

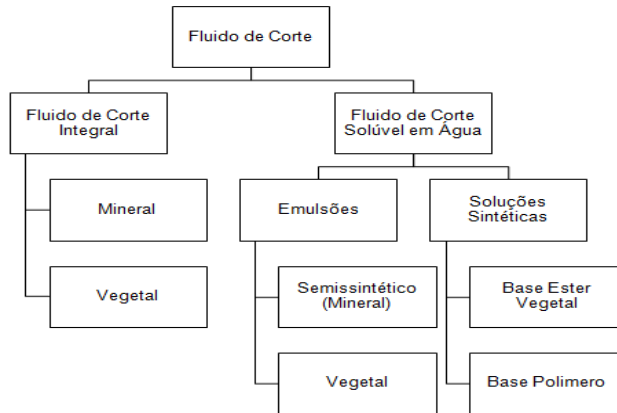
De acordo com Diniz, Marcondes e Coppini (2013), o primeiro pesquisador a identificar a influência do fluido de corte durante o processo de usinagem foi o americano F. W. Taylor (1894). A verificação de Taylor foi realizada ao derramar grande quantidade de água na peça usinada, assim, ele obteve o resultado de maior velocidade no processo de corte com o

percentual 33% sem prejuízo para a ferramenta. A sua ideia surgiu da necessidade de diminuir a alta temperatura sobre a ferramenta de corte, compreendendo que a água levaria consigo boa parte do calor gerado pelo atrito da ferramenta com o material a ser usinado.

O emprego de fluídos de corte melhora a eficiência dos processos de usinagem proporcionando aumento da vida útil da ferramenta de corte, maior controle nas tolerâncias dimensionais, melhoria no acabamento da peça usinada, promove a redução de forças de usinagem e amenização de vibrações (SANTOS, 2011 apud RODRIGUES; RODRIGUES, 2005 apud STEMMER, 2005). As melhorias causadas pelo uso de fluídos de corte em todo o processo de usinagem vem por meio de estudos realizados para fabricação dos mesmos.

Na atualidade, esses fluídos apresentam melhores propriedades lubrificantes, propriedades refrigerantes e menos perigo ao operador, com uma duração elevada com menos problemas de armazenamento relacionados aos fluídos de cortes passados. Os fluídos de corte podem ser classificados em dois grupos distintos: óleos integrais e emulsões aquosas. A figura 5 ilustra esta classificação.

**Figura 5.** Tipos de Fluido de Corte.



Fonte: Adaptada de RUNGE e DUARTE (1990).

Sobre os fluídos de corte sintéticos, também chamados de soluções, são compostos monofásicos de óleos que dissolvem completamente na água e são isentos de óleos minerais, constituídos por sais orgânicos e inorgânicos, aditivos de lubrificação, biocidas e inibidores de corrosão. Oferecem boa proteção anticorrosiva e refrigerante, mas, por outro lado, oferece danos à saúde, podendo causar doenças cancerígenas e danos ao meio ambiente caso seu descarte for inadequado.

Com um olhar voltado para questões ambientais, os fluídos de corte biodegradável são indispensáveis à usinagem e apresentam diversas funções, como melhorar o acabamento, reduzir o atrito, refrigerar a ferramenta e a peça, reduzir a névoa, entre outras. Sem eles, questões como a temperatura, o rendimento e a precisão do processo ficariam comprometidas.

Por tratar do corte de materiais duros, normalmente, os fluídos de corte são desenvolvidos com elementos fortes – como cloro, fenóis, metais etc. Um dos grandes desafios industriais é utilizar um fluído de corte que seja

ao mesmo tempo produtivo, seguro e ecologicamente correto. O fluido de corte biodegradável vem para atender essa questão, possibilitando qualidade a todo o processo de usinagem, conservando a peça e deixando-a livre de oxidação. Suas características são: atóxico, inodoro, ecológico, biodegradável e não inflamável, na maioria dos casos suas fontes de produção são fontes renováveis.

De acordo com a norma ABNT8418/84, na qual os fluídos de corte são considerados como resíduos de processamento, são especificados todos os quesitos básicos para acondicionamento, cadastramento, reciclagem e demais condições para a melhor utilização destes sem consideráveis consequências ao meio ambiente. Deseja-se que a água resultante do descarte da emulsão não contenha produtos agressivos à fauna e à flora aquática, para isso é necessário que a formulação dos fluídos possua componentes que facilitem e reduzam o custo do descarte. É desejável a sua ausência ou a presença de quantidade mínima, isso se consegue por meio de fluídos com materiais duros ao ataque por microorganismos, para que biocidas não sejam necessários. Porém, o fluido deve ser utilizado apenas em quantidades mínimas, para fazer com que as emulsões durem o maior tempo possível, reduzindo ao mínimo a quantidade descarte no meio ambiente.

## 2.6 QUANTIDADE MÍNIMA DE FLUÍDO (MQL)

A técnica de MQL consiste na utilização de uma quantidade mínima de fluido na região de corte com o objetivo de lubrificar e reduzir o atrito entre a ferramenta e a peça. A adoção desta técnica exige uma criteriosa análise e adequação de todos os fatores influentes no processo. O vapor, a

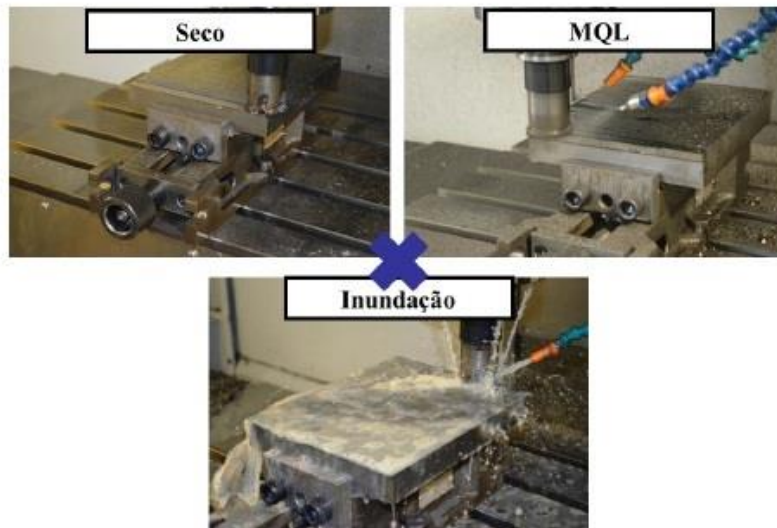
névoa e a fumaça de óleo podem ser considerados subprodutos indesejáveis, os quais caracterizam um aumento de poluição suspensa no ar, tornando-se, assim, um fator de preocupação. De acordo com Diniz, Marcondes e Coppini (2013), em 1992 na Alemanha, o volume de descarte de óleo utilizados em processos de transformação metal-mecânica representou aproximadamente 60% do consumo total de lubrificantes, o equivalente a 1.151.312 t/ano. Isto envolve um custo significativo que varia de 7,5% a 17% dos custos de fabricação por peça, superior, até mesmo, aos custos relativos ao ferramental.

Assim, utilizando a técnica MQL, os custos, com a parte ferramental, aumentam, porém, comparando com os custos do processo convencional, acaba sendo vantajoso optar por esta técnica, já que o custo total de fabricação do processo convencional é elevado.

Juntamente com a técnica MQL, os fabricantes têm desenvolvido fluídos com vida útil maior, para que seja diminuído o descarte, causando menos danos ao operador e ainda manter as suas características de refrigerar e lubrificar o material no processo de usinagem.

A usinagem pode ser realizada a seco (sem fluído), com fluído em abundância ou pela técnica de MQL. A figura 6 demonstra a usinagem a seco (sem fluído de corte), técnica de MQL e por inundação.

**Figura 6.** Técnicas de Aplicação do Fluido de Corte.



Fonte: SOUZA (2014).

Técnicas são utilizadas para a redução dos impactos que os fluídos oferecem ao meio ambiente, uma delas é a MQL, que, como citado acima, é a utilização mínima do fluído de corte para o processo de usinagem. A outra técnica é a usinagem a seco, sem nenhum tipo de fluído. Por último, a convencional é realizada por inundação, ou seja, uma maior quantidade de fluídos.

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

A pesquisa bibliográfica baseou-se nos parâmetros e processos relacionados à usinagem, ferramentas de corte, fluídos de corte, MQL, para fazer um comparativo entre dois tipos de fluídos, sendo eles o biodegradável e o sintético. Visando o objetivo deste estudo, realizou-se experimentos no

processo de torneamento em que, posteriormente, os corpos de prova foram submetidos a testes de rugosidade e de dureza.

O teste de rugosidade avalia as características obtidas por meio do processo de torneamento, levando em consideração acabamento e desgaste e comparando os dois tipos de fluídos. Como o processo de torneamento aumenta a temperatura no material usinado, a aplicação do teste de dureza foi fundamental para identificar a característica que cada tipo de fluído emprega no material usinado, tendo como característica principal a temperatura de corte. A seguir, serão relacionados às demais máquinas, equipamentos e ferramentas utilizadas para os ensaios.

### 3.1 MÁQUINA

Foi utilizado como instrumento de teste um torno mecânico de modelo Nardini NDT 650, com diâmetro de 650 x 2200mm, tensão de 220 volts, amperagem de 30A e frequência de 60z. Muito utilizado para manufatura de peças em escala menor de volume, bem como para fabricação de peças de reposição para manutenção. A figura 7 ilustra o torno utilizado para realizar os ensaios.

**Figura 7.** Torno mecânico.



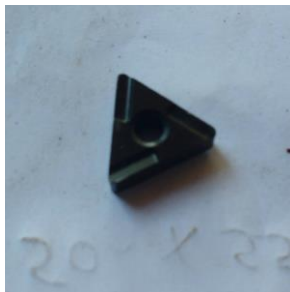
Fonte: autor.

Apesar do CNC ser a máquina mais utilizada na produção de peças em grande escala, em que a técnica MQL destaca-se, a proposta do torno convencional é abranger um sistema de produção em baixas escalas ou na fabricação de peças de reposição para manutenção, em que necessita de uma boa qualidade na peça.

### 3.2 FERRAMENTAS DE CORTE

Na usinagem dos corpos de prova foi utilizada uma ferramenta de corte de metal duro para desbaste da Sandvik Coromant, com raio de 0,4mm, ângulo de aresta 95°, diâmetro do círculo inscrito de 6,35mm e comprimento efetivo da aresta de corte de 2,58mm. A figura 8 demonstra a pastilha de metal duro utilizada na usinagem e a tabela 1 abaixo mostra os dados relativos sobre os parâmetros de corte.

**Figura 8.** Pastilha de Metal Duro.



Fonte: autor.

**Tabela 1.** Parâmetros de corte.

Parâmetros	Operação	
	D esbaste	Acabamento
Rotação por minuto (rpm)	400	800
Avanço de corte (mm/volta)	0,25	0,1
Velocidade de Corte (m/min)	3	62,8

Fonte: autor

A ferramenta de corte usada para a usinagem de desbaste e acabamento foram as mesmas, tanto para aplicação do fluido de corte sintético como o fluido biodegradável nos corpos de prova ABNT 1020.

### 3.3 CORPOS DE PROVA

Corpos de prova cilíndricos foram utilizados para a realização dos testes aplicados como técnicas de desbaste e acabamento, feitos de material aço ABNT1020, com dimensões de Ø25mm x 63mm conforme a figura 9.

**Figura 9.** Corpos de prova.



Fonte: autor.

Algumas das características deste material, podem se destacar a boa soldabilidade, boa forjabilidade, baixa resistência mecânica e baixa usinabilidade. As suas aplicações são em diversas áreas, algumas delas são na indústria agrícola, automobilística, de máquinas e equipamentos.

### 3.4 FLUÍDO REFRIGERANTE

#### 3.4.1 *Fluído Biodegradavel*

Para a aplicação dos testes, foi utilizado o fluído biolubrificante de usinagem isento de qualquer tipo de óleo, desenvolvido com matérias-primas de fontes renováveis, isento de vapores tóxicos, e biodegradável. As suas características são o fator atóxico, com densidade de 0,95 – 1,05 kg/l, com a composição biolubrificante, aditivos e veículo. Um recipiente de vinte litros desse fluído custa em média trezentos e cinquenta reais.

Na figura 10 e no quadro 2, ilustra-se ao tipo do fluído e suas características físico-químicas.

**Figura 10.** Fluído biolubrificante.



Fonte: autor.

**Quadro 2.** Características físico-químicas do fluído Biolubrificante.

Item	Característica
Aspecto-visual	Líquido viscoso levemente esverdeado
Toxicidade	Atóxico
Densidade	0,95
Composição	Biolubrificantes, aditivos e veículo

Fonte: Adaptado de BONDMANN.

Esse determinado fluído possibilita uma boa usinagem, amenizando a temperatura gerada pelo atrito peça-ferramenta. Suas vantagens são a proteção contra a oxidação, resistência ao ataque de micro-organismos e fungos, aumenta da vida útil das ferramentas, biodegradável, entre outros. Além disso, por conta da sua composição ser de fontes renováveis, logo, um produto sustentável, com fácil descarte e reutilização, torna-se de suma importância para o meio ambiente.

### 3.4.2 Fluído Sintético

Foi utilizado também para os testes o fluído sintético solúvel, STRONG CORT2000. Composto de lubrificante polímero solúvel em água mais aditivos, em sua composição encontram-se matérias-primas nobres testadas e selecionadas para permitir a eficácia do produto. Um recipiente de vinte litros desse fluído custa em média quatrocentos reais. Na figura 11 e no quadro 3, ilustra-se o tipo de fluído e as suas características.

**Figura 11.** Fluído Sintético Solúvel.



Fonte: autor.

**Quadro 3.** Características físico-químicas do fluído Sintético Solúvel.

Item	Característica
Aspecto-visual	Amarelo Esverdeado
Toxicidade	Tóxico
Densidade	1,065 g/cm <sup>3</sup>

O uso deste fluído é comum em operações de usinagem de metais ferrosos e não ferrosos, tais como furar, rosquear, serrar, brunir, entre outras. As suas vantagens, por ser isento de nitrito, fenóis, óleos minerais, cloro e enxofre, oferecem uma maior segurança à saúde do operador e ao meio ambiente, diminuindo os riscos do uso e do descarte. Possui uma excelente resistência a ação de microorganismos, um alto poder anticorrosivo e pouca formulação de espuma.

### 3.5 APLICAÇÃO DO FLUÍDO (TÉCNICA MQL)

O dispositivo confeccionado para aplicação do fluído refrigerante, contendo uma bomba de combustível automotivo 12V, um reservatório de 500ml para armazenar o fluído, mangueiras de entrada e saída do fluído e uma bateria 12v para ativar o funcionamento. Este dispositivo é acoplado ao torno convencional em que se aplica a técnica MQL no material a ser estudado. Na figura 12, ilustra-se o dispositivo e os seus componentes.

**Figura 12.** Dispositivo de aplicação do fluído (MQL).



Fonte: autor.

O dispositivo acima permite fácil adaptação nas máquinas convencionais, em que se aplica a técnica MQL, podendo obter um controle de vazão e pressão no sistema. O dispositivo possui um custo barato e de fácil construção, a sua parte elétrica é simples, porém, podem ser adicionados outros dispositivos para melhor eficiência no processo.

### 3.6 RUGOSIDADE SUPERFICIAL

Ao aplicar o teste de rugosidade no corpo de prova por meio do aparelho rugosímetro, seguindo a norma ABNT – NBR 8404/1984, em que consegue identificar os tipos de estado da superfície e compará-los de acordo com os tipos de fluídos aplicados em cada corpo de prova. Na figura 13, ilustra-se o equipamento de medição, o corpo de prova já usinado.

**Figura 13.** Ensaio de rugosidade.



Fonte: autor.

A superfície da peça apresenta perfis diferentes entre si, as saliências e reentrâncias são irregulares, e para obter um acabamento adequado é necessário determinar um nível em que elas devem ser usinadas, adotando um parâmetro para avaliar a rugosidade. Esse parâmetro é conhecido como rugosidade média (RA), que é a média dos valores absolutos das ordenadas de afastamento dos pontos do perfil de rugosidade em relação à linha média dentro do percurso de medição. É ilustrada por um triângulo cuja área é igual à soma absoluta das áreas delimitadas pela rugosidade e pela linha média, tendo por comprimento o percurso de medição.

A vantagem é que esse parâmetro é o mais utilizado, aplicado à maioria dos processos. Porém, a sua desvantagem é a falta de distinção entre picos e vales, e, para alguns processos com frequência muito alta de vales ou de picos, no caso dos sinterizados, o parâmetro não é adequado, pois ocorre uma distorção provocada pelo filtro e eleva o erro a altos níveis.

No quadro 4, apresenta-se os valores para o tamanho da amostragem para realizar a medição de rugosidade (RA).

**Quadro 4.** Comprimento da amostragem.

RUGOSIDADE RA (mm)	MÍNIMO COMPRIMENTO DE AMOSTRAGEM L (CUT OFF) (mm)
De 0 até 0,1	0,25
Maior que 0,1 até 2,0	0,80
Maior que 2,0 até 10,0	2,50
Maior que 10,0	8,00

Fonte: FERRARI, 2014.

Este quadro representa uma classificação de rugosidade e o tamanho mínimo do comprimento da amostragem para a realização dos ensaios e para definir em qual classificação de rugosidade o material a ser testado se encaixa.

### 3.7 ENSAIO DE DUREZA

Para caracterizar a dureza dos materiais que já passaram pelo processo de usinagem sofrendo uma têmpera, foi utilizado para testes o aparelho durometro SJ-201 com a finalidade de identificar a ação que os dois tipos de fluídos aplicaram nos corpos de prova ao decorrer do processo de usinagem. A figura 13 apresenta o durometro utilizado no ensaio de dureza.

**Figura 13.** Durometro.



Fonte: autor.

O método de ensaio de dureza adotado para os testes foi o método Rockwell, que tem como vantagens avaliar a dureza de metais diversos desde os mais moles até os mais duros. Esse processo é o mais utilizado no mundo inteiro devido a sua facilidade de execução e rapidez. A importância do ensaio de dureza dos materiais usinados é essencial, pois os mesmos sofrem uma têmpera devido a temperatura de corte, mudando as suas características.

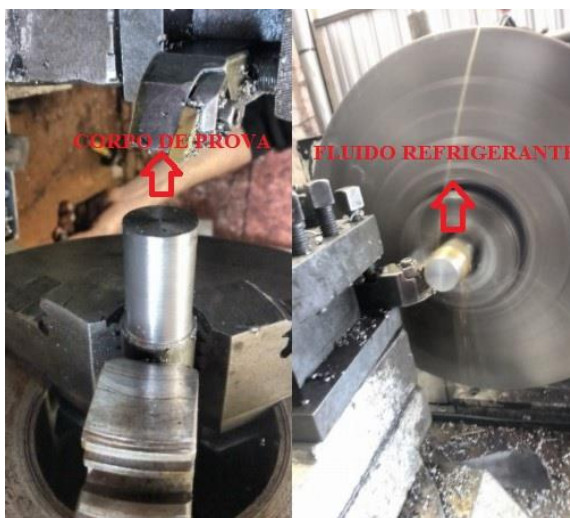
## **4 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS**

### **4.1 USINAGEM**

A usinagem dos corpos de prova foi realizada em uma tornearia localizada em Rolândia/PR, foram adotados parâmetros de velocidade, rotação e avanço para os diferentes tipos de fluídos. Foram usinados quatro corpos de prova, sendo eles: dois usando os parâmetros de desgaste, mas com a diferença na aplicação do fluído; e dois utilizando o parâmetro de acabamento, diferenciando a aplicação do fluído. No momento do processo da usinagem é notável a diferença em que os fluídos aplicados no material possuem um em relação ao outro.

A seguir, a figura 14, apresenta o processo de usinagem, no primeiro momento o posicionamento do corpo de prova e na sequência a aplicação do fluido de corte pela técnica de MQL.

**Figura 14.** Processo de usinagem.



Fonte: autor.

A aplicação do fluido iniciou com uma pressão de aproximadamente 3,0 bar e uma vazão de 105 litros/hora. Porém observou-se que a quantidade era excessiva, havendo a necessidade de reduzir a vazão em aproximadamente 60% considerando o valor inicial. Após isso foi possível a aplicação direcionada na interface peça/ferramenta sem desperdício, possibilitando de forma adequada à aplicação da técnica MQL.

#### 4.2 FLUÍDO DE CORTE

Na aplicação do fluido de corte, os dois tipos de fluidos utilizados oferecem características diferentes a todo o processo de usinagem.

No fluido biodegradável aplicado, tanto nas condições de desbaste como acabamento, percebe-se que a temperatura de corte no momento do processo é menor comparado ao fluido sintético. Com o fluido biodegradável, observou-se uma pequena camada protetora na máquina, já com o fluido sintético isso não ocorre.

Um dos fatores que diferencia ambos fluídos, percebido na hora da aplicação, é o odor, pois o fluido biodegradável apresenta baixo odor, sem gerar incômodo ao operador, em contrapartida, o fluido sintético emite um odor forte e incômodo.

Foi diagnosticado na ferramenta o desgaste comparando os dois fluídos. No fluido biodegradável, o desgaste foi maior em relação ao fluido sintético. A seguir, as figuras 15 e 16 apresentam a aplicação de ambos fluídos:

**Figura 15.** Fluido biodegradável.

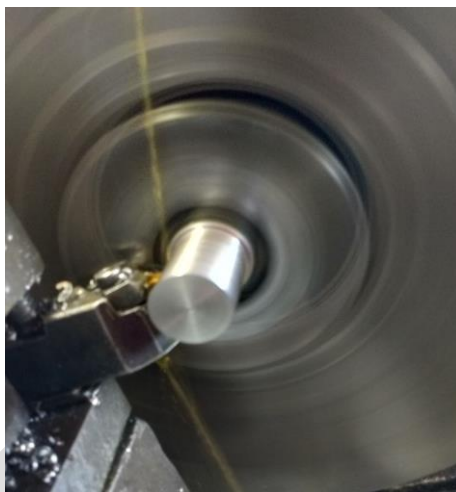


Fonte: autor.

O fluido biodegradável de característica aquosa transparente esverdeada ofereceu para o processo uma excelente lubrificação, uma boa

refrigeração, sem provocar manchas nos materiais. Além disso, a sua manipulação é simples, sem problemas com riscos ao operador e com o descarte fácil.

**Figura 16.** Fluido sintético.



Fonte: autor.

O fluido de corte sintético demonstrou no momento da aplicação boas vantagens para a usinagem, como a temperatura, evitando deformação e falhas das peças, e a qualidade da ferramenta foi melhor comparada à biodegradável. Porém, possui desvantagens como o odor forte, irritação em contato com a pele e descarte complicado em relação ao biodegradável, pois as suas características químicas interferem diretamente no meio ambiente.

#### 4.3 RUGOSIDADE SUPERFICIAL

Após os corpos de prova passarem por todo o processo de usinagem, foram submetidos aos testes de rugosidade por meio do aparelho de medição,

o rugosímetro. Em cada corpo de prova foram retiradas amostras de três diferentes posições na superfície da peça para realizar uma média dos valores. Foi utilizado como parâmetro de rugosidade Ra, ou seja, rugosidade média. Para comparar os dados, apresenta-se no quadro 5 e 6 a simbologia e a indicação das características de rugosidade Ra.

**Quadro 5.** Significado da simbologia.

SÍMBOLO	SIGNIFICADO
✓	Símbolo básico; só pode ser usado quando seu significado for complementado por uma indicação.
▽	Caracteriza uma superfície usinada, sem mais detalhes.
▽	Caracteriza uma superfície na qual a remoção de material não é permitida e indica que a superfície deve permanecer no estado resultante de um processo de fabricação anterior, mesmo se ela tiver sido obtida por usinagem.

Fonte: FERRARI, 2014.

O quadro 5 representa o significado de cada símbolo e as suas características de rugosidade aplicadas em determinado material.

**Quadro 6.** Indicação das características da rugosidade Ra.

SÍMBOLO			SIGNIFICADO
A remoção do material é:			
facultativa	exigida	não permitida	
$\frac{3,2}{\sqrt{}} \text{ ou } \frac{N8}{\sqrt{}}$	$\frac{3,2}{\nabla} \text{ ou } \frac{N8}{\nabla}$	$\frac{3,2}{\nabla} \text{ ou } \frac{N8}{\nabla}$	Superfície com rugosidade de valor máximo Ra = 3,2mm.
$\frac{6,3}{\sqrt{}} \text{ ou } \frac{N9}{\sqrt{}}$ $\frac{1,6}{\sqrt{}} \text{ ou } \frac{N7}{\sqrt{}}$	$\frac{6,3}{\nabla} \text{ ou } \frac{N9}{\nabla}$ $\frac{1,6}{\nabla} \text{ ou } \frac{N7}{\nabla}$	$\frac{6,3}{\nabla} \text{ ou } \frac{N9}{\nabla}$ $\frac{1,6}{\nabla} \text{ ou } \frac{N7}{\nabla}$	Superfície com rugosidade de valor máximo Ra = 6,3mm e mínimo Ra = 1,6mm.

Fonte: FERRARI, 2014.

O quadro 6 mostra padrões a serem adotadas para o processo de usinagem, indicando as medidas facultativas, as exigidas e as não permitidas, de acordo com o valor da rugosidade obtido na superfície do material. O quadro 7 representa os valores de Ra medidos em três diferentes lugares da superfície da peça, com a aplicação do fluido sintético e seguindo os parâmetros de usinagem.

**Quadro 7.** Parâmetro para desgaste com o fluido sintético.

<b>Padrão</b>	<b>Valor de Ra</b>
Posição 1	4.67 Ra
Posição 2	4.71 Ra
Posição 3	4.29 Ra

Fonte: autor.

O quadro 7 mostra os resultados obtidos do teste de rugosidade como parâmetro de desgaste no material usinado com aplicação do fluido sintético, comparando os três valores, a média Ra obtida foi 4,55. No quadro 8 são apresentados os valores de parâmetro de desgaste com o fluido biodegradável.

**Quadro 8.** Parâmetro de desgaste com o fluido biodegradável.

<b>Padrão</b>	<b>Valor de Ra</b>
Posição 1	4.64
Posição 2	4.41
Posição 3	4.54

Fonte: autor.

O quadro acima mostra os resultados obtidos do teste de rugosidade com o parâmetro de desgaste no material usinado com aplicação do fluido biodegradável, comparando os três valores, a média Ra obtida foi de 4,53.

**Quadro 9.** Parâmetro de acabamento com o fluido sintético.

<b>Padrão</b>	<b>Valor de Ra</b>
Posição 1	0.41 Ra
Posição 2	0.38 Ra
Posição 3	0.61 Ra

Fonte: autor.

O quadro 9 mostra os resultados obtidos no teste de rugosidade com o parâmetro de acabamento no material usinado com aplicação do fluido sintético, comparando os três valores, a média Ra obtida foi 0,46.

**Quadro 10.** Parâmetro de acabamento com o fluido biodegradável.

<b>Padrão</b>	<b>Valor de Ra</b>
Posição 1	0.76 Ra
Posição 2	0.47 Ra
Posição 3	0.57 Ra

Fonte: autor.

O quadro acima mostra os resultados obtidos do teste de rugosidade como parâmetro de acabamento no material usinado com aplicação do fluido biodegradável, comparando os três valores, a média Ra obtida foi 0,6.

#### 4.4 ENSAIO DE DUREZA

Com a interferência da temperatura de usinagem característica de cada método, o ensaio de dureza foi necessário para comparar a diferença que os fluídos de corte aplicaram em cada corpo de prova. Os corpos de prova ABNT 1020 apresentam uma dureza característica de 40 HB, assim podemos identificar a diferença de cada fluído aplicado por meio dos valores de obtidos nos testes. Esses valores são obtidos pela profundidade da impressão produzida pela carga aplicada pelo aparelho, e também a medida do ensaio. De acordo com o quadro 11, pode-se comparar os valores medidos de cada corpo de prova, observando a interferência de cada fluído no processo de usinagem.

**Quadro 11.** Relação de dureza e tipo de fluído.

<b>Método de usinagem</b>	<b>Tipo de fluído</b>	<b>Resultados</b>
Desbaste	Biodegradável	39 HB
	Sintético	37 HB
Acabamento	Biodegradável	35 HB
	Sintético	42 HB

Fonte: autor.

Identificou-se que no método de desbaste a diferença de valores não é muito significativa, pois, nesse caso, a velocidade e rotação são baixas. Já o método de acabamento resulta uma velocidade e rotação maior, gerando uma maior temperatura no processo. Desse modo, o tipo de fluido interfere ao demonstrar uma diferença considerável entre os valores de dureza.

## **5 CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Partindo dos resultados obtidos neste trabalho, com base nos objetivos delimitados na introdução, apresentou-se a aplicação dos fluidos de corte biodegradável e sintético a fim de analisar as características tribológicas em um processo de usinagem convencional. O fluido sintético tem como características oferecer bons resultados, pois a sua composição química interfere na qualidade do processo, permitindo uma ótima refrigeração e boa lubrificação, possibilitando que o cavaco se desprenda da ferramenta, logo, evitando defeitos no material e falhas no processo. No entanto, esse fluido ocasiona resíduos tóxicos ao operador, por meio dos vapores gerados pela alta temperatura do processo, e pode levar a doenças respiratórias e pulmonares, assim como desestabilizar o meio ambiente por ser um produto de difícil descarte e armazenamento. Isso ocorre porque o fluido sintético em relação a máquina não oferece nenhum tipo de proteção em seus barramentos, o que torna este uso duvidoso em processos de usinagem convencionais.

Por conta desses fatores referentes ao fluido sintético, este trabalho apresentou o uso da técnica MQL, que utiliza a mínima quantidade de fluido

para o processo de usinagem como alternativa, por possibilitar melhor operação levando em conta os fatores ergonômicos e ambientais.

Além disso, também foi apresentado o fluido biodegradável como um potencial de usinabilidade em relação ao fluido sintético, já que o biodegradável demonstra características iguais e próximas ao sintético, porém, com o diferencial qualitativo nos fatores ergonômicos e ambientais, pois possui uma composição química livre de agentes tóxicos e de vapores, com fonte renovável que possibilita a diminuição do descarte irregular, o que o torna um produto sustentável. No processo de usinagem, observou-se que, com a utilização do biodegradável, não foi gerada espuma e, conseqüentemente, as características foram conservadas. Destacou-se também que a vida útil da ferramenta é maior, evitando gastos com possíveis trocas e gerando um maior lucro no processo.

Por meio dos testes que foram realizados em um período de dois dias em uma tornearia, com o uso de um torno convencional de modelo NARDINE 650 para os processos de acabamento e desgaste, e também em um laboratório próprio para testes de dureza e rugosidade, foi identificado que o fluido biodegradável atende às exigências de qualidade de um processo de usinagem próximo aos dos fluidos sintéticos, já que os resultados comparados não foram idênticos, mas semelhantes, tais como: boa refrigeração, boa usinabilidade, vida útil e lubrificação. Além disso, o custo do fluido biodegradável se torna compensador em relação ao fluido sintético, sendo que o primeiro é mais barato.

O fator vantajoso, portanto, mostra-se na relação do fluido biodegradável com o meio ambiente, o que cumpre o objetivo deste estudo de

comprovar a troca benéfica de um fluido sintético por um fluido biodegradável.

Logo, espera-se que este trabalho, que evidenciou as possibilidades que este novo fluido proporciona, possa conscientizar a indústria metal-mecânica a repensar o uso do fluido sintético e avaliar o uso do fluido biodegradável como um recurso capaz de melhorar diretamente a produtividade, a segurança e saúde do trabalhador, a satisfação do proprietário e os cuidados, que deviam ser essenciais para o meio ambiente.

# **APPLICATION OF THE MINIMUM LUBRICATION QUANTITY (MQL) TECHNIQUE IN STEEL TURNING ABNT 1020: ANALYSIS OF THE TRIBOLOGICAL PROPERTIES**

## **Abstract**

The present work intends to present a broad view on the importance of cutting fluid in the metal-mechanical industry, comparing two types of different cutting fluids, synthetic fluid and biodegradable fluid using the technique of the minimum amount of lubrication applied in A machining process to diagnose the quality of the machined part. The methodology used was to submit ABNT 1020 specimens to two machining processes, such as, finishing and wear and after applying the tests of surface roughness and hardness. The tests allowed to analyze the parameters of cutting speed, speed of advance, rotation per minute and the influence of the roughness, that is, the surface finish of the machined part. Based on data obtained in the tests, it was diagnosed that the machining parameters do not have a great difference between both fluids, but a better quality of the process can be identified when using the biodegradable fluid, providing Good lubrication and optimum cooling and without providing toxic odors and vapors other than synthetic fluid.

**Key-words:** Cutting fluids. Machining. Quality.

## REFERÊNCIAS

ABIMAQ. **A história das máquinas: ABIMAQ 70 anos.** São Paulo: Magma Cultural e Editora, 2016.

ALVES, Dario José. **Análise da viabilidade técnica e econômica da aplicação de condicionador metálico em processo de alargamento.** 2014. 70 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Produção, Uninove, São Paulo, 2014.

ALVES, Fernando Ribeiro. **Desenvolvimento de um tribômetro, tipo, cilindro sob disco, para ensaios tribológicos em formulações com óleos vegetais.** 2014. 133 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Mecânica, Unesp, Ilha Solteira, 2014.

DINIZ, Anselmo Eduardo; MARCONDES, Francisco Carlos; COPPINI, Nivaldo Lemos. **Tecnologia da usinagem dos materiais.** São Paulo: Artliber Editora, 2013.

FERRARI, Thiago Toscano. **Desenho Técnico Mecânico.** 2014. Disponível em: <<http://pt.slideshare.net/thiagotoscanoferrari/4desenho-tnico-mecnico-multivix>>. Acesso em: 27 nov. 2016.

LIMA, José Eduardo Salgueiro. **Processos de Fabricação I: Seção 1 - Movimentos e Grandezas de Processo e Geometria da Cunha no Corte.** 2016. Disponível em: <<http://slideplayer.com.br/slide/11119468/>>. Acesso em: 27 nov. 2016.

MACHADO, Álisson Rocha et al. **Teoria da usinagem dos materiais.** São Paulo: Blucher, 2011.

RUNGE, P. R. F., DUARTE, G. N. **Lubrificantes nas indústrias**. Triboconcept Editora Ltda. Carapicuíba-SP. cap.4, p.71-172, 1990.

SANTOS, Isaque Silva dos. Influência do fluído de corte de origem vegetal no acabamento superficial do aço ABNT 1045. In: **VIII Congresso Nacional de Estudantes de Engenharia Mecânica**. São Luis: ABCM, 2011. 2 p.

SANTOS, Sandro Cardoso; SALES, Wisley Falco. **Aspectos tribológicos da usinagem dos materiais**. São Paulo: Artliber Editora, 2007.

SOUTO, Ulisses Borges. **Monitoramento do desgaste no processo de fresamento via emissão acústica**. 2007. 40 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2007.

SOUZA, Milena Chanes de. **Avaliação das dimensões técnico-econômica, ambiental e social no fresamento com aplicação de distintas técnicas lubri-refrigeração**. 2014. 168 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Aeronáutica e Mecânica, Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos, 2014.

# ANÁLISE DA QUALIDADE DE ENERGIA ELÉTRICA EM UMA CALDEIRA DE BIOMASSA ÁGUA-TUBULAR

<DIEGO ZORZI><sup>1</sup>

<VICENTE DE LIMA GONGORA><sup>2</sup>

<LAERCIO BERGAMIN><sup>3</sup>

<EDGARD J. C. MENEZES><sup>4</sup>

## Resumo

Este trabalho aborda a qualidade de energia em um sistema elétrico trifásico industrial, analisando os distúrbios gerados através da utilização de um inversor de frequência funcionando para controlar a velocidade de um motor de indução de 300kW. Para tanto executou-se um levantamento aprofundado durante o funcionamento em regime permanente e investigado os diversos distúrbios harmônicos causados na rede elétrica trifásica. Para a realização desta pesquisa obtivemos os dados de tensão eficaz, corrente eficaz, potência aparente, potência ativa e potência reativa e fator de potência sem interrupção de funcionamento do conjunto motor caldeira. Optou-se pela utilização de um analisador de qualidade energética da marca *Embrasul* modelo RE6000. Foi realizado a comparação com os parâmetros normalizados para a qualidade de energia do ponto de vista da rede elétrica local adequando às exigências normativas relacionadas neste trabalho.

**Palavra Chave:** Qualidade de energia. Modulação PWM senoidal.

---

<sup>1</sup> Graduação – Tecnologia em Manutenção Industrial da Faculdade de Tecnologia Senai Londrina. E-mail: [zorzi\\_diego@hotmail.com.br](mailto:zorzi_diego@hotmail.com.br)

<sup>2</sup>Doutor – Faculdade de Tecnologia Senai Londrina. E-mail: [vicente.gongora@pr.senai.br](mailto:vicente.gongora@pr.senai.br)

<sup>3</sup> Especialista – Faculdade de Tecnologia Senai Londrina. E-mail: [laercio.bergamin@pr.senai.br](mailto:laercio.bergamin@pr.senai.br)

<sup>4</sup> Doutor – Faculdade de Tecnologia Senai Londrina. E-mail: [edgard.menezes@pr.senai.br](mailto:edgard.menezes@pr.senai.br)

## 1. INTRODUÇÃO

Este trabalho aborda a qualidade de energia em um sistema trifásico industrial, apresentando os distúrbios gerados através da utilização de inversor de frequência para o acionamento e controle de um motor de indução. Estes distúrbios são gerados através do chaveamento em alta frequência de dispositivos semicondutores conforme referências do funcionamento do Inversor de Frequência na seção 2 deste estudo.

De acordo com a norma NBR 16035 (2012), os equipamentos devem operar de forma segura, confiável e eficiente. Para que possa ser analisado a real situação dos equipamentos estudados, foi realizada uma análise da qualidade da energia elétrica no funcionamento de um dos principais equipamentos de uma caldeira, o exaustor de tiragem de ar forçado.

A análise seguiu de forma rigorosa as normas vigentes e que regulamentam o funcionamento de equipamentos em redes elétricas, sendo elas NBR 5410 (2004), IEEE 519 (2014), NBR 7094 (2003), NBR 16035 (2012) e NBR 15014 (2003).

Este trabalho está organizado em seções da seguinte forma: 1 Introdução, 2 Referencial Teórico, este subdividido nos seguintes itens, Caldeira, Motor de Indução, Inversor de Frequência, Analisador da Qualidade de Energia Elétrica, Qualidade da Energia Elétrica, Distúrbio da Harmônica, Fator de Potência, 3 Metodologias de Pesquisa, 4 Análises de Caso e Discussões dos Resultados, subdividido nos seguintes itens, Distorções Harmônicas da Corrente, Distorções Harmônicas da Tensão, Potências Aparente, Ativa e Reativa, Fator de Potência, Frequência de Operação do Motor durante período de análise, 5 Conclusões.

## 2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 2.1. Caldeira

Segundo Perdoná (2012), as Caldeiras são equipamentos utilizados para a finalidade de produzir vapor que vem através do aquecimento da água que é bombeada de forma pressurizada por serpentinas que estão em contato com a fornalha da caldeira, assim aquecendo a água transformando-a em vapor.

A água sobre pressão tem seu ponto de ebulição alterado, de 100°C a pressão atmosférica para 225°C a 26 Kf/cm<sup>2</sup>, melhorando o aproveitamento do fluido. (NBR 16035, 2012)

Para produzir este calor necessário para o aquecimento da água, as caldeiras utilizam vários produtos como combustíveis: fósseis ou renováveis. Segundo informativo da própria fabricante da caldeira Burntech (2016), os combustíveis fósseis tais como carvão mineral, gasolina, diesel, óleo BPF e derivados, possuem um alto nível de poluentes derivados de sua queima e cada vez mais se encontram em escassez na natureza.

Segundo Burntech (2016), para substituir estas formas de combustíveis fósseis, adotou-se a queima de resíduos minerais renováveis processados na indústria, tais como milho, soja, café, bagaço da cana de açúcar, restos de madeiras utilizados pelas indústrias moveleiras que eram descartados por não serem possíveis transformá-los em subprodutos.

Segundo Perdoná (2013), as caldeiras possuem três derivações de classes de queima de combustível: caldeiras de queima mineral, combustíveis fósseis; caldeiras de queima mista, onde há a queima de combustíveis fósseis

e resíduos orgânicos sendo renováveis e caldeiras de biomassa, que adotam apenas a queima de resíduos renováveis.

A queima destes resíduos na fornalha da caldeira além de fornecer energia para ser utilizado na troca térmica para a produção de vapor, gera uma pressão interna na fornalha através de gases gerados durante a queima do combustível, estes gases devem ser retirados evitando o colapso estrutural da caldeira (NBR 16035, 2012).

Existem dois tipos construtivos: caldeiras água-tubular e caldeiras fogo-tubular. A caldeira relacionada a este estudo é do modelo água-tubular, com PMTA (pressão máxima de trabalho admissível) de 30 Kf/cm<sup>2</sup> de capacidade máxima de produção de vapor hora de 40Ton/h, conforme dados do fabricante da caldeira (BURNTECH, 2016).

Nestas condições a válvula de segurança deve ser ajustada com pressão de abertura igual ou inferior a pressão máxima de trabalho admissível (NR 13, 2008), sendo os valores da PMTA considerados os requisitos do código de projeto relativos a aberturas escalonadas e tolerâncias de calibração.

Figura1 - Caldeira água-tubular marca Burntech modelo Biocal 40 ton/h



Fonte: Burntech caldeiras - 2016

### 2.1.1. Exaustor de tiragem

O equipamento responsável pela retirada do excesso de pressão e gases derivados das queimas dos combustíveis utilizados no interior da fornalha da caldeira é o exaustor de tiragem de ar forçado, que através do controle de automação pré-determina-se a pressão necessária para operação, normalmente sendo ela negativa ou vácuo, conforme dados de projeto.

Este controle pode ser executado através da abertura e fechamento de portinholas denominadas *dumper* de saída de gases para o exaustor que opera de forma constante sem variação de velocidade, ou como neste estudo, a variação de velocidade do exaustor através da utilização de inversor de frequência no controle do motor, sem a abertura de *dumper*, neste caso o mesmo abre ao iniciar o *start-up* da caldeira permanecendo aberto durante todo o tempo em que a caldeira esteja em operação (BURNTECH, 2016).

## 2.2. Motor de Indução

Segundo manual WEG (2014), os motores de indução trifásicos são do tipo construtivo mais utilizados pela indústria, estes possuem uma grande versatilidade de modos de operação e aplicações. Possuem diferentes características construtivas sendo elas dedicadas as mais inúmeras aplicações, devendo todas elas estarem em conformidade com a norma (NBR 17094, 2003).

Segundo Santos (2006), uma de suas características são os números de polos sendo sempre em quantidade pares, estes estão diretamente ligados e são responsáveis pela variação de velocidade e torque do motor, sendo quanto menor o número de polos, maior a velocidade e menor torque em baixas rotações ou quanto maior o número de polos menor sua velocidade, e maior seu torque em baixas rotações.

O motor utilizado nesta caldeira e equipamento a ser estudado e analisado é um motor da marca Weg modelo W22 *Premium* de 300KW. Através do controle de automação implementado na planta da caldeira o exaustor deverá executar a tarefa de manter a caldeira com pressão interna negativa, conforme valor de *set point* (SP) de operação, o motor será utilizado com o controle de velocidade sendo executado com o auxílio de um inversor de frequência, sendo estas variações permitida pelo projeto e programação determinadas de 0hz a 75hz conforme a necessidade operacional da planta da caldeira seguindo os parâmetros e normas regulamentadoras (NR 13, 2008) e dados do fabricante da caldeira (BURNTECH, 2016).

### 2.2.1. Características de identificação do motor analisado no estudo

A Tabela 1 apresenta as características e dados técnicos da placa de identificação do motor WEG W22, dados estudados para realização do trabalho.

Tabela 1- Características e dados técnicos da placa de identificação do motor WEG W22 estudado

POTÊNCIA	300KW(400CV)
TENSÃO OPERAÇÃO	380/660V
CORRENTE NOMINAL	602/346 <sup>a</sup>
FATOR DE SERVIÇO	1.0
FREQUÊNCIA NOMINAL	60Hz
ROTAÇÃO	895rpm
REGIME DE SERVIÇO	S1
RENDIMENTO	95,90%
FATOR DE POTÊNCIA	0,79

Fonte: WEG - 2016

### 2.2.2. Placa de identificação do motor segundo WEG (2014)

O descritivo das características contida na placa de identificação do motor, segundo WEG (2014) são:

- O regime de operação deste motor conforme dados e tabela “S1” refere-se a modo de operação contínuo, funcionamento à carga constante de duração suficiente para que se alcance o equilíbrio térmico.

- Rendimento do motor em operação refere-se a quantos por cento da energia drenada da rede é transformada em trabalho para operação, neste caso 95,9% da energia total.
- Rotação do motor é dada conforme características construtivas, determinada pelos números de polos do enrolamento do motor, neste caso 8 polos e rotação de 895rpm.
- Fator de potência, é o valor angular dado a defasagem das fases do motor em relação a rede ideal, fator de potência igual a 1, neste caso é de 0,79 indutivo.
- Fator de serviço (FS) é a relação de tolerância do motor com relação a corrente nominal do motor, esta relação é dada para indicar se o enrolamento do motor tem condições de absorver correntes maiores que a nominal do motor quando exigido por uma pequena duração, neste caso “FS=1”, o motor não suporta correntes acima da especificada em placa.

### 2.2.3. Princípio de funcionamento do motor de indução

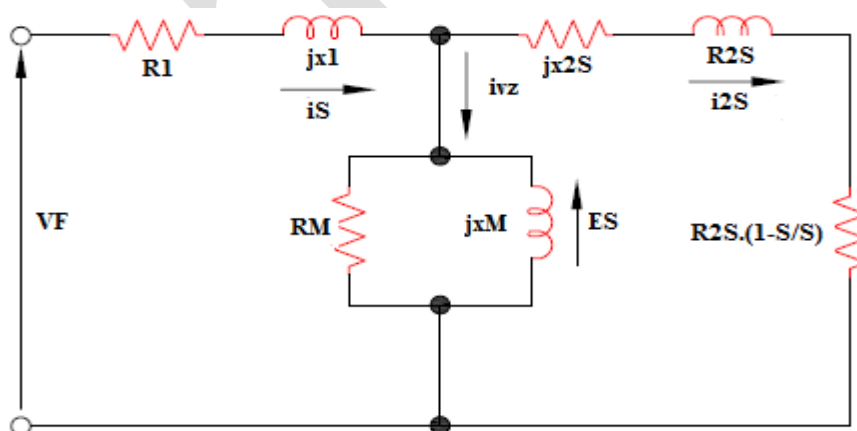
O princípio de funcionamento de um motor de indução baseia-se na ligação entre o estator e à rede elétrica trifásicas através do seu circuito, já o rotor não possui ligação alguma eletricamente com nenhuma fonte de alimentação. Quando o enrolamento do estator é energizado através de seu circuito, gera-se um campo magnético girante em suas bobinas, estas por sua vez à medida que o campo varre os condutores do rotor, cria-se uma indução elétrica denominada de FEM (força eletro motriz) nos condutores ocasionando o surgimento de uma corrente elétrica nestes condutores.

Quando estes condutores do rotor percorridos pela corrente elétrica resultante interagem com o campo magnético girante do estator surge uma grandeza eletromagnética denominada torque, esta que atua sobre os condutores do rotor fazendo-o girar, sendo este denominado velocidade do campo girante.

#### 2.2.4. Modelagem matemática do motor de indução

Através do circuito elétrico equivalente do motor de indução, visto de forma individual apenas para uma fase do motor elétrico, semelhante para as demais fases do motor, mostrado na Fig.2, gerando a modelagem matemática segundo Dutra (2013).

Figura 2 - Circuito elétrico equivalente ao motor de indução, 1 fase



Fonte: Arango - 2007

Segundo Arango (2007), e conforme abreviaturas descritas na Fig. 2, “VF” sendo a tensão de alimentação da rede elétrica dada em “V”, “iS” sendo a corrente que circula pelo estator dada em “A”, “ivz” sendo a corrente a

vazio dada em “ $A$ ”, “ $i_{2S}$ ” sendo a corrente que circula pelo rotor referenciada ao estator dada em “ $A$ ”, “ $ES$ ” a tensão induzida no enrolamento do rotor para rotor bloqueado, referenciada ao estator dada em “ $V$ ”, “ $R1$ ” sendo a resistência do enrolamento do estator, visto uma fase dada em “ $\Omega$ ”, “ $R2S$ ” sendo a resistência do enrolamento do rotor variável com o valor de escorregamento referenciada ao estator dada em “ $\Omega$ ”, “ $jx1$ ” sendo a reatância para representação do fluxo magnético de dispersão do enrolamento do estator dada em “ $\Omega$ ”, “ $jx2S$ ” sendo a reatância para a representação do fluxo magnético de dispersão do enrolamento a rotor bloqueado, com indutância variando com o valor do escorregamento referenciado ao estator dado em “ $\Omega$ ”, “ $RM$ ” sendo a resistência para representação das perdas no ferro dada em “ $\Omega$ ”, “ $XM$ ” sendo a reatância para representação do fluxo magnético principal dada em “ $\Omega$ ” e “ $S$ ” valor de escorregamento.

Segundo Camacho (2003), a modelagem matemática que se segue representa o motor de indução de forma dinâmica, demonstrado em coordenadas de fase ( $A, B$  e  $C$ ), demonstrado na equação 1 de tensão dada em “ $V$ ” do estator e rotor.

$$V_i = R_i \cdot I_i + \frac{d\lambda_i}{dt} \quad (1)$$

Na equação 1 onde “ $i$ ” representa-se as fases ( $a, b, c$ ) do estator e ( $A, B, C$ ) do rotor, o termo “ $\lambda$ ” representa o fluxo total concatenado sendo esse uma soma do fluxo de dispersão mais fluxo mútuo, os algarismos “ $R$ ” e “ $I$ ” são as matrizes de resistência e corrente do estator e rotor.

A resultante da energia considerando os fluxos concatenados e as correntes do estator e rotor é dada pela equação 2.

$$W = \int_0^{Ia} \lambda a . dIa + \int_0^{Ib} \lambda b . dIb + \int_0^{Ic} \lambda c . dIc + \int_0^{IA} \lambda A . dIA + \int_0^{IC} \lambda C . dIC \quad (2)$$

O conjugado eletromagnético do motor de indução relacionado em “ $T_e$ ” que é dado em “ $Nm$ ” pode ser obtido através da variação da energia magnética em relação ao fator de “ $\theta_{mec}$ ” dado em “ $rad/seg$ ” que é o deslocamento angular mecânico do rotor com relação a uma referência fixa, dada pela equação 3.

$$T_e = \frac{\partial W}{\partial \theta_{mec}} \quad (3)$$

A equação de oscilação que relaciona “ $T_e$ ” dado em “ $Nm$ ” com o conjugado de carga “ $T_c$ ” dado em “ $Nm$ ”, o algarismo do momento de inércia “ $J$ ” dado em “ $Kg.m^2$ ” e a posição angular dado pelo algarismo “ $\theta_{mec}$ ” dado em “ $rad/seg$ ” é o coeficiente de atrito viscoso “ $B$ ” dado pela equação 4 e equação 5.

$$T_e = T_c + J \frac{d\omega_{mec}}{dt} + B\omega_{mec} \quad (4)$$

$$\omega_{mec} = \frac{d\theta_{mec}}{dt} \quad (5)$$

## **2.3. Inversor de Frequência**

Segundo Braga (2014), os inversores de frequência foram desenvolvidos não apenas para serem utilizados como método de partida para motores de indução, mas também para controlar a velocidade e o torque aplicado ao motor.

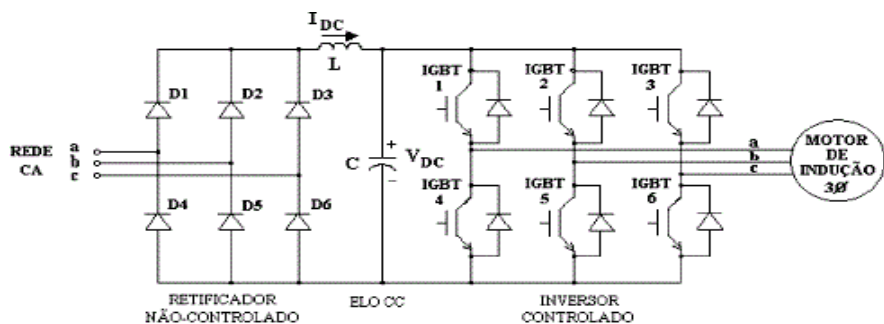
Os inversores de frequência são aplicados em sistemas de controle onde a velocidade do motor ou equipamento em que o motor está acoplado necessita de um controle na sua velocidade e ou torque. Segundo WEG (2004), para que este controle seja executado de forma eficaz o inversor de frequência conta com um software interno, que é capaz de controlar a tensão, corrente, torque, frequência aplicado ao motor, sendo possível até mesmo prever e recalcular a necessidade de ajustes internos para concluir a tarefa destinada.

Segundo WEG (2004), uma das características mais importantes do acionamento de motores com inversores de frequência, é que a corrente de partida é praticamente da ordem da corrente nominal do motor, podendo-se obter no rotor o valor de torque máximo do conjugado de partida do motor, mesmo este estando em baixas rotações.

### **2.3.1. Características de um inversor de frequência**

Segundo Freire (2015), os inversores de frequência são divididos basicamente em quatro blocos, o primeiro bloco: entrada e retificação, segundo bloco: potência, terceiro bloco: controle e o quarto bloco: entradas e saídas. A figura 3 apresenta um esquema de inversor de frequência.

Figura 3 - Esquemático Inversor de Frequência



Fonte: Pinheiro - 2005

Primeiro bloco entrada e retificação: a tensão de entrada ou alimentação do inversor de frequência, passa por um conversor CA/CC (corrente alternada/corrente contínua), este bloco retifica a energia trifásica alternada para energia contínua. Sendo a configuração mais comum, uma ponte retificadora de diodos em onda completa.

Segundo bloco potência: a tensão contínua passa pelo bloco de potência e é transformada em tensão alternada de sinal *PWM* (modulação por largura de pulso) ou *PWMS* (modulação por largura de pulso senoidal). As características exclusivas dos motores atenuam a discrepância na forma de onda deixando-as parecidas com a senoidal. Esta transformação só é possível com o auxílio de transistores de alta frequência de chaveamento. Este chaveamento é que determinará a forma de onda de sinal para o motor.

Terceiro bloco controle: este atua diretamente junto aos transistores de potência, enviando pulsos que atuam como chaveamento, moldando assim o sinal de saída. Este controle é feito conforme a necessidade do instante de tempo de dados obtidos externamente ou pré-programado, podendo ser

alterada sua amplitude, frequência de chaveamento e corrente aplicada a carga.

Quarto bloco entradas e saídas: estes possuem a finalidade de receberem ou enviarem sinais de controle ou variáveis que necessitem ser alteradas com o auxílio do inversor de frequência.

### 2.3.2. Transistores de potência

Segue abaixo os modelos de transistores de potência mais utilizados pela indústria na fabricação de inversores de frequência:

- IGBT: *Insulated Gate Bipolar Transistor* (transistor bipolar da porta isolada), um dos modelos de semicondutores usualmente utilizado pelas indústrias da eletrônica de potência e frequentemente encontrados em inversores de frequência, estes alteram seu estado de condução (*on-state*) para corte (*off-state*) conforme a frequência de pulsos no (*gate*).
- IGCT: *Insulated Integrated Gate Switched Thyristor* (tiristor comutado com porta integrado isolado), faz parte da nova linha de famílias de dispositivos semicondutores a *Higt-power*.
- MOSFET: *Field Effect Transistor Metal Oxide Semiconductor* (Transistor de efeito de campo Acrônimo de Metal Oxido Semicondutor), este o mais utilizado pelas indústrias da eletrônica de potência.

### 2.3.3. Chaveamento dos inversores de frequência

Segundo Freire (2015), para que o inversor de frequência possa realizar a modulação das grandezas, tensão, frequência o mesmo opera os

transistores de potência com uma modulação de condução e não condução de forma a realizara as necessidades do equipamento, conforme configurações do equipamento.

Este chaveamento é realizado com sinais em forma de pulsos enviados ao gatilho dos transistores de potência, de acordo com a duração destes sinais, os transistores conduzem a tensão, formando o sinal de saída, contendo a frequência, amplitude e a potência que será fornecida para a carga.

#### 2.3.4. Técnicas de controle da modulação da tensão geradas através dos transistores de potência em inversores de frequência

Segundo Camacho (2003), a forma e técnica de chaveamento denominada *PWM* vem sendo utilizada desde os anos 60, mas devido aos grandes avanços da eletrônica de potência, que vem adotando uma tecnologia mais eficiente e robusta, que proporcionam o aperfeiçoamento e evolução desta técnica de forma a alcançar implementações práticas cada vez mais eficientes, confiáveis e econômicas.

##### 2.3.4.1. Técnica de modulação *PWM*

Camacho (2003), a técnica de modulação por largura de pulso denominada “*PWM*” foi considerada como forma de amostragem natural, sendo que está dividida em três partes.

- Referências senoidais,
- Referências triangulares,

- Comparadores.

Sendo essa uma técnica tradicional em que as formas de onda geradas as chamadas “*PWM*” são oriundas da comparação do sinal senoidal, sendo que para esse sinal é necessário a utilização de um sinal para controle ou referência “*V<sub>ct</sub>*” com o sinal principal denominado portadora, sendo do modelo triangular ou dente de serra “*V<sub>sw</sub>*”, para a qual será estabelecido a frequência de chaveamento “*F<sub>sw</sub>*” dos transistores de potência.

Esta frequência de chaveamento utilizada como sinal de controle irá estabelecer e determinar a frequência desejada da saída, determinando desta forma a componente de frequência fundamental do sinal de tensão que alimentará o motor.

#### 2.3.4.2. Técnica de modulação *PWMS*

Segundo Camacho (2003), a técnica de chaveamento modulação “*PWMS*” denominada modulação por largura de pulso senoidal, consiste em controlar as larguras dos pulsos, gerando sinais de pulsos com valores próximos do valor máximo para um sinal senoidal, contudo estes valores não mudam de forma significativa com a variação do índice de modulação.

Segundo Trojan (2011) para realizar a modulação do sinal “*PWMS*”, é necessário a utilização de dois sinais, sendo um de referência, denominado portadora e outro um sinal senoidal, ambos os sinais serão comparados por um circuito comparador, estes sinais iram determinar a frequência do chaveamento e modulação.

Para que o comparador conduza um sinal em sua saída é necessário aplicar o sinal da portadora na entrada inversora do comparador e o sinal senoidal a entrada não inversora do comparador, desta forma quando o valor

de tensão gerado na entrada não inversora ou sinal senoidal do comparado for maior que o valor de tensão gerado na entrada inversora ou sinal da portadora o comparado ira saturar a saída em “+VCC” (volt corrente continua), caso o sinal senoidal conectado a entrada não inversora seja menor que o sinal da entrada inversora ou portadora, o comparador ficará com nível baixo na saída.

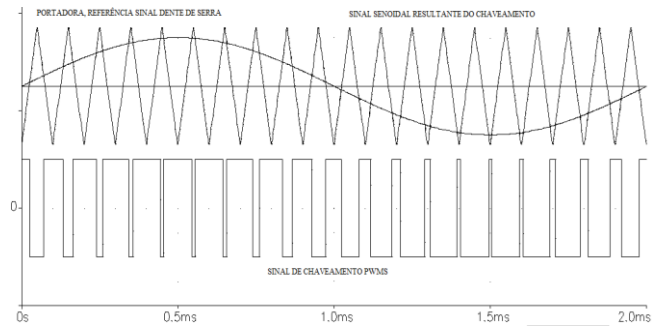
Segundo Fitzgerald (2014), outras técnicas de modulação digital podem ainda ser implementadas de forma a garantir uma melhora do sinal gerado e moldando um sinal com as características senoidais aprimoradas.

Segundo Pomílio (2003), a modulação regular simétrica e a modulação regular assimétrica que permitem uma descrição analítica do chaveamento “PWMS”, estas que permitem gerar uma forma de onda de corrente com as características senoidal aprimoradas, contendo níveis de distúrbios harmônicos com menor intensidade.

Para que seja determinado o modelo de modulação utilizado para o chaveamento dos transistores de potência este irá depender das características do acionamento.

Segundo Trojan (2011) a escolha do sinal utilizado como portadora ou referência é fundamental e está diretamente ligado aos níveis de distúrbios das harmônicas geradas pela modulação durante o chaveamento dos transistores de potência. Ondas triangulares são preferíveis para a utilização como sinal comparado às ondas dentes de serra devido a sua simetria, as ondas triangulares fornecem menos componentes harmônicos comparados as ondas dente de serra.

Figura 4 - Modulação *PWMS*, contendo a portadora e o sinal senoidal



Fonte: Pomilio - 2003

## 2.4. Analisador da Qualidade de Energia Elétrica

Segundo Embrasul (2007), um analisador de qualidade de energia elétrica, mostrado na Fig.5, pode ser composto de módulos opcionais específicos de medição, de uma forma que possa configurar um produto adequado para cada necessidade.

Figura 5 - Analisador da Qualidade de Energia Embrasul RE-6000



Fonte: EMBRASUL - 2007

Este instrumento possui entradas trifásicas de tensão e corrente, o equipamento permite a análise de tensões, correntes, potências ativas,

reativas e aparentes, fator de potência, desbalanceamentos de fases, frequência, distorção harmônicas, flutuação de tensão, valor total de demanda, consumos, demandas e interrupções.

Segundo Embrasul (2007), o instrumento utilizado para realização das medições e análise do caso estudado é o analisador de qualidade de energia elétrica da marca Embrasul modelo RE 6000. Este instrumento possui diversas configurações e características para realizar as mais diversas medições de grandezas, tais com tensão eficaz, corrente eficaz, frequência, potência eficaz, potência aparente, potência reativa, distúrbio de harmônicas entre outros.

Configurado com o módulo de harmônicas (H), que indica as medições das perturbações na rede, indicado para aplicação em sistemas elétricos onde se pretende medir os níveis e as características das distorções harmônicas presentes no circuito. As medições podem ser feitas até a 50ª ordem da harmônica, analisando harmônicas de ordens pares e ímpares de tensão e corrente.

## **2.5. Qualidade da Energia Elétrica**

A palavra abrangente e denominada na engenharia como dita para avaliar um sistema de fornecimento ou de consumo de energia elétrica é a qualidade de energia, esta possui diversos significados, conceitos, aplicações e ramos de estudo, conforme o conceito da qualidade da energia que é adotada pelos especialistas e estudiosos da área para uma melhora na eficiência dos equipamentos conectados à rede elétrica, segundo Paulilo

(2015) e em conformidade com resolução normativa nº 414 da (ANEEL, 2010).

Segundo *Schneider Eletric* (2003), a qualidade de energia elétrica refere-se: “a qualquer desvio que possa ocorrer na magnitude, forma de onda ou frequência da tensão e/ou corrente elétrica, que resulte em falha ou operação indevida de equipamentos elétricos”.

Os valores e características e de conformidade com certos parâmetros considerados desejáveis para a operação segura em um sistema elétrico, considera-se os parâmetros:

- Distorções harmônicas;
- Baixo fator de potência;
- Flutuações de tensão;
- Variações de tensão de curta duração;
- Desequilíbrio do sistema trifásico;
- Transitórios rápidos.

Estes parâmetros considerados desejáveis devem estar de acordo com regulamentação da ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica, este é um órgão regulamentador do Governo brasileiro, que é responsável por todas as diretrizes e fiscalização direcionadas a geração, distribuição e consumo da energia elétrica.

Todos os parâmetros devem estar em conformidade com Resolução Normativa nº 414 (ANEEL, 2010) que trata da qualidade da energia elétrica.

## 2.6. Harmônicas

Os distúrbios denominados correntes harmônicas são gerados pelas cargas não-lineares conectadas a rede, a circulação das correntes harmônicas que são geradas por estas cargas gera tensões harmônicas através das impedâncias da rede, ocasionando a deformação da tensão elétrica, este estudo se tornou uma importante ferramenta nos projetos elétricos, conforme (IEEE 519, 2014).

Anteriormente a década de 80 quando ocorreu a difusão da utilização da eletrônica moderna, com um grande aumento na utilização de dispositivos eletrônicos para acionamento e controle de cargas elétricas, como *soft start*, inversores de frequência, reatores eletrônicos de iluminação as cargas que predominavam cargas denominadas lineares com valores de impedância fixo como exemplos de iluminação incandescente, cargas de aquecimento, motores sem controle de velocidade.

Com este surgimento de carga denominadas não-lineares considerados e sendo responsáveis pelos distúrbios na rede elétrica. Os dispositivos geradores de harmônicas são apresentados em todos os setores industriais, comerciais e domésticos. As harmônicas são resultadas de cargas não-lineares.

Segundo Garcia (1999), carga não-linear: definição uma carga é dita não-linear quando a corrente que ela absorve não tem a mesma forma da tensão que a alimenta, cargas não-lineares, as cargas utilizando a eletrônica de potência são não-lineares.

Segundo Teixeira (2009), sendo o funcionamento dos inversores de frequência fica constatado que o capacitor se carrega inicialmente, drenando

corrente e atingindo a tensão nominal. Após meio ciclo, os capacitores do barramento “**CC (corrente continua)**” ficam com o valor de pico da rede “**CA (corrente alternada)**”. Ao acionar o motor, ele drena corrente deste barramento para suprir potência de acordo com a carga mecânica. Neste momento o potencial no capacitor se reduz, fornecendo energia ao motor, antes de atingir o valor mínimo permitido, o capacitor se recarrega no próximo meio ciclo senoidal. Este processo é repetido duas vezes em cada meio ciclo carregando e descarregando o capacitor do barramento “**CC**”, com isso teremos uma corrente distorcida a qual podemos associar uma tensão distorcida nos seus terminais.

Segue alguns modelos de conversores encontrados na indústria que em operação são considerados geradores de harmônicas segundo Fraga (2013).

- Pontes Retificadoras Trifásicas,
- Conversores Estáticos de N pulso(s) a *Tiristores*,
- Inversores de Potência, IGBT, *Mosfet*,
- Reguladores de Tensão com *Links DC* (Tipo *SIPCON DVR/DSTATCOM*),
- Fontes Chaveadas.

2.6.1. Limites adotados conforme (IEEE 519, 2014), e as equações matemáticas para as variáveis vistas segundo *Schneider Eletric* (2003) embasada na norma (IEC 1000-2-4, 2002) e equações segundo Bezerra (2008).

- Harmônicas de tensão (VH) < ou = 3%, determinada pela equação:

$$THDU = \sqrt{\frac{\sum_{h=2}^{\infty} U_h^2}{U_1}} \quad (6)$$

- Harmônicas da corrente (ih), determinadas pela equação:

Tabela 2 - Limites determinados para taxa de DHI (IEEE 519, 2014)

CORRENTE ORDEM ÍMPAR	VALOR	CORRENTE ORDEM PAR	VALOR
ih < 11°	0,07	ih < 10°	0,035
11° < ou = ih > ou = 17°	0,035	10° < ou = ih > ou = 16°	0,028
17° < ou = ih > ou = 23°	0,05	16° < ou = ih > ou = 22°	0,013

Fonte: IEEE 519 – 2014

$$THDI = \sqrt{\frac{\sum_{h=2}^{\infty} I_h^2}{I_1}} \quad (7)$$

- Distorção harmônica total (DHT) < ou = 5%, determinada pela equação:

$$THD = \sqrt{\frac{\sum_{h=2}^{\infty} y_h^2}{y_1}} \quad (8)$$

### 2.6.2. Impactos dos distúrbios da harmônica

Os distúrbios da rede elétrica denominados correntes harmônicas circulam nas redes elétricas ocasionando o deterioramento da qualidade da energia, dando o início a vários problemas, descrição de falhas abaixo, segundo *Schneider Eletric* (2015).

- Sobrecarga da rede de distribuição por aumento da corrente eficaz,
- Sobrecarga dos condutores de neutro em razão da soma das harmônicas de ordem 3 geradas pelas cargas monofásicas,
- Desgaste das canecões e isolações devido a aquecimentos,
- Sobrecarga, vibrações e envelhecimento dos alternadores, transformadores, motores, ruídos dos transformadores,
- Sobrecarga e envelhecimento dos capacitores de compensação de energia reativa,
- Deformação da tensão de alimentação podem perturbar receptores sensíveis,
- Perturbação das redes de comunicação ou das linhas telefônicas,
- Baixo fator de potência da rede elétrica,
- Diminuição da vida útil de componentes,
- Diminuição do rendimento do equipamento,
- Danos a motores ocasionando sua queima.

### 2.6.3. Distorção harmônicas em motores

Segundo Bezerra (2008), o maior dano e efeito causado pelas distorções harmônicas que são ocasionados em máquinas indutivas é o aumento do aquecimento devido ao aumento das perdas no ferro e no cobre, diminuindo sua eficiência, e o torque disponível para carga. (WEG, 2016) e (NBR 7094, 2003).

Segundo Evangelista (2008), o sobre aquecimento tolerado depende do tipo de rotor utilizado na construção dos motores, rotores bobinados são mais seriamente afetados do que os rotores de gaiola.

Segundo Variz (2008), os rotores de gaiola profunda, devido ao efeito pelicular, que conduz a condução da corrente para a superfície do condutor em frequências elevadas, produzem maior elevação de temperatura do que os rotores de gaiola convencional.

## 2.7. Fator de Potência

O fator de potência, é o valor angular dado a defasagem das fases de uma determinada carga em relação as fases de uma rede elétrica ideal, este valor para referência varia de “0” a “1” segundo Scopacasa (2016).

Quando calculado este valor e o mesmo for próximo de “0” é considerado reativo, nesta condição a energia elétrica é armazenada e devolvida à fonte durante cada ciclo.

Quando calculado este valor e o mesmo for próximo de “1” é considerado indutivo, nesta condição a energia elétrica fornecida pela fonte é consumida pela carga.

Como meio de identificar de que forma o fator de potência é visualização como atrasado ou adiantado para identificar o sinal do ângulo de fase entre as ondas de corrente e tensão elétricas que são geradas, valores determinados pela ANNEL, sendo no Brasil o valor mínimo permitido de “0,92”, tanto para indutivo ou capacitivo.

O fator de potência é determinado pelo tipo de carga ligada ao sistema elétrico, possuindo também suas derivações, tais como circuitos mistos, “RL”, “RC”, “LC” e “RLC”.

- Resistiva, circuitos puramente resistivos (R);
- Indutiva, circuitos puramente indutivos (L);
- Capacitiva, circuitos puramente capacitivos (C).

### 2.7.1. Módulos das potências considerando os distúrbios da harmônica

- Potência ativa é a capacidade do circuito de produzir trabalho em um determinado período de tempo, é dada pela equação:

$$P = \sum_{h=1}^{\infty} U_h \cdot I_h \cdot \cos\varphi_h \quad (9)$$

- Potência aparente, que é o produto da tensão pela corrente do circuito, será igual ou maior do que a potência ativa, é dada pela equação:

$$S^2 = \left( \sum_{h=1}^{\infty} U_h^2 \right) \cdot \left( \sum_{h=1}^{\infty} I_h^2 \right) \quad (10)$$

- Potência reativa é a medida da energia armazenada que é devolvida para a fonte durante cada ciclo de corrente alternada, é dada pela equação.

$$Q = U \cdot I \cdot \sin\varphi \quad (11)$$

- Equação da relação de Fator de Potência com Harmônicas:

$$FP = \frac{\cos\varphi}{\sqrt{1+TDH^2}} \quad (12)$$

### 3. METODOLOGIA DE PESQUISA

Para determinar a metodologia aplicada para a execução deste estudo foi necessário um levantamento teórico, através da pesquisa de artigos e trabalhos similares, normas técnicas, onde o conhecimento abordado refere-se a: motor elétrico de indução, acionamentos por inversor de frequência, qualidade de energia elétrica, distúrbios das harmônicas.

Para realização desta metodologia foram seguidos os seguintes passos:

- Passo 1. Foi instalado o analisador de qualidade de energia elétrica no barramento de saída do inversor de frequência para o motor de indução.
- Passo 2. Foi programado o analisador de qualidade de energia elétrica para gravar todos os eventos ocorridos no equipamento a ser estudado e analisado, por um período determinado de 29 dias corridos.
- Passo 3. Após o período determinado foi retirado o instrumento de análise, salvo os dados colhidos para análise em eletrônico e software dedicado fornecido pela empresa do instrumento e analisador de qualidade de energia elétrica Embrasul.
- Passo 4. Foram realizadas as análises das grandezas obtidas de forma embasada e sustentada pelas normas e referências descritas neste estudo.

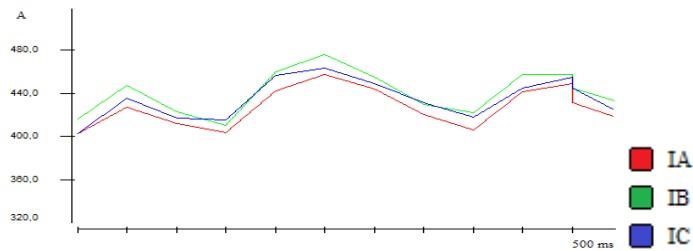
## 4. ANÁLISE DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Neste estudo buscou-se analisar os dados de corrente drenada pelo motor de indução, tensão fornecida ao motor pelo inversor de frequência, frequência de operação do motor durante o período de análise, taxa de distorções harmônicas da corrente, taxa de distorções harmônicas da tensão, valores instantâneos para a potência aparente, potência ativa, potência reativa, fator de potência instantâneo dos equipamentos estudados, estes valores obtidos através do analisador de qualidade de energia elétrica.

### 4.1. Distorção Harmônica da Corrente

Observa-se na figura 6 que o equipamento estudado e analisado sofreu inúmeras variações de carga durante o período determinado de análise. Durante este período de análise fica claro que este motor está operando de forma aliviada, tendo durante maior período de tempo a corrente drenada durante seu regime de trabalho entre “400A” a “480A”, sendo sua corrente nominal de trabalho “602A”, conforme dados técnicos de placa do motor visto na seção 2, Tab. 1.

Figura 6 - Gráfico da Corrente drenada pelo motor, valor médio das 3 fases



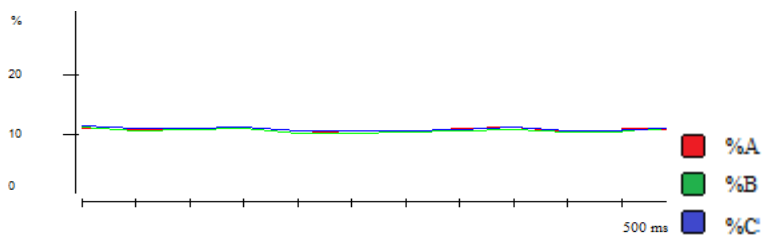
Fonte: Do Autor - 2016

O gráfico da Fig.7 demonstra os valores de distorção harmônica dada em porcentagem em cima da corrente total drenada pelo motor em cada uma das fases durante o período de análise.

Este tipo de distorção harmônica é filtrado pelo motor de indução devido a sua forma construtiva, este funciona como um indutor, realizando a filtragem destas ocorrências deixando os valores para taxa de distorção harmônica da corrente próximos de zero ou desprezíveis conforme a Tab. 3, (NASCIMENTO 2009).

Conforme descritos na Tab. 3, e visto no gráfico da Fig. 7 os valores obtidos de taxa da distorção harmônica separadas por suas respectivas ordens na corrente drenada pelo motor em cada uma das fases, valores dados em porcentagem do valor total da corrente drenada pelo, e valores dados para taxa de distorção harmônica total são visto em porcentagem e ampere.

Figura 7 - Gráfico de porcentagem de Distorções Harmônicas na Corrente, valor médio das 3 fases



Fonte: Do Autor - 2016

Ficou constatado através da análise de dados, os valores vistos na Tab. 3, que a taxa de distorção harmônica da corrente dadas em porcentagem da fase A, de 1,74 para a ordem de 3<sup>o</sup> harmônica, 4,94 para a ordem de 5<sup>o</sup> harmônica, 3,26 para a ordem de 7<sup>o</sup> harmônica, 0,40 para a ordem de 9<sup>o</sup> harmônica e 0,88 para a ordem de 11<sup>o</sup> harmônica.

A taxa de distorção harmônica da corrente dadas em porcentagem da fase B, de 0,38 para a ordem de 3<sup>o</sup> harmônica, 4,54 para a ordem de 5<sup>o</sup> harmônica, 3,12 para a ordem de 7<sup>o</sup> harmônica, 0,00 para a ordem de 9<sup>o</sup> harmônica e 0,58 para a ordem de 11<sup>o</sup> harmônica.

A taxa de distorção harmônica da corrente dadas em porcentagem da fase C, de 1,13 para a ordem de 3<sup>o</sup> harmônica, 5,10 para a ordem de 5<sup>o</sup> harmônica, 3,57 para a ordem de 7<sup>o</sup> harmônica, 0,00 para a ordem de 9<sup>o</sup> harmônica e 0,67 para a ordem de 11<sup>o</sup> harmônica.

Tabela 3: Taxa de Distorção Harmônica da Corrente

CORRENTE	ORDEM	3	5	7	9	11	HDI %	HDI
402,60 A	IA (%)	1,74	4,9	3,3	0	0,9	1,22	5,17
415,81 A	IB (%)	0,38	4,5	3,1	0	0,6	,62	5,84
411,89 A	IC (%)	1,13	5,1	3,6	0	0,7	0,47	3,12

Fonte: Do Autor – 2016

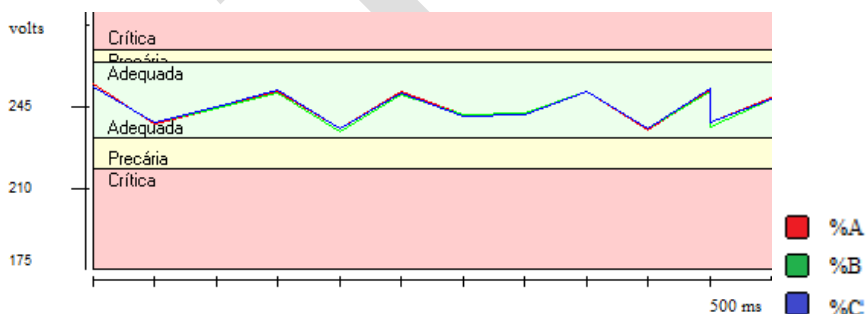
Conforme analisado os dados obtidos de forma individual podemos concluir que os valores obtidos para a taxa de distorção harmônica da corrente nas fases A, B e C, analisando as ordens harmônicas 3°, 5°, 7°, 9°, 11° de forma individual conforme Tab. 3, estes estão abaixo dos valores máximos determinados pela norma IEEE 519 (2014) vistos na seção 2, Tab. 2.

Conforme analisado os dados obtidos de forma total podemos concluir que os valores obtidos para a taxa de distorção harmônica total conforme gráfico da Fig. 7, e Tab. 3 de 11,22 % para fase A, 8,62 % para fase B e 10,47 % para a fase C, que alcançou os 11% de “*THDI*”, ficando comprovado que o circuito ultrapassa os limites determinados pela norma IEEE 519 (2014) sendo o valor máxima determinado de 7% visto na seção 2, e podendo ser comprovados pela equação 7 vistos na seção 2.

## 4.2. Distorção Harmônica da Tensão

Estes distúrbios da harmônica ocorrentes na tensão são os mais prejudiciais, tendo uma maior responsabilidade sobre os impactos anteriormente citados na seção 2. Visto no gráfico da Fig. 8, com os valores de tensões aplicados a carga pelo inversor de frequência durante o período de tempo utilizado para as análises. Observa-se no gráfico da Fig. 8, que o equipamento estudado e analisado sofreu inúmeras variações de carga durante o período determinado de análise, tendo durante maior parte a tensão eficaz aplicada ao motor durante o regime de trabalho entre os valores 230 a 250 V.

Figura 8 - Gráfico da tensão RMS das fases aplica ao motor pelo Inversor de Frequência

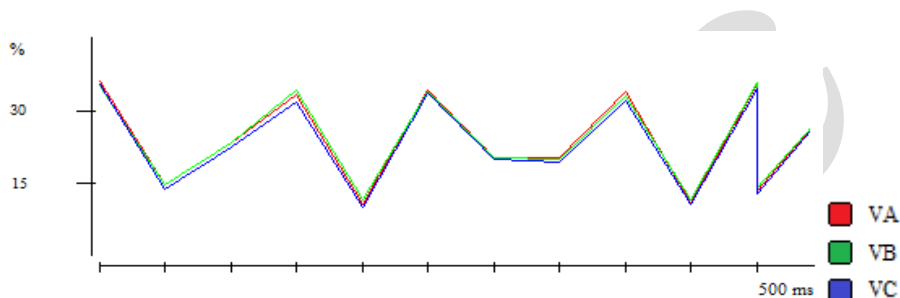


Fonte: Do Autor – 2016

O gráfico da Fig.9 demonstra os valores de distorção harmônica dada em porcentagem em cima da tensão fornecida ao motor em cada uma das fases. Conforme descritos na Tab. 4 e visto na Fig. 9, os valores obtidos de taxa da distorção harmônica separadas por suas respectivas ordens na tensão fornecida pelo inversor de frequência ao motor em cada uma das fases,

valores dados em porcentagem do valor total da tensão fornecida pelo inversor de frequência, e valores dados para taxa de distorção harmônica total são visto em porcentagem e volts.

Figura 9 - Gráfico de porcentagem de Distorções Harmônicas na Tensão, valor RMS das 3 fases



Fonte: Do Autor - 2016

Ficou constatado através da análise de dados, os valores vistos na Tab. 4, que:

- Taxa de distorção harmônica da tensão dadas em porcentagem A, de 9,27% ou 19,78V para a ordem de 3<sup>o</sup> harmônica, 3,70% ou 7,90V para a ordem de 5<sup>o</sup> harmônica, 2,08% ou 4,43V para a ordem de 7<sup>o</sup> harmônica, 3,72% ou 7,93V para a ordem de 9<sup>o</sup> harmônica e 1,45% ou 3,09V para a ordem de 11<sup>o</sup> harmônica.
- Taxa de distorção harmônica da tensão na fase B, de 10,05% ou 21,30V para a ordem de 3<sup>o</sup> harmônica, 3,14% ou 6,65V para a ordem de 5<sup>o</sup> harmônica, 1,65% ou 3,49V para a ordem de 7<sup>o</sup> harmônica, 3,88% ou 8,22V para a ordem de 9<sup>o</sup> harmônica e 1,08% ou 2,15V para a ordem de 11<sup>o</sup> harmônica.

- Taxa de distorção harmônica da tensão na fase C, de 9,94% ou 21,28V para a ordem de 3° harmônica, 3,32% ou 7,12V para a ordem de 5° harmônica, 2,14% ou 4,59V para a ordem de 7° harmônica, 3,86% ou 8,27V para a ordem de 9° harmônica e 0,91% ou 1,95V para a ordem de 11° harmônica.

Tabela 4 - Taxa de Distorção Harmônica da Tensão

FASE	TENSÃO	ORDEM	3	5	7	9	11	DHTU
UA (V)	254,97 V		19,8	7,9	4,43	7,93	3,09	43,15V
UA (%)			9,27	3,7	2,08	3,72	1,45	20,22%
UB (V)	253,41 V		21,3	6,7	3,49	8,22	2,15	41,86V
UB (%)			10,1	3,1	1,65	3,88	1,08	19,81%
UC (V)	253,56 V		21,3	7,1	4,59	8,27	1,95	43,21V
UC (%)			9,94	3,3	2,14	3,86	0,91	20,15%

Fonte: Do Autor - 2016

Conforme analisado os dados obtidos de forma individual podemos concluir que os valores obtidos para a taxa de distorção harmônica da tensão nas fases A, B e C, analisando as ordens harmônicas 7°, 11° de forma individual conforme Tab. 4, estes estão abaixo dos valores máximos determinados pela norma IEEE 519 (2014) vistos na seção 2.

Os valores obtidos para a taxa de distorção harmônica da tensão nas fases A, B e C, analisando as ordens harmônicas 3°, 5° e 9° de forma individual conforme Tab. 4, estes valores estão acima dos valores máximos determinados pela norma sendo estes estabelecidos pela IEEE 519 (2014) e vistos na seção 2.

Conforme analisado os dados obtidos de forma total podemos concluir que os valores obtidos para a taxa de distorção harmônica total, referenciando de 3° a 11° ordem conforme gráfico Fig. 9 e Tab. 4, de 20,22% para fase A, 19,81% para fase B e 20,15% para a fase C, ficando comprovado que o circuito ultrapassa os limites determinados pela norma IEEE 519 (2014) sendo o valor máximo determinado de 7% visto na seção 2, e podendo ser comprovados pela equação 6 vistos na seção 2.

Os valores obtidos para a taxa de distorção harmônica total da tensão conforme gráfico da Fig. 9, e Tab. 4, analisando os valores obtidos para a taxa de distorção harmônica referenciando os valores de 3° a 11° ordem, com relação aos valores medidos pelo analisador de qualidade de energia elétrica, que alcançou os 20% “*THDU*”, estes ficam comprovados que o circuito ultrapassa os limites determinados pela norma IEEE 519 (2014) sendo o valor máximo determinado de 3% podendo ser comprovados pela equação 6 vistos na seção 2

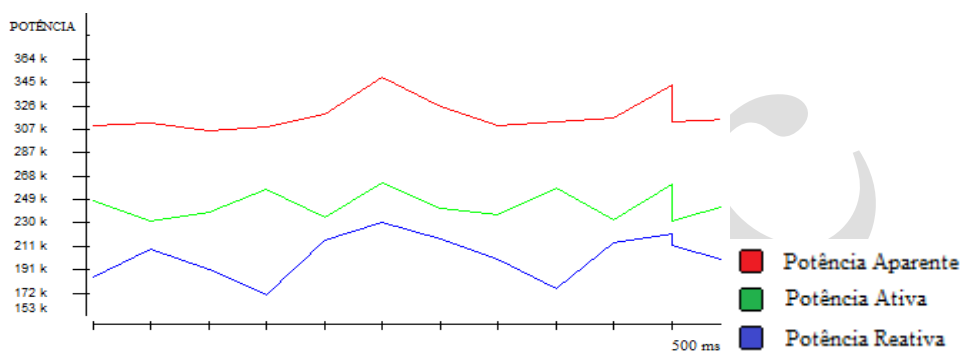
#### **4.3. Potências Aparente, Ativa e Reativa**

No gráfico da Fig. 10 pode ser visto as potências aparente, potência ativa e potência reativa resultantes durante o funcionamento dos equipamentos quando submetidos a diversos esforços conforme a necessidade da planta.

Através da análise do gráfico da Fig. 10, juntamente com a Tab. 5, é possível concluir e diagnosticar o alto índice de potência reativa neste circuito, valor médio de 78 KVAR, esta potência reativa oriunda e gerada

peelo simples funcionamento do inversor de frequência segundo Braga (2014). Descrito na tabela 5 os valores detalhados das potência aparente, potência ativa, potência reativa e fator de potência do equipamento.

Figura 10 - Gráfico das potências resultantes



Fonte: Do Autor – 2016

Ficou constatado através da análise de dados, os seguintes valores para as potências ativa, aparente e reativa neste circuito.

- Potências aparentes nas fases A 98 KVA, fase B 101 KVA, fase C 100 KVA, potência ativa total somatória das fases 299 KVA.
- Potências reativas nas fases A 78 KVAR, fase B 79 KVAR, fase C 79 KVAR, potência ativa total somatória das fases 237 KVAR.
- Potências ativas nas fases A 58 KW, fase B 62 KW, fase C 61 KW, potência ativa total somatória das fases 182 KW.

Tabela 5 - Tabela das Potências e Fator de Potência geradas pelo motor

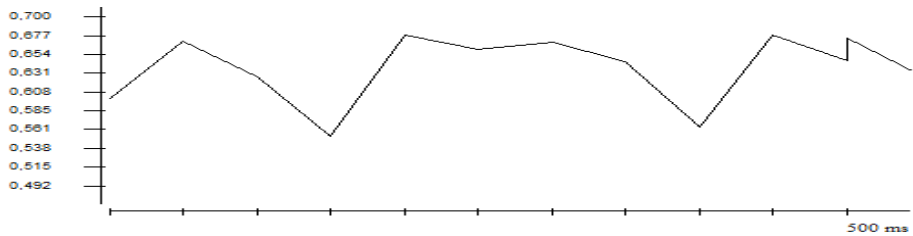
FASE	POTÊNCIAS	P. VALOR	P. TOTAL	FPT
A	AS	98 KVA	299 KVA	0,596
	PA	58 KW	182 KW	
	QA	78 KVAR	237 KVAR	
B	SB	101 KVA		0,622
	PB	62KW		
	QB	79 KVAR		
C	SC	100 KVA		0,61
	PB	61 KW		
	QB	79 KVAR		

Fonte: Do Autor – 2016

#### 4.4. Fator de Potência

A figura 11 apresenta o gráfico que contém fator de potência total FP 0,609 medido durante operação no motor, e o fator de potência em cada uma das fases, fase FPA 0,596, fase FPB 0,622, fase FPC 0,610. Diagnosticando neste circuito um fator de potência baixo na ordem de 0,60 ou ângulo 30.96 de defasagem da tensão em relação à corrente do circuito, conforme determinação da ANEEL, que determina um valor mínimo para o fator de potência de 0,92, fica comprovado o baixo fator de potência deste equipamento.

Figura 11 - Gráfico do Fator de Potência geradas pelo motor

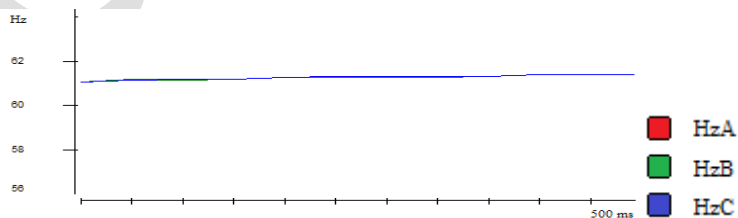


Fonte: Do Autor - 2016

#### 4.5. Frequência de operação do motor durante o período analisado

Visto no gráfico da Fig. 12 que demonstra a frequência de operação do conjunto estudado, motor de indução e inversor de frequência. Fica comprovado que o inversor de frequência está mantendo a velocidade de motor estável durante o período de análise, sendo esta com o valor em aproximado de 61Hz, sendo o valor nominal do motor 60Hz e o máximo permitido pela programação do CLP (controlador lógico programável) da caldeira de 75Hz.

Figura 12 - Gráfico da frequência de operação do motor durante período de analisado



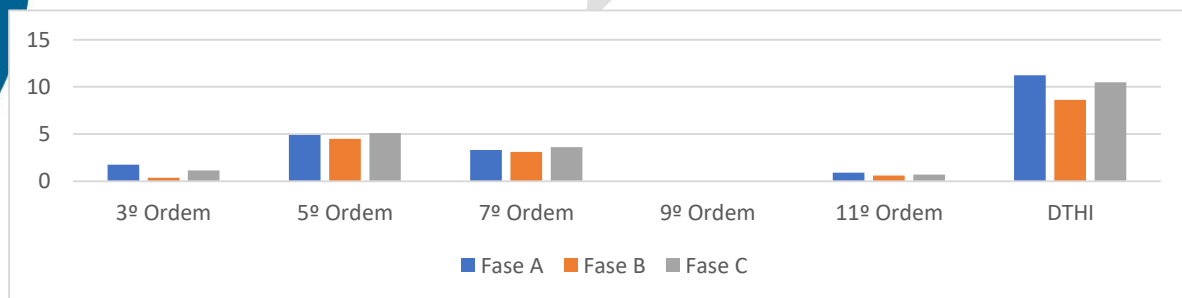
Fonte: Do Autor - 2016

## 5. CONCLUSÃO

Em conformidade com o levantamento bibliográfico utilizado para referenciar e para auxiliar a execução deste estudo, com todas as análises que foram executadas após o recolhimento de dados práticos nos equipamentos da caldeira, motor de indução e inversor de frequência, de forma a garantir a qualidade e confiabilidade dos dados levantados buscando um resultado final satisfatório.

Ficou comprovado que o equipamento o motor de indução está operando de forma prejudicial ao seu funcionamento ideal, podendo comprometer a integridade deste, da rede elétrica trifásica local e a funcionalidade correta da caldeira.

Figura 13 – Histograma – Espectro harmônico da corrente durante período de analisado

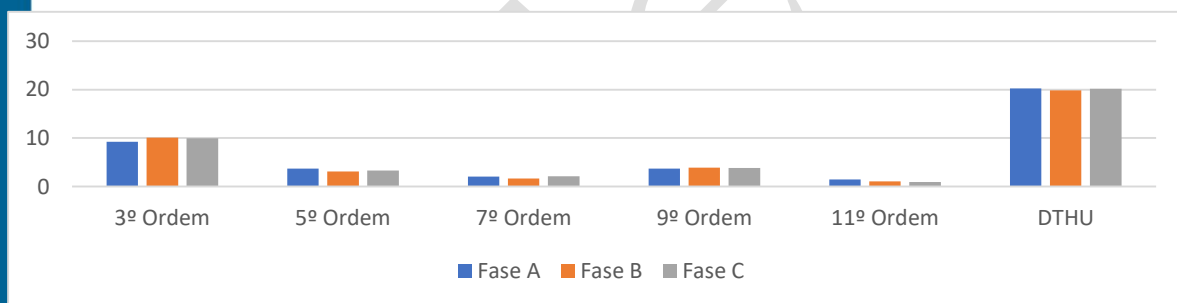


Fonte: Do Autor - 2016

Com base em todas as análises realizadas e comparadas com as normas referenciadas neste estudo, fica comprovado os altos níveis dos distúrbios da harmônica na corrente.

Vistos na Fig. 13, histograma do espectro harmônico da corrente, e apresentados os valores de “*THI*” vistos em porcentagem sendo 1,08% para 3º ordem, 4,83% para 5º ordem, 3,34% para 7º ordem, 0% para 9º, 0,73% para 11º ordem e 10,1% para “*THDI*”, sendo estes valores acima do valor máximo determinado pela IEEE 519 (2014) de 7%, tendo como prováveis consequências os impactos mencionados na seção 2, comprometendo a integridade do motor de indução e prejudicando a rede elétrica trifásica local.

Figura 14 – Histograma – Espectro harmônico da tensão durante período de analisado



Fonte: Do Autor - 2016

Vistos na Fig. 14, histograma do espectro harmônico da corrente, e apresentados os valores de “*THU*” vistos em porcentagem sendo 9,77% para 3º ordem, 3,36% para 5º ordem, 1,96 % para 7º ordem, 3,82% para 9º, 1,15% para 11º ordem e 20,06% para “*THDI*”, sendo estes valores acima do valor máximo determinado pela IEEE 519 (2014) de 3%, tendo como prováveis consequências os impactos mencionados na seção 2, comprometendo a integridade do motor de indução e prejudicando a rede elétrica trifásica local.

Comprovado o alto nível de potência reativa no circuito, como mostrado na Fig. 10 e Tab. 5, valor medido de 79KVAR, comprovada pelas

análises, e visto na Fig. 11 e Tab. 5 o baixo valor para fator de potência 0,6 valor medido, sendo este determinado pela ANEEL como valor mínimo permitido de 0,92, comprovado um sobre dimensionamento do motor de indução para a aplicação mencionada no estudo, sendo este um fator determinante para o baixo fator de potência constatado durante o período de análise deste equipamento.

5.1. Sugestões para futuras análise como indicação para estudos posteriores.

- Correção do baixo fator de potência;
- Dimensionamento de filtro para tratar os distúrbios da harmônica;
- Técnicas de modulação e controle de inversores de frequência.

# **QUALITY ANALYSIS OF ELECTRICITY ON A BOILER BIOMASS TUBULAR WATER**

## **Abstract**

This work addresses power quality in an industrial three-phase electrical system by analyzing the disturbances generated by using a frequency inverter running to control the speed of a 300kW induction motor. For this purpose, an in-depth survey was carried out during continuous operation and the various harmonic disturbances caused in the three-phase electric network were investigated. For the realization of this research and data collection, such as effective voltage, current efficient, active and reactive power without interruption of operation of the boiler motor assembly. It was decided to use an Embrasul brand RE6000 energy quality analyzer. In addition to the analysis, the comparison with the normalized parameters and the calculation of the sizing of the appropriate filter to be inserted in the studied set were carried out, thus improving the quality of energy from the point of view of the local power grid, in line with the normative requirements related in this work.



## REFERÊNCIAS

Artigos, livros e normas:

ARANGO 2007, **Determinação do Circuito Equivalente de Motores de Indução Trifásicos a partir de dados de listas técnicas de fabricantes e considerando-se o efeito da saturação.**

BEZERRA, Abner 2008, **Distorções Harmônicas em Redes Elétricas**, arquivado no curso de Engenharia Elétrica na UPFA.

CAMACHO 2003, **Controle de Velocidade do Motor de Indução Trifásico utilizando Micro controladores para Aplicações em Baixa Potência.**

EMBRASUL 2007, **Manual de Instruções e operação do Analisador de Energia ER 6000.**

FITZGERALD 2014, **Máquinas Elétricas**, 7º Edição.

IEC 1000-2-4 2002, **Níveis de compatibilidade em instalações industriais para distúrbios de baixa frequência.**

IEEE 519 2014, **Prática e Requisitos Recomendados para o Controle Harmônico em Sistemas de Energia Elétrica.**

b

NBR 5410 2004, **Instalações elétricas de baixa tensão.**

NBR 15014 2003, **Conversor a semicondutor - Sistema de alimentação de potência ininterrupta, com saída em corrente alternada.**

NBR 16035 2012, **OS REQUISITOS OBRIGATÓRIOS PARA AS CALDEIRAS E VASOS DE PRESSÃO.**

NBR 17094 2003, **Máquinas elétricas girantes - Motores de indução – Especificação.**

NR 13 2008, **Caldeiras e Vasos de Pressão.**

SCOPACASA 2016, **Gerenciamento Elétrico**, edição 127.

VARIZ 2008, **Cálculo do fluxo de harmônicos em sistemas de potência trifásicos utilizando o método de injeção de correntes com solução iterativa.** Arquivado no Curso de Engenharia de Controle e Automação na Faculdade CEFET-MG.

SCHNEIDER ELETRIC 2003, **Qualidade de Energia Harmônicas.**

TROJAN 2011, **Modulação Senoidal Bipolar PWM Aplicada em Inversores de Frequência**, Arquivado no Curso de Engenharia Elétrica na Faculdade UEL-PR.

ANNEL, Agência Nacional de Energia Elétrica, **Pesquisa e Desenvolvimento da Energia Elétrica – Eficiência Energética**. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br>>

Acesso em: Novembro de 2016.

Artigos em sites:

BRAGA 2014, **Os Inversores de Frequência**. Disponível em: <<http://www.newtonbraga.com.br/index.php/automacao-industrial/5443mec125>>

Acesso em: Maio de 2016.

BURNTECH 2016, **Caldeiras**. Disponível em: <<http://www.burntech.ind.br/br/caldeiras>> Acesso em: Agosto de 2016.

DUTRA 2013, **MIT Equações**, Arquivado no curso de engenharia Elétrica na UFJF. Disponível em: <<http://www.ebah.com.br/content/ABAAAfqfwAK/mit-equacoes>>

Acesso em: Novembro de 2016.

EVANGELISTA 2008, **Efeitos das Distorções Harmônicas (Tensões e Correntes) e Desequilíbrios (Tensões) em Medidores Eletrônicos Trifásicos de Energia Elétrica Ativa**. Disponível em: <[http://www.feis.unesp.br/Home/departamentos/engenhariaelettrica/pos-graduacao/232-dissertacao\\_luiz\\_evangelista.pdf](http://www.feis.unesp.br/Home/departamentos/engenhariaelettrica/pos-graduacao/232-dissertacao_luiz_evangelista.pdf)> Acesso em: Outubro 2016.

FRAGA 2013, **Harmônicas em Inversores de Frequência**.  
Arquivado no Curso de Engenharia de Controle e Automação na  
CEFET/MG, Disponível em:  
<<http://www.ebah.com.br/content/ABAAAAsIAI/harmonicas-inversores-frequencia>> Acesso: Outubro de 2016.

FREIRE 2015, **Escola da Vida - Inversores de Frequência**.  
Disponível em:  
<[http://www.escoladavida.eng.br/mecfluquimica/planejamento\\_12009/Inversores\\_de\\_Frequencia.pdf](http://www.escoladavida.eng.br/mecfluquimica/planejamento_12009/Inversores_de_Frequencia.pdf)> Acesso em: Março de 2016.

GARCIA 1999, **Harmônicas em Sistemas Elétricos de Potência**.  
Disponível em:  
<[http://www.iesa.com.br/institucional/pdf/pdf\\_reativa/ap\\_harmonicosSEPCa\\_p.pdf](http://www.iesa.com.br/institucional/pdf/pdf_reativa/ap_harmonicosSEPCa_p.pdf)>  
Acesso em: Setembro de 2016.

NASCIMENTO 2009, **Análise de Sinais no Tempo Contínuo: A Série de Fourier**, Disponível em:  
<[http://www.univasf.edu.br/~edmar.nascimento/analise/analise\\_aula08.pdf](http://www.univasf.edu.br/~edmar.nascimento/analise/analise_aula08.pdf)>,  
Acesso em: Outubro de 2016.

POMILIO 2003, **Modulação por Largura de Pulso – MLP**.  
Disponível em:  
<http://www.dsce.fee.unicamp.br/~antenor/htmlfile/harmo/fpCAP7/cap7.html>  
Acesso em: Novembro de 2016.

SANTOS, R. C. 2006, **Motores Trifásicos**. Arquivado no curso de tecnologia em Automação Industrial na TORRICELLI. Disponível em: <<http://www.ebah.com.br/content/ABAAAA0jkAK/motores-trifasicos?part=2>>

Acesso em: Fevereiro de 2016.

TEIXEIRA 2009, **Análise das distorções harmônicas – estudo de caso de um sistema industrial**. Disponível em: <<http://www.ppgee.ufmg.br/defesas/308M.PDF>>

Acesso em: Agosto de 2016.

WEG 2014, **Manual geral de instalação, operação e manutenção de motores elétricos**. Disponível em: <<http://ecatalog.weg.net/files/wegnet/WEG-iom-general-manual-of-electric-motors-manual-general-de-iom-de-motores-electricos-manual-geral-de-iom-de-motores electricos-50033244-manual-english.pdf>> Acesso em: Setembro

de 2016.

**Editora**  
**FACULDADE DE TECNOLOGIA**  
**SENAI LONDRINA - e-Tec- V1-2017**