

CENTRO UNIVERSITÁRIO DO SUL DE MINAS – UNIS MG
ENGENHARIA MECÂNICA
DIEGO LUÍS IZIDORO SILVA

**ANÁLISE DE FALHAS MECÂNICAS EM MÁQUINAS DE PRODUÇÃO DE UMA
INDÚSTRIA TÊXTIL**

Varginha
2013

DIEGO LUÍS IZIDORO SILVA

**ANÁLISE DE FALHAS MECÂNICAS EM MÁQUINAS DE PRODUÇÃO DE UMA
INDÚSTRIA TÊXTIL**

Trabalho apresentado ao curso de Engenharia Mecânica do Centro Universitário do Sul de Minas – Unis/MG, como pré-requisito para obtenção do grau de bacharel sob orientação do Prof. Me. Altamiro Caldonazo Júnior.

**Varginha
2013**

DIEGO LUÍS IZIDORO SILVA

**ANÁLISE DE FALHAS MECÂNICAS EM MÁQUINAS DE PRODUÇÃO DE UMA
INDÚSTRIA TÊXTIL**

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

Aprovado em / /

Prof. Me. Luiz Carlos Vieira Guedes

Prof. Me. João Mário Mendes de Freitas

OBS.:

Dedico este trabalho à memória de meus avós,
que me ensinaram muito durante suas vidas, e
a minha família, por ter sempre me apoiado.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a todos os familiares, amigos e colegas que ajudaram na construção deste trabalho.

“A mente que se abre a uma nova ideia jamais
voltará ao seu tamanho original.”

Albert Einstein

RESUMO

Um dos principais transtornos em uma instalação industrial é a falha de uma máquina de produção. As paradas não planejadas causam muitos prejuízos às indústrias. Os custos de uma quebra inesperada são altos e elevam em grandes proporções os gastos de manutenção e produção. No ramo têxtil isto não é diferente. Além disso, há outros fatores negativos relacionados: dificuldade de planejamento e controle da produção, a sobrecarga e estresse nas equipes de manutenção e operação, maior quantidade de refugo, o atraso na produção e na entrega dos produtos e falta de segurança para os trabalhadores. Deste modo, este trabalho visa apresentar soluções e propor mudanças no processo de manutenção e operação de máquinas de uma indústria têxtil de modo a reduzir as falhas mecânicas e, conseqüentemente, as perdas com paradas não programadas. Para isto, foram discutidos os principais tópicos relacionados ao conceito e a evolução da manutenção e as técnicas utilizadas, como preventiva, preditiva e engenharia de manutenção. Em seguida, foram apresentados alguns dos principais métodos de análise de falhas em equipamentos industriais e os principais indicadores de desempenho utilizados. A partir destes conceitos, foi realizado um estudo envolvendo texturizadoras, que são máquinas de processamento de fibras têxteis, como poliéster e náilon. Foram levantadas informações sobre quais técnicas são adequadas para manutenção destes equipamentos e quais técnicas são utilizadas atualmente, para efeito de comparação. Em seguida, foram analisadas as principais causas de falhas mecânicas por meio da aplicação de ferramentas como o FMEA (Análise do Modo e Efeito de Falha), MASP (Método de Análise e Solução de Problemas), RCFA (Análise da causa Raiz da Falha) e RCM (Manutenção Centrada na Confiabilidade). A partir desta análise, foi possível propor ações relacionadas a treinamentos para capacitação de mantenedores, criação e revisão de procedimentos e mudanças no processo de manutenção, operação e desenvolvimento.

Palavras-Chave: Manutenção. Análise de Falhas Mecânicas. Máquina Texturizadora.

ABSTRACT

One of the main disorders in an industrial plant is the failure of a production machine. The unplanned outages cause many losses to industries. The costs of a unexpectedly break are high and elevate in large proportions the maintenance and production expenses. In the textile industry this is no different. In addition, there are others negative factors related: difficulty of planning and production control, overload and stress on maintenance and operation teams, large amount of yarn rejected, delay in production and in delivery of the products, and the lack of safety for the workers. Therefore, this work subject to present solutions and propose changes in the maintenance and operation process in machines of a textile industry in order to reduce the mechanical failures and, consequently, the losses with unscheduled outages. For this, were discussed the main topics related to the concept and the evolution of the maintenance and the techniques used, such as preventive, predictive and maintenance engineering. Then, some of the main methods of analysis of failures in industrial equipment and the main performance indicators used were presented. From these concepts, a study was carried out involving texturizing machines, which are equipments for processing textile fibers, such as polyester and nylon. It was collected information about which techniques are appropriate for maintenance of these machines and which techniques are currently used for the purpose of comparison. Then, the main causes of mechanical failures were analysed through the application of tools such as FMEA (Failure Mode and Effect Analysis), the MASP (Method of Analysis and Troubleshooting), RCFA (Root Cause Failure Analysis) and RCM (Reliability Centered Maintenance). From this analysis, it was possible to propose actions related to courses for training maintainers, creation and revision of procedures, and changes in the process of maintenance, operation and development.

Keywords: *Maintenance. Mechanical Failures Analysis. Texturizing Machine.*

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 01 – Evolução do foco da manutenção.....	14
Figura 02 – Medição de vibrações em um motor.....	18
Figura 03 – Termograma de um equipamento.....	20
Figura 04 – Comparativo entre os tipos de manutenção.....	22
Figura 05 – Máquina texturizadora.....	29
Figura 06 – Histórico Mensal de Paradas de Máquinas em 2013.....	39
Figura 07 – Gráfico de Pareto das Paradas de Máquina.....	40
Figura 08 – Gráfico de Pareto dos Cartões Azuis.....	41
Figura 09 – Borboleta ou guia fio vai-vem.....	42
Figura 10 – Trançado.....	42
Figura 11 – Rolamentos, correias e correntes das texturizadoras.....	43

LISTA DE QUADROS

Quadro 01 – Critérios para determinação do NPR.....	25
Quadro 02 – Exemplo de aplicação do FMEA.....	26
Quadro 03 – Método dos Cinco Porquês.....	26
Quadro 04 – Etapas para realização do MASP.....	27
Quadro 05 – Tipos de manutenção adequados para texturizadoras.....	33
Quadro 06 – Valores de MTBF e MTTR das máquinas texturizadoras.....	35
Quadro 07 – Confiabilidade e probabilidade de falha das máquinas.....	37
Quadro 08 – Aplicação do FMEA.....	44
Quadro 09 – Aplicação dos Cinco Porquês.....	47
Quadro 10 – Ações propostas.....	50

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	11
2 REFERENCIAL TEÓRICO.....	12
2.1 Definição de Manutenção.....	12
2.2 Evolução da Manutenção.....	12
2.3 Tipos de Manutenção.....	14
2.3.1 Manutenção Corretiva.....	15
2.3.2 Manutenção Preventiva.....	16
2.3.3 Manutenção Preditiva.....	17
2.3.3.1 Análise de Vibrações Mecânicas.....	18
2.3.3.2 Ensaio por Ultrassom.....	19
2.3.3.3 Análise de Óleos Lubrificantes.....	19
2.3.3.4 Termografia.....	20
2.3.4 Manutenção Detectiva.....	21
2.3.5 Engenharia de Manutenção.....	21
2.4 Falhas e Panes.....	22
2.5 Indicadores de Desempenho.....	23
2.6 Métodos de Análise de Falhas.....	24
2.6.1 FMEA.....	24
2.6.2 RCFA.....	26
2.6.3 MASP.....	27
2.6.4 RCM.....	28
3 METODOLOGIA.....	29
3.1 Máquinas analisadas.....	29
3.2 Estudos dos métodos de manutenção e análise de falhas.....	30
3.3 Análise da situação atual.....	30
3.4 Análise das falhas mecânicas.....	30
3.5 Apresentação das soluções.....	31
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	32
4.1 Métodos de manutenção adequados para texturizadoras.....	32
4.2 Situação atual.....	34
4.2.1 Procedimentos utilizados.....	34
4.2.2 Indicadores.....	35
4.3 Aplicação dos métodos de análise de falhas.....	39
4.3.1 Identificação e observação do problema conforme MASP.....	39
4.3.2 Análise das causas utilizando FMEA e RCFA.....	44
4.4 Soluções propostas.....	49
4.4.1 Ações de melhoria por NPR.....	50
4.4.1 Propostas de mudanças conforme RCM.....	51
5 CONCLUSÃO.....	52
REFERÊNCIAS.....	53
APÊNDICE A – Diagramas de causa e efeito.....	55

1 INTRODUÇÃO

Com a revolução industrial, as máquinas se tornaram componentes vitais para a produção de energia e bens de consumo para a humanidade. No entanto, um grande problema das máquinas é que elas apresentam defeitos e podem quebrar, gerando muitos inconvenientes como perda de produção, custos não programados e, em casos graves, até mesmo a morte de um trabalhador.

Em muitas empresas, a equipe de manutenção se ocupa em grande parte do tempo de reparar os equipamentos que quebram aleatoriamente. Os mecânicos e eletricitistas estão sempre sobrecarregados, trabalhando sob a constante pressão de ter que reparar imediatamente equipamentos para recomeçar a produção. A equipe trabalha apenas “apagando incêndios”. Nesta situação, os custos de manutenção são, além de elevados, praticamente imprevisíveis. Existe constante tensão entre manutenção e operação, pois a manutenção é sempre vista como a grande vilã que impede a operação de cumprir seu programa de produção (BAPTISTA, 2009).

Para mudar este quadro, a ocorrência de falhas passou a ser estudada com base científica e assim foram desenvolvidas muitas técnicas de manutenção voltadas à prevenção de quebras e técnicas de análise para avaliar as causas dos defeitos. Porém, muitas organizações apesar de conhecerem esse fato, acabam não aplicando estas técnicas por considerarem a metodologia muito teórica.

Além disso, devido aos inúmeros tipos de processos e máquinas existentes no meio industrial, não há um método geral, uma “receita” capaz de determinar como as equipes de manutenção devem agir. Portanto, faz-se necessário que cada empresa desenvolva seus próprios métodos de manutenção, definindo quais as técnicas deverão ser utilizadas em cada equipamento do processo e implantando métodos de análise adequados. Deste modo, as intervenções serão mais eficientes e as causas das falhas poderão ser investigadas para que sejam propostas medidas de melhoria.

Assim, este trabalho visa melhorar a realidade da manutenção em uma indústria têxtil, a partir da aplicação dos conceitos relacionados às técnicas de manutenção e de uma metodologia abrangente de análise de falhas, para que sejam reduzidos os problemas mecânicos que causam paradas nas máquinas e consequentemente reduzindo as perdas de produção e os custos envolvidos no processo.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Abaixo segue referencial teórico abordando definições gerais sobre técnicas de manutenção, análise de falhas e indicadores de desempenho.

2.1 Definição de Manutenção

O termo manutenção pode ser definido como a “combinação de todas as ações técnicas e administrativas, incluindo as de supervisão, destinadas a manter ou recolocar um item em um estado no qual ele possa desempenhar uma função requerida” (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1994, p.6).

A manutenção visa garantir a confiabilidade e a disponibilidade da função dos equipamentos e instalações de modo a atender a um processo de produção ou de serviço, com segurança, custos adequados e ao mesmo tempo preservando o meio ambiente (PINTO; XAVIER, 2009, p.23).

A manutenção deve ser considerada como “Função Estratégica”. O seu correto gerenciamento é um fator de sucesso para lucratividade e para perenidade da empresa. A disponibilidade e a confiabilidade do sistema ou instalação industrial dependem inteiramente da manutenção (CALDONAZO JÚNIOR, 1999, p. 1).

2.2 Evolução da Manutenção

Segundo Branco Filho (2008, p. 47-48), a evolução da manutenção acompanha o desenvolvimento das unidades de produção. Quanto mais sofisticado o processo, mais sofisticada será a manutenção e mais elevado o nível técnico dos profissionais.

Nas últimas décadas, a manutenção tem passado por mais transformações do que qualquer outra atividade. Essa evolução pode ser dividida em Cinco Gerações. A Primeira Geração abrange o período antes da Segunda Guerra Mundial. A indústria era pouco mecanizada. A manutenção consistia apenas em serviços de limpeza, lubrificação e reparo após a quebra. Na Segunda Geração, entre os anos 50 e 70, houve aumento da mecanização e da complexidade das instalações industriais. Devido a maior necessidade de disponibilidade e confiabilidade dos equipamentos, surge a ideia de que as falhas poderiam ser evitadas, o que resultou no conceito de manutenção preventiva (PINTO; XAVIER, 2009, p. 2).

A Segunda Guerra trouxe a necessidade do aumento de produção e cumprimento de metas. A Administração Industrial passou a cobrar das equipes de Manutenção a correção rápida de falhas e serviços para evitar e prevenir a ocorrência de falhas em equipamentos importantes (BRANCO FILHO, 2008, p.51).

A partir da década de 70, surge a Terceira Geração. O processo de mudança nas indústrias foi acelerado e a paralisação da produção (**paradas emergenciais**) era uma preocupação generalizada. Confiabilidade e disponibilidade se tornaram pontos chave devido ao alto nível de automação e mecanização. As exigências ligadas às condições de segurança e de meio ambiente estavam se consolidando. Foi reforçada a utilização da manutenção preditiva e o avanço da informática permitiu o uso de *softwares* potentes, porém com computadores de custo elevado. Mas, devido à falta de interação entre as áreas das empresas, as taxas de falhas prematuras eram elevadas (PINTO; XAVIER, 2009, p. 3-4, grifo nosso).

Ainda durante a Terceira Geração, começaram a surgir novos conceitos que visavam à melhoria da manutenção. Entre 1970 e 1980, foi introduzida a ideia de que o ciclo de vida de um equipamento deveria ser controlado e maximizado. Assim surgiu a Terotecnologia, que se trata de uma combinação de “gerenciamento, finanças, engenharia e outras práticas aplicadas a bens físicos disponíveis, na busca de ciclos de vidas econômicos”. A criação da filosofia TPM (Manutenção Produtiva Total) também surgiu exigindo mais treinamentos, limpeza no local de trabalho e participação de todos na manutenção. Outro conceito importante foi a RCM (Manutenção Centrada na Confiabilidade), que introduziu técnicas para melhoria dos programas de manutenção (BRANCO FILHO, 2008, p. 52-53).

Após os anos 90, a evolução da manutenção resulta numa Quarta Geração. A alta disponibilidade e confiabilidade dos equipamentos passam a ser o foco da Manutenção. A Engenharia de Manutenção consolida suas atividades. O desafio passa a ser a minimização das falhas prematuras, a **análise de falhas** torna-se uma metodologia consagrada e as práticas de manutenção preditiva passam a ser cada vez mais utilizadas fazendo com que haja redução da preventiva. A sistemática adotada pelas empresas passa a privilegiar a interação entre as áreas de engenharia, manutenção e operação e ser função estratégica da empresa (PINTO; XAVIER, 2009, p. 4, grifo nosso).

Nos últimos anos, ainda é possível o destaque para uma Quinta Geração, onde as práticas adotadas na Quarta Geração são mantidas, mas o enfoque nos resultados empresariais é obtido através da sistemática de Gestão de Ativos. Com relação à manutenção, ocorre o aumento da manutenção preditiva, participação efetiva no projeto, aquisição, instalação,

operação e manutenção, monitoramento de performance, aprimoramento na relação entre departamentos e excelência em Engenharia de Manutenção (PINTO; XAVIER, 2012, p. 5)

“Do ponto de vista gerencial, a manutenção passou de um ponto em que toda a sua técnica de gerenciamento era conseguida na vida prática para o ponto atual onde temos uma série de estudos e técnicas próprias de gerenciamento.” (BRANCO FILHO, 2008, p.56).

A figura abaixo mostra a evolução do foco da manutenção através das gerações:

Figura 1 – Evolução do foco da manutenção



Fonte: o autor.

2.3 Tipos de Manutenção

Existe uma grande variedade de denominações para classificar a atuação da manutenção. Muitas vezes, isto provoca certa confusão na caracterização dos tipos de manutenção. Por isso, é importante uma caracterização mais objetiva, desde que, independente das denominações, todos os tipos de manutenção se encaixem em um dos seis tipos principais citados abaixo:

- a) Manutenção Corretiva Não Planejada;
- b) Manutenção Corretiva Planejada;
- c) Manutenção Preventiva;
- d) Manutenção Preditiva;
- e) Manutenção Detectiva;
- f) Engenharia de Manutenção (PINTO; XAVIER, 2009, p.37).

2.3.1 Manutenção Corretiva

A manutenção corretiva é aquela “efetuada após a ocorrência de uma pane e destinada a recolocar um item em condições de executar uma função requerida.” (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1994, p.7). É a “atuação para correção da falha ou desempenho menor do que o esperado” (PINTO; XAVIER, 2009, p. 38). É a “intervenção necessária imediatamente para evitar graves consequências aos instrumentos de produção, à segurança do trabalhador ou ao meio ambiente.” (VIANA, 2002, p. 09).

De acordo com Pereira, (2011, p. 102), a manutenção corretiva teve sua denominação conhecida por volta de 1914 e atualmente ainda é a forma mais comum para reparo de um equipamento com problema. Essa técnica se caracteriza pela falta de planejamento, custos relativamente altos e desprezo pelas perdas de produção. Viana (2002, p.10) caracteriza a manutenção corretiva como “uma intervenção aleatória e sem definições anteriores, sendo conhecida nas fábricas como ‘apagar incêndios’”.

A manutenção corretiva pode ser dividida em Não Planejada (também conhecida como Não Programada ou Emergencial) e Planejada (Programada) (PINTO; XAVIER, 2009, p. 39).

A manutenção corretiva emergencial ocorre sem nenhuma previsão e a programada representa ocorrências com frequência determinada por estudos estatísticos ou serviços corretivos programados com antecedência (PEREIRA, 2011, p. 102).

No caso da manutenção corretiva não planejada, a atuação é realizada após a falha (ou desempenho menor do que o esperado). Não há tempo para preparação do serviço. Além disso, este tipo de intervenção implica altos custos, pois uma quebra inesperada pode acarretar perdas de produção, perda da qualidade do produto e gerar consequências desastrosas para o equipamento (PINTO; XAVIER, 2009, p. 39).

Diferentemente, a manutenção corretiva planejada é mais barata, mais rápida e mais segura do que a emergencial. Logo, a qualidade do serviço é superior. A intervenção ocorre por decisão gerencial que, por sua vez, é normalmente baseada na modificação dos parâmetros observados pela manutenção preditiva (PINTO; XAVIER, 2009, p. 41).

Segundo Pereira (2011, p. 102), a manutenção corretiva apesar de ser vista como transtorno não é uma técnica totalmente descartada. Em alguns casos ela pode ser aplicada e se mostra mais vantajosa se comparada a outras técnicas de manutenção. Alguns desses casos são descritos a seguir:

- a) Ativos com baixo custo operacional;
- b) Ativos que possuem backup;
- c) Ativos que possuem operação mais rápida que os posteriores;
- d) Ativos não considerados gargalos (críticos);
- e) Ativos de fácil manutenção;
- f) Ativos cujos técnicos de manutenção são bem treinados para pronto reparo.

2.3.2. Manutenção Preventiva

A manutenção preventiva é aquela “efetuada em intervalos predeterminados, ou de acordo com critérios prescritos, destinada a reduzir a probabilidade de falha ou a degradação do funcionamento de um item.” (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1994, p.7). É “todo serviço de manutenção realizado em máquinas que não estejam em falha, mas que estão em condições operacionais.” (VIANA, 2002, p.11). É a “atuação realizada de forma a reduzir ou evitar a falha ou queda no desempenho, obedecendo a um plano previamente elaborado, baseado em intervalos definidos de tempo.” (PINTO; XAVIER, 2009, p. 42).

Segundo Pereira (2011, p. 110), a manutenção preventiva se originou na indústria aeronáutica ou de aviação por volta de 1930. Surgiu pela necessidade do aumento da disponibilidade e de confiabilidade dos ativos.

Ao contrário da manutenção corretiva, a intervenção preventiva procura evitar a ocorrência de falhas, ou seja, prevenir (PINTO; XAVIER, 2009, p. 42).

As pautas preventivas são definidas através de uma análise prévia dos técnicos em manutenção (VIANA, 2002, p.11). Para elaborar os planos, que devem conter as tarefas e frequências das intervenções, a equipe de manutenção deve buscar todas as informações possíveis dos equipamentos como, por exemplo, manuais, históricos e relatos de operadores e mantenedores (PEREIRA, 2011, p. 115).

Através de um plano de preventivas bem elaborado, é possível ter uma ideia consistente dos materiais necessários para manter os instrumentos de produção em perfeito estado e saber quando deverão ser utilizados. Isto proporciona uma redução drástica no fator improvisação e a qualidade do serviço alcança um nível bem mais alto que em um ambiente onde predomina a manutenção corretiva. Além disso, a manutenção preventiva possibilita

melhor controle dos equipamentos, redução de paradas de emergência (panes inesperadas) e melhora a autoestima da equipe (VIANA, 2002, p. 11-12).

Apesar de proporcionar conhecimento prévio das ações, gerenciamento das atividades e nivelamento de recursos, além de outras vantagens, a manutenção preventiva possui alguns pontos negativos. O primeiro fato se refere à retirada do equipamento ou sistema de operação para execução dos serviços programados. Além disso, durante a intervenção podem ser introduzidos defeitos nos equipamentos devido a falhas humanas e/ou falhas dos procedimentos de manutenção e também danos durante partidas e paradas (PINTO; XAVIER, 2009, p. 44).

Portanto, é preciso identificar e classificar adequadamente os ativos (equipamentos) de uma organização para decidir se será vantajosa a implantação de programas preventivos. Em caso positivo, os planos elaborados deverão ser enxutos, contendo apenas tarefas importantes, isto é, ações de revisão em pontos fundamentais dos equipamentos que devem ser realizadas com maior eficiência possível para aumentar a disponibilidade e a confiabilidade, reduzindo paradas e falhas (PEREIRA, 2011, p. 114-115).

2.3.3 Manutenção Preditiva

A manutenção preditiva é a que “permite garantir uma qualidade de serviço desejada, com base na aplicação sistemática de técnicas de análise, utilizando-se de meios de supervisão centralizados ou de amostragem, para reduzir ao mínimo a manutenção preventiva e diminuir a manutenção corretiva.” (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1994, p.7). São “tarefas de manutenção que visam acompanhar a máquina ou as peças, por monitoramento, medições ou controle estatístico e tentam prever a proximidade da ocorrência da falha.” (VIANA, 2002, p.12). É a “atuação realizada com base na modificação de parâmetros de condição ou desempenho, cujo acompanhamento obedece a uma sistemática.” (PINTO; XAVIER, 2009, p. 44).

O objetivo da preditiva é a determinação do tempo correto da intervenção mantenedora, evitando desmontagens para inspeção, e a utilização do componente até o máximo de sua vida útil (VIANA, 2002, p. 12). As técnicas preditivas são utilizadas para monitorar as condições do equipamento. Quando necessária, a correção é realizada por meio de uma manutenção corretiva planejada. (PINTO; XAVIER, 2009, p. 45).

O acompanhamento realizado pode ser feito de três formas:

- a) Acompanhamento ou monitoração subjetiva: variáveis como temperatura, ruído e folgas são monitoradas através dos sentidos (tato, audição, visão e olfato);
- b) Acompanhamento ou monitoração objetiva: realizada com base em medições utilizando equipamentos ou instrumentos especiais;
- c) Monitoração contínua: sistemas que monitoram, em tempo real, variáveis como vibração e temperatura e que, alarmam e até mesmo param ou desligam os equipamentos, uma vez atingido o valor limite estipulado (PINTO; XAVIER, 2009, p. 236-241).

As quatro técnicas preditivas mais usadas em indústrias que optam por esse tipo de manutenção são: análise de vibrações mecânicas, ensaio por ultrassom, análise de óleos lubrificantes e termografia (VIANA, 2002, p. 12).

2.3.3.1 Análise de Vibrações Mecânicas

A vibração mecânica é um movimento oscilatório em torno de uma referência. Quando este movimento atinge níveis críticos, os efeitos são desgaste e fadiga que certamente causam quebras definitivas. Ao colocar instrumentos (como sensores ou acelerômetros) em pontos adequados do equipamento a vibração pode ser medida e, com a análise dessas vibrações é possível identificar componentes que podem falhar (VIANA, 2002, p. 13). A figura abaixo mostra a medição de vibração em um equipamento:

Figura 2 – Medição de vibrações em um motor



Fonte: (RA CAMARGO, 2013).

O acompanhamento e análise de vibrações estão entre os métodos mais importantes de predição. São utilizados especialmente em equipamentos rotativos, onde a metodologia, instrumentos, aparelhos e softwares se encontram num estágio bastante avançado (PINTO; XAVIER, 2009, p. 244).

2.3.3.2 Ensaio por Ultrassom

O princípio do ensaio por ultrassom é a emissão de um sinal sonoro de alta frequência. O aparelho emite o sinal que depois é refletido de volta pelo componente que está sendo avaliado. O tempo decorrido entre a emissão e a reflexão do sinal é lido pelo instrumento e analisado (PINTO; XAVIER, 2009, p. 279).

O objetivo do ensaio por ultrassom é a detecção de defeitos ou discontinuidades internas, presentes em diversos materiais ferrosos e não ferrosos. O ensaio é do tipo não destrutivo. As vantagens desta técnica são a sensibilidade para detecção, fácil interpretação das indicações do aparelho e segurança.

Os defeitos encontrados na maioria das vezes são caracterizados pelo próprio processo de fabricação, como por exemplos trincas microscópicas em peças, bolhas de gás em metais fundidos e inclusão de escória em uniões soldadas (VIANA, 2002, p.12).

2.3.3.3 Análise de Óleos Lubrificantes

A análise do lubrificante tem por objetivos principais a determinação do momento exato da troca do lubrificante e a identificação de sintomas de desgaste de componentes (VIANA, 2002, p. 15).

As técnicas mais difundidas de análise de lubrificante são a análise em laboratório para verificação das características do óleo e a análise das partículas contidas em seu interior, oriundas de desgaste (PINTO; XAVIER, 2009, p. 292).

Segundo Viana (2002, p. 16), para realizar estes tipos de técnicas de análise de lubrificantes, é necessário um aparato laboratorial eficiente com vários tipos de instrumentos para analisar diversas características dos óleos que se estiverem inadequadas podem comprometer os equipamentos. Algumas características que devem ser analisadas são:

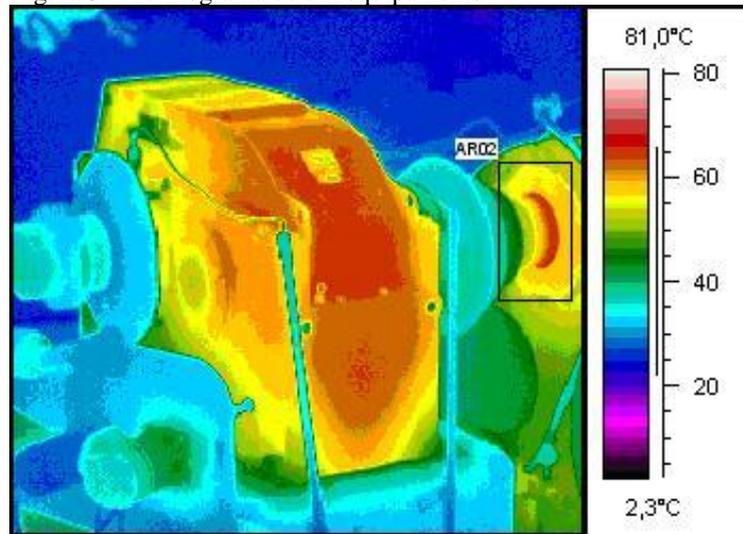
- a) Nível de contaminação de água;
- b) Quantidade de resíduos de carbono;

- c) Viscosidade do óleo;
- d) Acidez do óleo;
- e) Ponto de congelamento;
- f) Ponto de fulgor (inflamação).

2.3.3.4 Termografia

A termografia é uma técnica de manutenção preditiva que consiste no acompanhamento de temperaturas e formação de imagens térmicas (ver figura 3 abaixo), conhecidas por termogramas (PINTO; XAVIER, 2009, p. 273).

Figura 3 – Termograma de um equipamento



Fonte: (ENGEFAZ, 2013).

Segundo Pereira (2011, p. 120), o princípio da termografia está baseado na medição da distribuição de temperatura superficial do objeto ensaiado, quando este estiver sujeito a tensões térmicas (normalmente calor). A medição é realizada pela detecção de radiação térmica ou infravermelha emitida pelo corpo, equipamento ou objeto.

Alguns exemplos da aplicação desta técnica são:

- a) Verificação de componentes elétricos defeituosos ou com mau contato;
- b) Análise de vazamentos em válvulas de segurança;
- c) Verificação de mancais em máquinas rotativas;
- d) Verificação de refratários de fornos;
- e) Análise dos tubos em caldeiras (PINTO; XAVIER, 2009, p. 274).

2.3.4 Manutenção Detectiva

Manutenção Detectiva é “a atuação efetuada em sistemas de proteção, comando e controle, buscando detectar **falhas ocultas** ou não perceptíveis ao pessoal de operação e manutenção.” (PINTO; XAVIER, 2009, p. 47, grifo do autor).

As falhas ocultas são aquelas que não são possíveis de perceber, a menos que outra falha ocorra. A falha não se torna evidente para o operador ou o profissional de manutenção, mas expõe a instalação à possibilidade de ocorrência de falhas múltiplas, normalmente com consequências sérias para o processo produtivo, pois a maioria destas falhas está associada aos dispositivos de proteção como sensores, sistemas contra incêndios e outros (POSSAMAI; NUNES, 2001, p. 3).

Desse modo, as tarefas executadas para verificar o funcionamento de um sistema representam a Manutenção Detectiva. Os especialistas verificam o sistema, sem tirá-lo de operação e detectam as falhas ocultas e corrigem a situação mantendo o sistema operando. Um exemplo simples deste tipo de intervenção é o botão de teste de lâmpadas de sinalização e alarmes em painéis (PINTO; XAVIER, p. 47-49).

2.3.5 Engenharia de Manutenção

De acordo com Branco Filho (2008, p. 51), a Engenharia de Manutenção surgiu por volta de 1950 a 1960 em resposta à necessidade de garantir o bom funcionamento das máquinas. Foi criado um órgão, uma equipe especializada, que efetuava estudos para tornar os equipamentos mais confiáveis. Os estudos eram em torno de diminuir o tempo de reparos, tornar as equipes mais eficientes, melhorar os métodos de manutenção, otimizar o local de trabalho, análise de falhas, entre outros.

“A Engenharia de Manutenção é o suporte técnico da manutenção” e está dedicada a consolidar as rotinas e implantar melhorias aplicando as melhores técnicas e perseguindo a excelência. Entre suas principais atribuições estão:

- a) Aumentar a confiabilidade, a disponibilidade e a segurança;
- b) Melhorar a manutenibilidade e a capacitação do pessoal;
- c) Eliminar problemas crônicos e solucionar problemas tecnológicos;
- d) Gerir materiais e sobressalentes;
- e) Participar de novos projetos;

- f) Dar suporte à execução;
- g) Fazer **Análise de Falhas** e estudos;
- h) Elaborar planos de manutenção e inspeção;
- i) Acompanhar os indicadores;
- j) Zelar pela Documentação Técnica (PINTO; XAVIER, 2009, p. 50, grifo nosso).

A figura abaixo mostra um comparativo entre os tipos de manutenção com relação aos custos, disponibilidade, confiabilidade, segurança e meio ambiente:

Figura 4 – Comparativo entre os tipos de manutenção



Fonte: (PINTO; XAVIER, 2012, p. 33).

2.4 Falhas e Panes

A falha pode ser definida como o “término da capacidade de um item de desempenhar a sua função”. Esta falha pode ser classificada de várias maneiras: falha crítica, de projeto, de fabricação, aleatória, gradual, etc. Uma pane é o “estado de um item caracterizado pela incapacidade de desempenhar uma função requerida, excluindo a incapacidade durante a manutenção preventiva ou outras ações planejadas, ou pela falta de recursos externos”. A pane ocorre após a falha. A “falha” é um evento; diferente de “pane” que é um estado (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1994, p.3-4).

Segundo Viana (2002, p. 11), “um dos fatos mais desagradáveis no cotidiano da produção é uma pane inesperada”. Além de uma parada no processo de fabricação, aumento dos custos de manutenção e produção, este tipo de evento também causa um grande mal-estar na equipe de execução e planejamento e se configura um grande contraponto em relação ao objetivo principal da manutenção, que é garantir a confiabilidade e disponibilidade dos equipamentos.

De acordo com Branco Filho (2010, p.12), “as perdas financeiras e os prejuízos devidos a estas quebras são inevitáveis”. Exemplos destas perdas é o desperdício de matéria-prima, energia gasta em vão e mão de obra usada desnecessariamente.

2.5 Indicadores de Desempenho

Os Indicadores de Manutenção são dados estatísticos relativos a um ou diversos processos de manutenção que desejamos controlar. Usados para comparar e avaliar situações atuais com situações anteriores. Servem para medir o desempenho contra metas e padrões estabelecidos. (BRANCO FILHO, 2006, p. 2).

Entre os indicadores de desempenho mais utilizados pela manutenção nas indústrias atualmente estão:

- a) MTBF (*Mean Time Between Failures* ou Tempo Médio Entre Falhas): Este indicador representa o tempo médio entre a ocorrência de uma falha e outra de um equipamento. Mede também o tempo de funcionamento do ativo diante da necessidade de produção até a próxima constatação de quebra.
- b) MTTR (*Mean Time to Repair* ou Tempo Médio Para Reparo): Representa o tempo médio que o mantenedor leva para colocar o equipamento de volta em condições de operação. É considerado o tempo entre a solicitação de manutenção e a liberação para produção (PEREIRA, 2001, p. 118).
- c) Probabilidade de falha e Confiabilidade: representam respectivamente, qual a probabilidade de acontecer uma falha para um determinado tempo da máquina em operação e a probabilidade de não ocorrer falha (PEREIRA, 2001, p. 118). Estes valores podem ser calculados por meio de um método estatístico chamado de distribuição de Weibull, onde a probabilidade de falha F e a confiabilidade C em um tempo de operação t são iguais a:

$$F(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t}{\alpha}\right)^\beta} \quad (I)$$

$$C(t) = 1 - F(t) \quad (II)$$

O parâmetro α representa o tempo em que 63,2 % do sistema analisado falha e β representa o modo de falha ($\beta < 1$: mortalidade infantil do equipamento; $\beta = 1$: falhas aleatórias; $\beta > 1$: falhas por fadiga). Os valores α e β podem ser calculados através de um método estatístico chamado de regressão linear (SELLITO, 2002, p. 3-4). Para isso é necessário fornecer no mínimo três valores de tempos entre falhas (TEF) do equipamento ou sistema a ser analisado. Exemplo: uma bomba falha com 50 horas de operação, depois falha com 75 horas e novamente com 68 horas. Logo, os valores de TEF serão 50, 75 e 68. Para efetuar o cálculo pode ser utilizado o software *Microsoft® Office Excel Professional Plus 2010* (SILVEIRA, 2012).

2.6 Métodos de Análise de Falhas

Para a obtenção do aumento da confiabilidade dos equipamentos instalados nas plantas industriais é imprescindível a utilização de técnicas de análise de falhas. Quando a manutenção, através de seu pessoal ou em grupos multidisciplinares utiliza essas ferramentas, está praticando Engenharia de Manutenção. Essas técnicas, basicamente, identificam a causa do problema, sugerem uma ação de bloqueio e solução dos problemas que impactam negativamente a confiabilidade de equipamentos ou instalações. (XAVIER, 2008, p. 9).

Segundo Xavier (2008, p. 9), as técnicas de análise de falhas mais utilizadas são:

- a) FMEA (*Failure Mode and Effect Analysis*): Análise do Modo e Efeito da Falha;
- b) RCFA (*Root Cause Failure Analysis*): Análise da Causa Raiz da Falha;
- c) MASP: Método de Análise e Solução de Problemas;
- d) RCM (*Reliability Centered Maintenance*): Manutenção Centrada na Confiabilidade (que é também conhecida pela sigla em português MCC e trata-se de uma metodologia que abrange outros aspectos da manutenção, além da análise de falhas).

2.6.1 FMEA

O FMEA (*Failure Mode and Effect Analysis*) é uma técnica de engenharia utilizada para definir, identificar e eliminar falhas conhecidas ou potenciais, de sistemas, projetos, processos e/ou serviços, antes que estas atinjam o cliente. (STAMATIS, 2003 apud LEAL et al, 2006, p. 3).

Através do FMEA, as falhas potenciais de uma máquina são hierarquizadas e são fornecidas ações preventivas. Alguns dos conceitos necessários para a análise são:

- a) Causa: meio pelo qual um elemento resulta em falha;
- b) Efeito: consequência indesejada de uma falha;

- c) Modos de falha: maneiras possíveis de a máquina falhar;
- d) Frequência (F): probabilidade de ocorrência da falha;
- e) Gravidade (G) ou Severidade: indica como a falha afeta o usuário ou cliente;
- f) Detectabilidade (D): indica o grau de facilidade de detecção da falha;
- g) Número de Prioridade de Risco (NPR): resultado do produto matemático da Frequência, Gravidade e Detectabilidade. Esse índice indica a prioridade da falha (PINTO; XAVIER, 2012, p. 145-146).

Para determinar os valores para frequência, gravidade e detectabilidade para compor o NPR, existem algumas recomendações, como as mostradas no quadro a seguir:

Quadro 1 – Critérios para determinação do NPR

Componente do NPR	Classificação	Peso
Frequência – F	Improvável	1
	Muito Pequena	2 a 3
	Pequena	4 a 6
	Média	7 a 8
	Alta	9 a 10
Gravidade – G	Apenas perceptível	1
	Pouca importância	2 a 3
	Moderadamente grave	4 a 6
	Grave	7 a 8
	Extremamente grave	9 a 10
Detectabilidade – D	Alta	1
	Moderada	2 a 5
	Pequena	6 a 8
	Muito Pequena	9
	Improvável	10
NPR	Baixo	1 a 50
	Médio	50 a 100
	Alto	100 a 200
	Muito Alto	200 a 1000

Fonte: (PINTO; XAVIER, 2012, p. 147).

De acordo com Fernandes (2005), os principais passos para a execução de um FMEA são os seguintes:

- a) Identificar modos de falha conhecidos e potenciais;
- b) Identificar os efeitos de cada modo de falha e a sua gravidade;

- c) Identificar as causas possíveis para cada modo de falha e a probabilidade de ocorrência (frequência) de falhas relacionadas a cada causa;
- d) Identificar o meio de detecção no caso da ocorrência do modo de falha e sua respectiva probabilidade de detecção (detectabilidade);
- e) Avaliar o potencial de risco de cada modo de falha (calcular NPR) e definir medidas de eliminação ou redução do risco das falhas críticas.

O quadro a seguir mostra um exemplo de aplicação do FMEA:

Quadro 1 – Exemplo de Aplicação do FMEA

Componente ou processo	Função	Possíveis Falhas								Ações de Melhoria
		Modo	Efeito	G	Causa	F	Detecção	D	NPR	
Sistema hidráulico Empilhadeira	Transmitir Forças	Mangueira hidráulica rompida	Vazamento de óleo	4	Mangueira mal encaixada	4	Inspeção Visual	3	48	Projetar nova conexão para a mangueira

Fonte: o autor.

2.6.2 RCFA

A Análise da Causa Raiz da Falha é um “método ordenado de buscar as causas dos problemas e determinar ações apropriadas para evitar sua reincidência”. É um exercício de investigação de causas. A metodologia da RCFA baseia-se no método de questionamento dos Cinco Porquês, que consiste basicamente em perguntar em torno de cinco vezes o porquê de o problema ter acontecido e após encontrar a causa raiz, são propostas medidas para evitá-la. (PINTO; XAVIER, 2012, p. 150).

Abaixo está um exemplo de sua utilização:

Quadro 3 – Método dos Cinco Porquês

PROBLEMA	Grau de satisfação dos clientes em relação ao produto X está baixo.
POR QUÊ?	Porque o produto X apresentou várias falhas.
POR QUÊ?	Porque as atividades de teste não foram executadas.
POR QUÊ?	Porque o projeto estava atrasado.
POR QUÊ?	Porque se gastou mais tempo que o previsto na fase de desenvolvimento.
POR QUÊ?	Porque uma nova tecnologia foi utilizada e os desenvolvedores não receberam treinamento.
AÇÃO	Providenciar treinamento para os desenvolvedores.

Fonte: (SCHOTS, 2010, p. 18-19).

2.6.3 MASP

O Método de Análise e Solução de Problemas (MASP) é um “processo de melhoria que apresenta oito etapas, sendo que cada uma delas contribui para a identificação dos problemas e a elaboração de ações corretivas e preventivas para eliminá-los ou minimizá-los” (BASTIANI, 2012).

O quadro abaixo apresenta as etapas utilizadas para realização do MASP:

Quadro 4 – Etapas para realização do MASP

ETAPA	DESCRIÇÃO
ETAPA 1 – IDENTIFICAÇÃO	Escolha do problema
	Levantar histórico do problema
	Mostrar perdas atuais e possíveis ganhos
	Fazer análise de pareto
	Nomear responsáveis
ETAPA 2 – OBSERVAÇÃO	Coletar dados e observar o local
	Estabelecer metas e cronograma e orçamentos
ETAPA 3 – ANÁLISE	Definir causas influentes
	Escolher causas mais prováveis
	Analisar causas mais prováveis
ETAPA 4 - PLANO DE AÇÃO	Elaborar estratégia de ação
	Elaborar plano de ação
ETAPA 5 – AÇÕES	Treinar equipe
	Executar ações
ETAPA 6 – VERIFICAÇÃO	Comparar resultados
	Listar efeitos secundários
	Verificar continuidade ou não do problema
ETAPA 7 – PADRONIZAÇÃO	Elaborar ou alterar padrão
	Comunicar
	Treinar e educar
ETAPA 8 – CONCLUSÃO	Acompanhar utilização do padrão
	Relacionar problemas remanescentes
	Planejar ataque aos problemas remanescentes
	Refletir

Fonte: (BASTIANI, 2012).

2.6.4 RCM

A Manutenção Centrada na Confiabilidade é uma metodologia utilizada para assegurar que quaisquer componentes de um ativo ou um sistema operacional mantenham suas funções, sua condição de uso com segurança, qualidade, economia e ainda que seu desempenho não degrade o meio ambiente. (PEREIRA, 2011, p. 110).

A abordagem clássica da RCM inclui:

- a) Seleção do sistema;
- b) Definição de sua função e os padrões de seu desempenho;
- c) Determinação das falhas funcionais;
- d) Análise dos modos e efeitos das falhas;
- e) Determinação de ações para prevenção das falhas (PINTO; XAVIER, p. 158).

De acordo com Pereira (2011, p. 110), esta metodologia engloba não só a análise de falhas, mas também indica diretamente modificações no processo de manutenção como a redução de manutenção preventiva por meio de tarefas que atuem apenas nos pontos críticos do equipamento e prevendo a substituição de componentes antes da falha, garantia de utilização do equipamento a custos mínimos e política geral de redução de por meio da análise detalhada de todo o processo de manutenção. Esta metodologia não substitui o enfoque da manutenção tradicional (preventiva, preditiva, reformas, etc.), porém é mais uma ferramenta para auxiliar a gestão.

3 METODOLOGIA

A metodologia utilizada e apresentada a seguir está estruturada para a realização de análise de falhas mecânicas por meio dos métodos apresentados anteriormente (FMEA, RCFA, MASP e RCM). O trabalho será realizado em quatro etapas distintas conforme abaixo:

- a) Estudo dos métodos de manutenção e métodos de análise de falhas;
- b) Análise da situação atual das máquinas e métodos utilizados no reparo;
- c) Análise das principais falhas e suas causas;
- d) Apresentação das soluções para as falhas.

3.1 Máquinas analisadas

O trabalho foi desenvolvido por meio da análise de trinta e seis texturizadoras convencionais (texturização por falsa torção – ver figura 5). Estas máquinas são de fabricação alemã (modelos AFK e M/V900 da Barmag) e são responsáveis pelo processo de texturização, que consiste na transformação de fios contínuos, sintéticos ou artificiais.

As principais fibras têxteis que passam por este processo nestas máquinas são o poliéster e a poliamida (náilon), que são fibras sintetizadas a partir do petróleo. Na texturização, o fio tem seu volume e sua elasticidade aumentados e se torna adequado para tingimento e tecelagem.

Figura 5 – Máquina Texturizadora



Fonte: o autor.

3.2 Estudos dos métodos de manutenção e análise de falhas

Nesta fase foram estudados e analisados os principais conceitos relacionados aos procedimentos que devem ser utilizados na manutenção das texturizadoras. O objetivo desta etapa foi obter o maior número de informações técnicas relacionadas às atividades operacionais desenvolvidas por equipes de manutenção em componentes existentes nas texturizadoras.

Entre os principais tópicos que foram abordados neste estudo estão:

- a) Componentes da máquina;
- b) Criticidade das falhas;
- c) Procedimentos de manutenção (corretiva, preventiva, preditiva, etc.).

3.3 Análise da situação atual

Nesta etapa foram realizadas três análises distintas:

- a) Procedimentos de manutenção utilizados: as atividades das equipes de manutenção foram acompanhadas e comparou-se o que é abordado em literaturas da área com as intervenções realizadas atualmente nas texturizadoras. Por meio desta etapa, foi possível saber se os procedimentos realizados estão de acordo com normas e documentos técnicos;
- b) Indicadores e históricos de manutenção: foram analisados os indicadores existentes das máquinas e as informações registradas em livros de ocorrência, planilhas e outros documentos disponíveis.
- c) Coleta de informações: foram realizadas reuniões para coletar informações sobre as falhas mais comuns nas máquinas, quais as decisões tomadas pelos supervisores e técnicos em situações de pane. Também foram ouvidos colaboradores de várias áreas ligadas ao processo.

3.4 Análise das falhas mecânicas

A partir das informações resultantes das etapas anteriores, foram aplicadas as ferramentas de análise. Cada método de análise de falhas tem suas vantagens e desvantagens. Para cada caso, existe um método que se mostra mais adequado. Porém, algumas vezes eles podem ser utilizados em conjunto e, desta maneira, a análise é mais eficiente. A escolha do

método ou métodos a serem utilizados depende das informações disponíveis e da complexidade dos processos e equipamentos.

Neste trabalho, os quatro métodos apresentados foram utilizados em conjunto, de acordo com roteiro abaixo:

- a) A análise começou utilizando o MASP. O problema foi descrito, seu histórico foi levantado, foram demonstradas as perdas e ganhos e realizada a análise de Pareto onde foi possível levantar dados confiáveis (etapa 1);
- b) Em seguida, foram observados os dados e estabelecidas as metas (etapa 2);
- c) Na etapa 3 do MASP, para a definição das causas influentes e análise das causas mais prováveis e críticas, foi utilizado o FMEA. Dentro do FMEA, para determinação das causas raízes do problema foi utilizado o RCFA (Cinco Porquês);
- d) Por fim, foi realizada a etapa 4 do MASP, onde foram elaboradas ações com base nos resultados do FMEA, RCFA e RCM.

Nota: Como este trabalho objetiva apenas a apresentação das ações de melhoria, as próximas etapas (implantação e avaliação das ações) não foram incluídas.

3.5 Apresentação das soluções

Após o término da análise de falhas e levantamento das causas dos principais problemas apresentados pelas máquinas, foram propostas e apresentadas algumas medidas para reduzir ou eliminar as falhas mecânicas que geram paradas de máquina.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Abaixo seguem os resultados e discussão a cerca das etapas realizadas.

4.1 Métodos de manutenção adequados para texturizadoras

Assim como em outros equipamentos e sistemas, mais de um tipo de manutenção pode ser utilizado. A escolha depende dos custos envolvidos, da criticidade do equipamento e outros fatores. Com relação às texturizadoras analisadas, verificou-se que todos os tipos de manutenção podem ser empregados dependendo da importância de cada componente. A análise realizada nos manuais da máquina, em alguns livros e com base no tipo de produção mostrou os seguintes resultados:

- a) As máquinas do modelo AFK operam com dois lados independentes (lado A e B). Portanto, se um lado parar o outro pode continuar produzindo. As máquinas M/V900 possuem dois lados, mas estes não são independentes;
- b) Cada lado da máquina possui 108 posições. Portanto é possível produzir 108 bobinas de fio simultaneamente. A cada 12 posições tem-se uma janela na máquina.
- c) Nas extremidades das máquinas estão as cabines de comando, onde se encontram os comandos eletrônicos, controles pneumáticos e os sistemas mecânicos de acionamento;
- d) Para efeito de escolha do tipo de manutenção, o lado de cada máquina pode ser dividido em duas partes: cabines e janelas (posições);
- e) Na cabine estão componentes críticos, que ao falharem causam a parada completa do lado da máquina. Portanto, estes componentes merecem atenção especial e não devem sofrer manutenção corretiva. Devem ser incluídos em um plano completo de manutenção preventiva ou preditiva onde houver possibilidade (caso de análise de vibração em rolamentos). A lubrificação destes componentes também deve entrar nestes planos, sempre levando em conta as características adequadas do tipo ideal de lubrificantes.
- f) Nas janelas, a maioria dos componentes não gera grandes problemas em caso de falha. Normalmente quando ocorre algum defeito nestas peças (como guias-fio, roletes de borracha, agregado, etc.) a falha é indicada por um cartão amarelo e se limita a uma posição. Se a vida útil das peças for conhecida e seu preço não for baixo, a preventiva pode ser utilizada. Caso contrário, a corretiva é a mais indicada nos casos onde o custo é baixo e a intervenção é rápida, segura e a máquina não precisa ser parada. Porém, mesmo adotando

a manutenção corretiva, é necessário utilizar a engenharia da manutenção para analisar as causas destas falhas pontuais para minimizá-las ou extingui-las;

- g) Algumas das falhas nas janelas, no entanto, causam problemas maiores e podem gerar paradas de máquina. Normalmente, são problemas ligados à lubrificação e componentes que não podem ser substituídos com a máquina operando (como galets, borboletas, molas, etc.). Nestes casos, é colocado o cartão azul na posição. Em algumas situações, ocorrem falhas em várias posições e a máquina continua operando, mas abaixo de sua capacidade, sendo necessário pará-la para corrigir o defeito. Para minimizar estes problemas é necessário adotar a manutenção preventiva para lubrificação e substituição de componentes críticos mais baratos. Nos componentes críticos mais caros, é necessário adotar a preditiva. Também é necessário avaliar as causas das falhas por meio da engenharia de manutenção.
- h) A manutenção detectiva também deve ser aplicada. Existem alguns sensores que monitoram o funcionamento de componentes mecânicos. Portanto, estes devem ser checados periodicamente para evitar a ocorrência de falhas ocultas ou erro na interpretação de dados, que, caso aconteçam podem gerar paradas nas máquinas sem necessidade ou então não mostrar um problema pequeno que depois pode se tornar um problema crítico.

Portanto, os métodos de manutenção adequados para as texturizadoras podem ser resumidos conforme quadro abaixo:

Quadro 5 – Tipos de manutenção adequados para texturizadoras

Tipo do Componente	Criticidade	Custo	Tipo de Manutenção
Componentes Mecânicos das Cabines	Alta	Alto	Preditiva
	Alta	Baixo	Preventiva e/ou Preditiva
Componentes Mecânicos das Janelas (Posições)	Alta	Alto	Preditiva
	Alta	Baixo	Preventiva e/ou Preditiva
	Baixa	Alto	Preventiva e/ou Preditiva
	Baixa	Baixa	Corretiva + Engenharia de Manutenção
Sensores dos Componentes Mecânicos	Alta	Alto	Detectiva

Fonte: o autor

4.2 Situação atual

4.2.1 Procedimentos utilizados

Quanto aos procedimentos de manutenção, foram obtidas as seguintes informações:

- a) A maior parte das intervenções executadas nas texturizadoras é de manutenção corretiva não planejada (de emergência). Nos três turnos de trabalho existem mecânicos responsáveis por efetuar o conserto indicados por cartões amarelos (falhas em posições com máquina em operação), cartões azuis e reparo nas cabines (em paradas de emergência);
- b) Pequenas intervenções corretivas também são realizadas pelos mecânicos responsáveis por realizarem *setup* das máquinas (ajustes necessários sempre que há troca de lote, ou seja, quando outro tipo de fio vai ser produzido);
- c) A cada sessenta dias, os lados de máquina são parados durante cerca de cinco horas para que se realize o C&O (*Cleaning and Organization* ou Limpeza e Organização) que é também conhecido como manutenção preventiva. Mas, na verdade, engloba procedimentos de limpeza, manutenção corretiva (conserto de peças danificadas nas posições e cabine), preventiva (substituição de peças periodicamente) e preditiva (sensitiva: com auxílio de estetoscópio, inspeção visual, etc.). Oito a dez colaboradores atuam nesta intervenção;
- d) Alguns procedimentos de manutenção detectiva também são executados, porém não são denominados desta forma e consistem em testes feitos em alguns componentes para averiguar se os mesmos estão em correto funcionamento;
- e) A engenharia de manutenção está presente na forma de estudo de melhorias, reformas em máquinas, mudanças e nacionalização em peças, análise de falhas, gestão de custo, etc;
- f) Faltam procedimentos documentados de muitas das principais atividades de manutenção e muitos mecânicos não têm conhecimento técnico adequado. Também é necessário reforçar os treinamentos, pois existem diferenças nos métodos de execução de serviços de cada um.

Logo, ao comparar a situação atual dos procedimentos de manutenção realizados com o que foi abordado no item 4.1, percebe-se que há espaços para melhorias: mudanças nos métodos de manutenção, reformas nas máquinas, alterações em análise de falhas, criação de procedimentos, treinamentos e outras ações.

4.2.2 Indicadores

Com relação aos indicadores, foram analisadas planilhas com informações das paradas de máquina causadas por problemas mecânicos num período de sete meses (janeiro a julho de 2013). O quadro abaixo mostra os valores de MTBF e MTTR de cada máquina:

Quadro 6 – Valores de MTBF e MTTR das máquinas texturizadoras

Máquina	Horas Operação	Ocorrências de Falhas Mecânicas	MTBF (h)	Total de horas de Reparo	MTTR (h)
A03 A	3276,9	9	364,1	49,9	5,5
A03 B	3088,4	10	308,8	32,0	3,2
A04 A	3895,9	7	556,6	40,9	5,8
A04 B	2897,4	8	362,2	29,6	3,7
A05 A	3512,9	5	702,6	40,3	8,1
A05 B	3397,6	7	485,4	30,6	4,4
A06 A	2194,0	4	548,5	22,7	5,7
A06 B	2121,8	1	2121,8	3,9	3,9
A07 A	2635,4	2	1317,7	6,5	3,3
A07 B	2256,1	9	250,7	57,2	6,4
A08 A	1001,8	2	500,9	7,8	3,9
A08 B	2138,9	0	-	0,0	-
A09 A	2680,4	4	670,1	23,1	5,8
A09 B	1580,7	5	316,1	22,6	4,5
A10 A	2467,0	10	246,7	24,5	2,5
A10 B	2625,7	5	525,1	24,0	4,8
B03 A	27,0	0	-	0,0	-
B03 B	3098,7	3	1032,9	13,1	4,4
B04 A	3530,8	5	706,2	21,7	4,3
B04 B	1748,3	6	291,4	18,9	3,2
B05 A	3219,0	9	357,7	35,4	3,9
B05 B	2436,0	3	812,0	14,7	4,9
B06 A	2616,7	9	290,7	50,7	5,6
B06 B	3367,7	8	421,0	25,8	3,2
B07 A	3009,6	2	1504,8	8,5	4,3
B07 B	3078,3	8	384,8	25,4	3,2
B08 A	2362,5	7	337,5	45,8	6,5
B08 B	2726,8	13	209,8	66,0	5,1
B09 A	3607,3	8	450,9	30,1	3,8
B09 B	3342,2	4	835,5	32,9	8,2
B10 A	3437,2	5	687,4	15,7	3,1

B10 B	3855,5	3	1285,2	11,1	3,7
B11 A	3446,8	4	861,7	12,2	3,0
B11 B	3158,4	11	287,1	39,8	3,6
C03 A	3337,1	2	1668,5	7,0	3,5
C03 B	3023,7	2	1511,9	10,3	5,2
C04 A	3293,5	1	3293,5	4,5	4,5
C04 B	3471,7	2	1735,8	4,4	2,2
C05 A	2984,9	7	426,4	17,1	2,4
C05 B	3501,3	6	583,6	17,8	3,0
C06 A	2581,7	22	117,3	115,7	5,3
C06 B	2681,6	17	157,7	73,8	4,3
C07 A	2953,5	22	134,2	98,4	4,5
C07 B	2278,5	18	126,6	71,8	4,0
C08 A	2411,1	6	401,8	21,6	3,6
C08 B	2286,5	9	254,1	41,0	4,6
C09 A	3487,0	24	145,3	90,2	3,8
C09 B	3277,1	13	252,1	44,7	3,4
C10 A	3824,3	27	141,6	109,3	4,0
C10 B	3368,5	12	280,7	45,3	3,8
C11 A	2945,0	13	226,5	54,3	4,2
C11 B	3534,1	10	353,4	43,4	4,3
D02 A	3671,5	1	3671,5	5,2	5,2
D02 B	3115,8	3	1038,6	10,6	3,5
D03 A	3913,7	5	782,7	18,6	3,7
D03 B	4030,0	8	503,8	27,5	3,4
D04 A	3081,1	3	1027,0	10,9	3,6
D04 B	3532,6	3	1177,5	10,3	3,4
D05	490,3	5	98,1	26,0	5,2
D06	228,0	0	-	0,0	-
D07	1908,7	5	381,7	24,3	4,9
D08	2162,7	12	180,2	58,3	4,9
D09 A	3171,4	11	288,3	44,3	4,0
D09 B	2452,4	4	613,1	13,8	3,4
D10 A	2978,8	17	175,2	58,7	3,5
D10 B	3101,4	11	281,9	50,9	4,6
D11 A	2851,7	5	570,3	21,4	4,3
D11 B	2578,0	3	859,3	13,3	4,4
Média	2828,6	7,4	669,1	31,6	4,3

Fonte: o autor

Conforme informações do quadro 6, observa-se que, em média, as máquinas falham com 669,1 horas de operação (o que equivale a menos de 28 dias) e que o tempo médio para que elas sejam reparadas e voltem a produzir é de 4,3 horas.

Isto mostra que os indicadores estão abaixo do esperado, pois se a manutenção preventiva é realizada em intervalos de 60 dias, era de se esperar que o MTBF médio fosse próximo a este valor (cerca de 1440 horas). Além disso, o MTTR ideal deve ser menor que 3 horas (no máximo 2 horas para reparo e 1 hora para que se atinja o nível máximo de produção).

Outros indicadores importantes estudados foram a confiabilidade e a probabilidade de falha de cada máquina. Para isso, os intervalos entre as falhas mecânicas de cada máquina foram analisados estatisticamente. Os resultados obtidos se encontram no quadro abaixo:

Quadro 7 – Confiabilidade e probabilidade de falha das máquinas

Máquina	Parâmetro Beta	Parâmetro Alfa	Confiabilidade (1000 h)	Probabilidade de falha (1000 h)
A03 A	0,60	290	12,1%	87,9%
A03 B	0,63	226	7,7%	92,3%
A04 A	0,71	621	24,5%	75,5%
A04 B	0,84	189	1,7%	98,3%
A05 A	0,75	782	30,0%	70,0%
A05 B	0,69	593	23,8%	76,2%
A06 A	0,44	932	35,7%	64,3%
A07 B	1,01	221	1,0%	99,0%
A09 A	0,45	714	31,3%	68,7%
A09 B	0,49	264	14,7%	85,3%
A10 A	0,63	249	9,2%	90,8%
A10 B	0,83	320	7,6%	92,4%
B03 B	0,60	654	27,5%	72,5%
B04 B	0,55	206	9,2%	90,8%
B05 A	0,74	200	3,7%	96,3%
B06 A	0,64	455	19,1%	80,9%
B06 B	0,75	429	15,2%	84,8%
B07 B	0,73	425	15,5%	84,5%
B08 A	0,51	472	23,2%	76,8%

B08 B	0,87	290	5,3%	94,7%
B09 A	0,73	391	13,6%	86,4%
B09 B	1,50	752	21,6%	78,4%
B10 A	1,48	918	32,2%	67,8%
B11 A	0,93	119	0,1%	99,9%
B11 B	1,05	243	1,2%	98,8%
C05 A	2,29	412	0,0%	100,0%
C05 B	0,64	423	17,8%	82,2%
C06 A	0,95	126	0,1%	99,9%
C06 B	0,91	170	0,6%	99,4%
C07 A	1,02	144	0,1%	99,9%
C07 B	0,88	140	0,4%	99,6%
C08 A	0,51	373	19,2%	80,8%
C08 B	0,82	198	2,3%	97,7%
C09 A	0,98	116	0,0%	100,0%
C09 B	0,72	158	2,3%	97,7%
C10 A	0,99	150	0,1%	99,9%
C10 B	0,76	246	5,6%	94,4%
C11 A	0,87	216	2,2%	97,8%
C11 B	0,91	339	6,8%	93,2%
D03 A	1,93	989	36,0%	64,0%
D03 B	0,92	514	15,7%	84,3%
D05	0,73	157	2,0%	98,0%
D07	0,41	349	21,4%	78,6%
D08	0,75	196	3,4%	96,6%
D09 A	0,66	225	7,0%	93,0%
D09 B	0,43	649	29,9%	70,1%
D10 A	0,83	134	0,5%	99,5%
D10 B	0,90	269	3,9%	96,1%
D11 A	0,56	443	20,7%	79,3%
D11 B	0,63	871	33,6%	66,4%
Média	0,82	379	12,4%	87,6%

Fonte: o autor

Analisando os dados do quadro 7, conclui-se que a maioria das máquinas estão falhando prematuramente (parâmetro beta menor que 1). Além disso, a probabilidade média de falha para 1000 horas de operação (cerca de 42 dias) é muito alta (confiabilidade baixa).

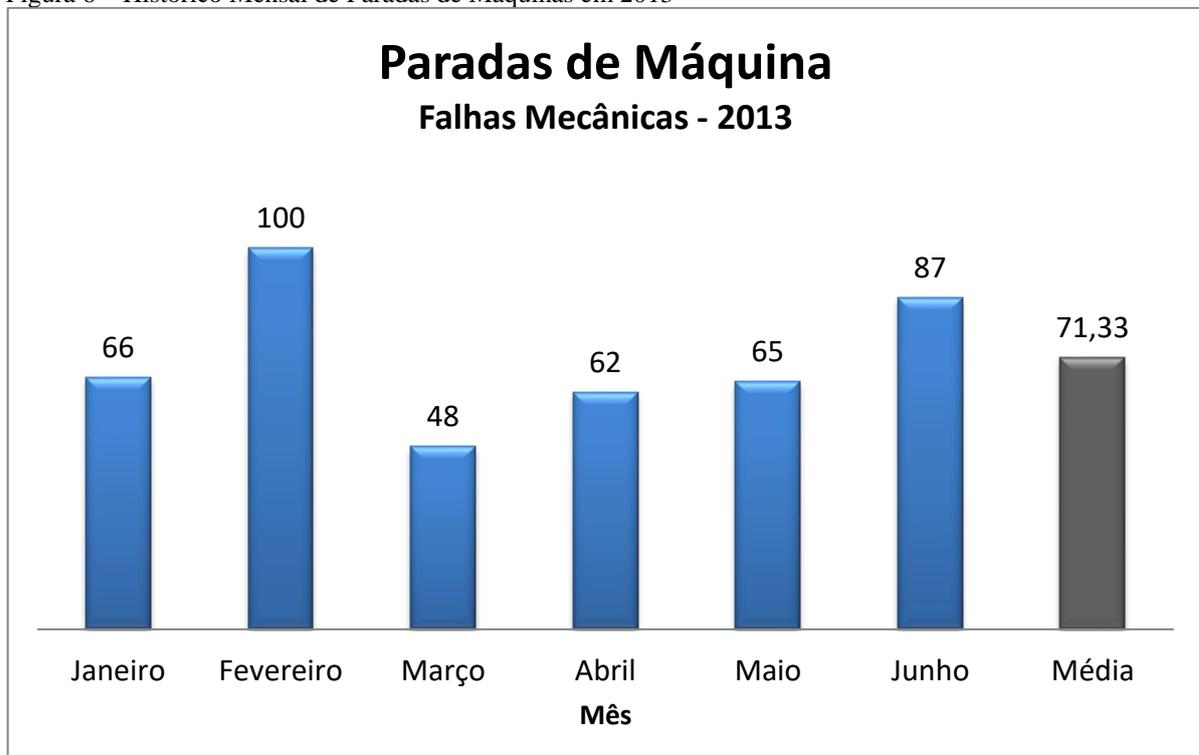
Portanto, a redução das falhas é mais do que necessária, mas apenas é possível por meio de um trabalho criterioso e eficaz de análise.

4.3 Aplicação dos métodos de análise de falhas

4.3.1 Identificação e observação do problema conforme MASP

O problema a ser analisado é o número elevado de falhas mecânicas que causam paradas emergenciais nas máquinas texturizadoras. Este problema é comum na indústria têxtil e se trata de um grande inconveniente para o processo de produção. Abaixo segue gráfico que mostra o histórico deste tipo de ocorrência durante os meses do ano de 2013:

Figura 6 – Histórico Mensal de Paradas de Máquinas em 2013



Fonte: o autor

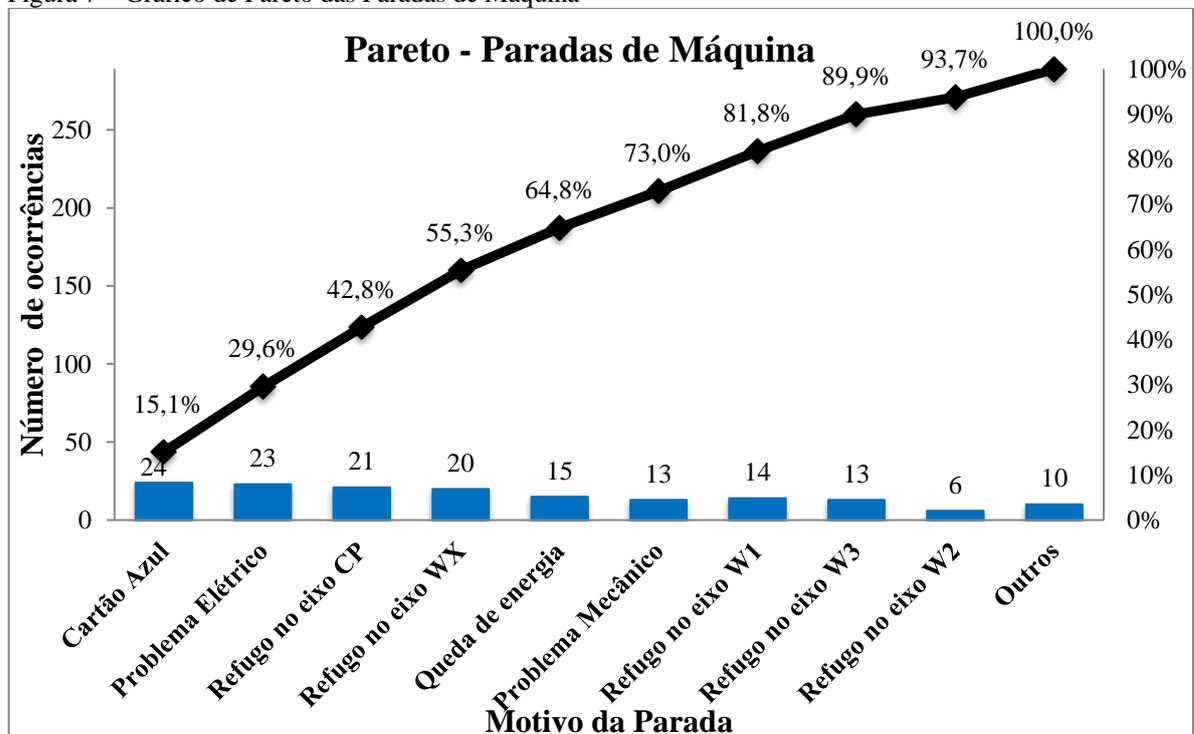
Atualmente, as perdas com este tipo de problema são muitas e englobam vários setores da indústria:

- a) Perda de produção da ordem de 20 toneladas/mês;
- b) Cerca de 6 toneladas/mês de produtos de segunda qualidade (bobinas bem abaixo do diâmetro padrão que devido às paradas não completam o enrolamento);
- c) Gastos com manutenção corretiva de mais de R\$ 30 mil/mês (incluindo peças e mão de obra);
- d) Além de transtornos e mobilização de vários colaboradores desde a área administrativa (compras, fiscal, direção) até a área produtiva (operação, manutenção, controle de processos, planejamento, desenvolvimento, etc)

Logo, percebe-se que ao reduzir as falhas mecânicas é possível reduzir os custos de manutenção, melhorar os indicadores de qualidade do produto, diminuir as perdas de produção e os transtornos causados em várias áreas da indústria, além de contribuir direta ou indiretamente na redução de outros problemas.

Analisando as informações contidas em planilhas e livros de ocorrência (anotações feitas por mecânicos) num intervalo de cerca de dois meses, foi possível gerar o diagrama de Pareto abaixo, que mostra quais os principais motivos que levaram às paradas de máquina neste período:

Figura 7 – Gráfico de Pareto das Paradas de Máquina

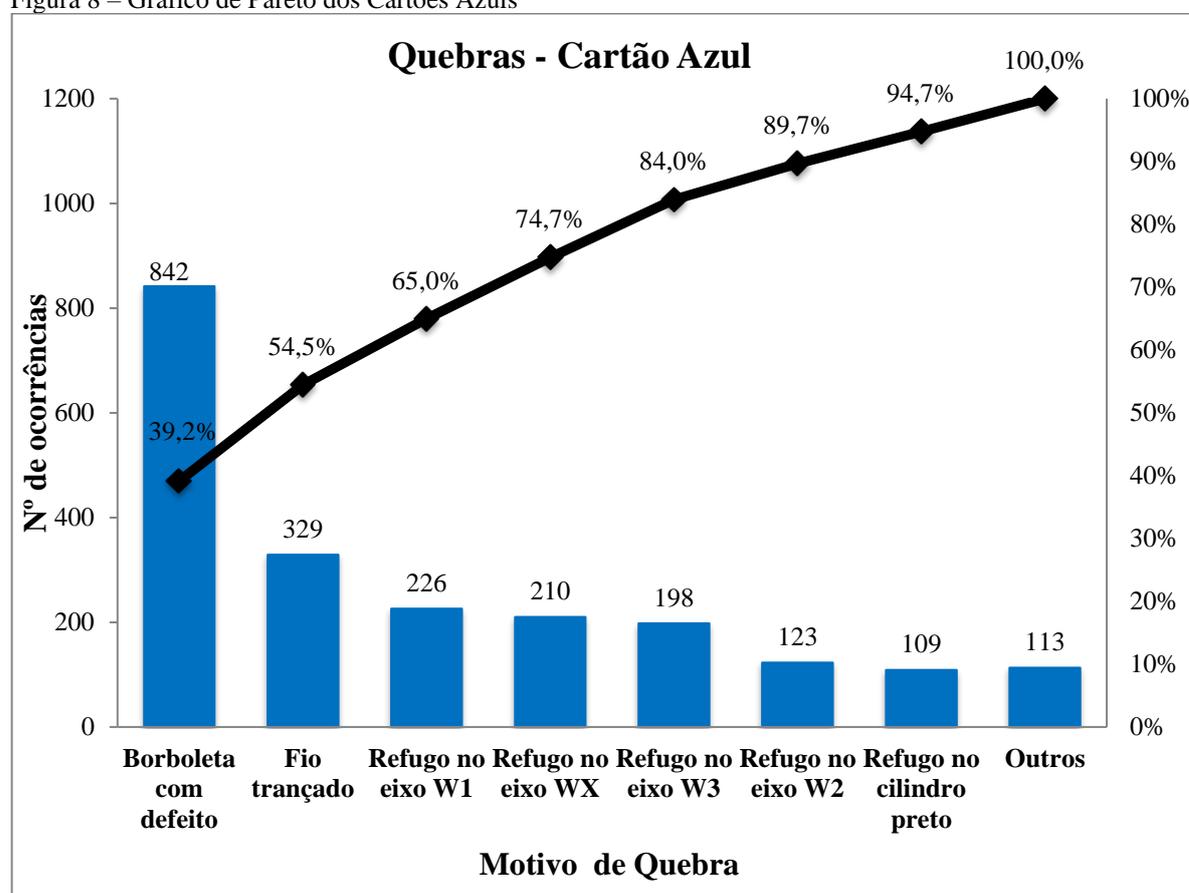


Fonte: o autor

O gráfico acima mostra que no período analisado, o principal motivo de parada de máquina foi cartão azul. Este tipo de cartão é colocado em posições da máquina que apresentam algum tipo de defeito que não pode ser consertado com a máquina em operação. Se a máquina estiver com muitos cartões azuis, isto significa que ela está operando abaixo da sua capacidade, pois está com várias posições paradas. Nesta situação a máquina é parada para que seja reparada.

Os cartões azuis podem representar vários tipos de defeitos. O gráfico de Pareto mostra os principais motivos de quebra que geraram cartões azuis no ano de 2013:

Figura 8 – Gráfico de Pareto dos Cartões Azuis



Fonte: o autor

De acordo com o gráfico acima, o principal motivo que gera cartão azul é a falha de uma peça chamada “borboleta”, que é caracterizada como um problema mecânico e representa 39,2% dos cartões azuis. Seu nome, na verdade, é guia fio vai-vem (ver figura 9). Esta peça é responsável por guiar o fio na posição correta de seu enrolamento na bobina num movimento rápido e repetitivo e, quando falha, ela impossibilita o enrolamento do fio.

Figura 9 – Borboleta ou guia fio vai-vem



Fonte: o autor

O motivo que aparece em seguida é o “fio trançado”. Muitas vezes chamado apenas de “trançado”, este defeito se caracteriza por uma falha mecânica que gera um enrolamento irregular da bobina (ver figura 10). Representa cerca de 15,3% dos cartões azuis e juntamente com o defeito do guia fio vai-vem representa mais da metade destes cartões.

Figura 10 – Trançado

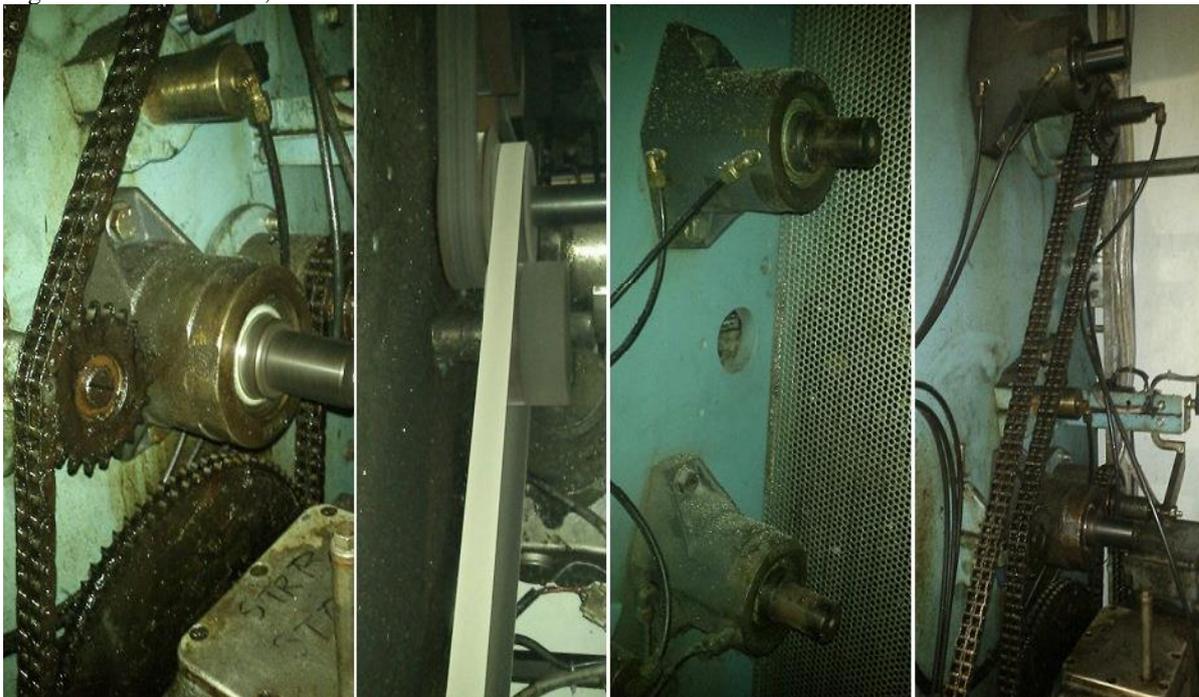


Fonte: o autor

Os outros defeitos que aparecem no gráfico de cartão azul não são considerados diretamente falhas mecânicas. Tratam-se de enrolamento de refugo (fio) nos eixos (eixo W1, W2, W3, etc.) da máquina e podem ser causados por diversos motivos, desde falha operacional até má qualidade da matéria prima. Sendo assim, com relação ao cartão azul serão analisados somente os defeitos na borboleta e o fio trançado, que são defeitos mecânicos responsáveis pelo maior número de cartões azuis.

Os outros motivos que aparecem logo em seguida ao cartão azul são problema elétrico, refugo (em vários eixos), queda de energia e problema mecânico. Os três primeiros não são caracterizados como falhas mecânicas. No entanto, o último item (problema mecânico) refere-se a diversos tipos de falhas nos componentes mecânicos das máquinas. Ao analisar planilhas, históricos de paradas e ouvir algumas pessoas ligadas ao processo, verificou-se que a maioria destas falhas são geradas por defeitos em rolamentos, correntes e correias que se encontram nas cabines da máquina (ver figura 11).

Figura 11 – Rolamentos, correias e correntes das texturizadoras



Fonte: o autor

Desta maneira, os cinco principais tipos de falhas analisados foram:

- a) Borboleta com defeito;
- b) Fio trançado;
- c) Falhas em rolamentos;

- d) Falhas em correias;
- e) Falhas em correntes.

4.3.2 Análise das causas utilizando FMEA e RCFA

A partir dos cinco tipos de falhas citados anteriormente, foi realizado um estudo para levantar todas as possíveis causas. Para isto, foram analisados diversos relatórios, livros e realizadas algumas reuniões entre os colaboradores ligados ao processo onde foi aplicada a técnica *Brainstorming*. A relação de todas as causas encontradas foi inserida em diagramas de causa e efeito e encontra-se no apêndice A. O passo seguinte foi priorizar as causas, ou seja, relacionar quais causas mais influentes. Para isto foi utilizado o FMEA. O resultado se encontra no quadro abaixo:

Quadro 8 – Aplicação do FMEA

PROCESSO: TEXTURIZAÇÃO							
EQUIPAMENTOS: TEXTURIZADORAS BARMAG AFK E M/V900							
COMPONENTE/FUNÇÃO: RECEPÇÃO – ENROLAMENTO DA BOBINA CABINE – ACIONAMENTO MECÂNICO GERAL							
Modo	Efeito	G	Causa	F	Deteção	D	NPR
Quebra/ Falha na borboleta	Cartão Azul e possível parada na máquina	9	Operador bate pistola de lançamento na peça	6	Inspeção criteriosa/ Auditoria	8	432
			Segmento danificado ou desalinhado	5	Inspeção visual	4	180
			Má qualidade da peça (borboleta)	2	Visual (no recebimento da peça)	5	90
			Tempo de frenagem da bobina errado	5	Quebra na virada	2	90
			Falha no sistema de frenagem da bobina	4	Travamento na virada	2	72
			Falha no sistema pneumático	4	Ultrassom /Sensitivo	2	72

Trançado (enrolamento inadequado do fio)	Cartão azul, problemas de qualidade e possível parada de máquina	9	Falha no desenvolvimento do fio	9	Performance/ Indicadores	6	486
			Taxa de estiramento elevada	5	Índice de quebras	6	270
			Especificações do fio fora das especificações limites da máquina	3	Performance/ Análise de parâmetros	5	135
			Parâmetros inadequados (velocidade, ângulo)	3	Índice de qualidade e quebras	4	108
			Galet com desgaste	5	Inspeção Visual	2	90
			Borboleta com desgaste	5	Inspeção Visual	2	90
			Erro de regulagem da máquina (setup de parâmetros)	3	Checagem dos parâmetros na máquina	3	81
			Falha nos rolamentos	Parada de máquina	9	Rotores desbalanceados	5
Contaminação no lubrificante	3	Análise do lubrificante				9	243
Aperto excessivo da bucha do rolamento	5	Termografia/Aferição com instrumento				5	225
Refugo no rolamento	8	Inspeção Visual				3	216
Tempo de vida útil do rolamento	3	Análise de Vibrações				7	189
Falha ou falta de monitoramento	3	Excesso de corretivas				7	189
Tensão nas correias (alta)	6	Inspeção com ferramenta adequada				3	162
Aperto excessivo do mancal	3	Termografia/Aferição com Instrumento				5	135
Desalinhamento dos eixos	2	Inspeção com instrumento				4	72

Falha nos correias	Parada de máquina	8	Falha operacional ao ligar/desligar a máquina danifica as correias	4	Alarme/relatório da máquina	5	160
			Tensão incorreta nas correias	6	Inspeção com ferramenta adequada	2	96
			Falta de procedimento para inspeção de correias	5	Análise dos procedimentos existentes	2	80
			Falha na emenda	3	Inspeção visual	3	72
			Vida útil da correia	3	Inspeção visual	3	72
			Correia de má qualidade	4	Especificação	2	64
			Falta de conhecimento do mecânico no manuseio de correias	4	Avaliação	2	64
			Falha nas correntes	Parada de máquina	8	Fim da vida útil da corrente	4
Problema elétrico (microcontrolador, sensor, inversor, etc...)	4	Alarmes e relatórios da máquina				3	96
Operador aciona o micro	1	Inspeção criteriosa/ auditoria				9	72
Falha na montagem	2	Inspeção visual				4	64

Fonte: o autor

Quando se conhece a causa do problema, é possível apresentar uma ou mais ações para correção e, principalmente, para prevenção do mesmo. No entanto, para que uma ação (de prevenção ou correção de falhas) seja eficaz, ela deve ser focada não na causa principal, mas sim na causa raiz do problema. Para isto, foi utilizado o RCFA (método dos Cinco Porquês). Desta maneira, as causas raízes puderam ser encontradas. O resultado se encontra no quadro a seguir:

Quadro 9 – Aplicação dos Cinco Porquês

FALHA	BORBOLETA COM DEFEITO
Causa 1	Operador quebra a borboleta ao lançar o fio com a pistola
Por quê?	Falta de atenção ou habilidade do operador no lançamento do fio.
Por quê?	Operador não segue orientações corretamente e não é acompanhado no lançamento do fio.
Por quê?	Falta de acompanhamento e orientação da supervisão no lançamento do fio.
Causa 2	Segmento danificado/desalinhado
Por quê?	Falha na montagem e inspeção do segmento.
Por quê?	Falta de conhecimento do mecânico.
Por quê?	Falta de procedimento para montagem e inspeção dos segmentos.
Causa 3	Tempo de frenagem errado
Por quê?	Erro de cálculo no desenvolvimento ou durante os testes do fio.
Por quê?	Falta de referência confiável para cálculo e/ou execução dos testes.
Por quê?	Referência atual para cálculo do tempo de frenagem desatualizada e sujeita a erros.
Causa 4	Má qualidade da peça (borboleta)
Por quê?	Falha na inspeção no recebimento da peça
Por quê?	Falta de atenção/conhecimento de quem recebe a peça
Por quê?	Falta de especificação padrão da peça (borboleta)
Causa 5	Falha no sistema de frenagem da bobina
Por quê?	Falha no mecanismo de debrear.
Por quê?	Mola ou rolamento do mecanismo de debrear danificado.
Por quê?	Desgaste natural da peça (mola ou rolamento do mecanismo de debrear)
Causa 6	Falha no sistema pneumático
Por quê?	Vazamento nas conexões pneumáticas
Por quê?	Conexões mal encaixadas ou com defeito.
Por quê?	Falha na inspeção das peças antes da montagem ou falha na montagem.
Por quê?	Falta de habilidade do mecânico em montar/avaliar a condição das peças.
Por quê?	Mecânico não foi treinado corretamente para avaliar/montar sistema
FALHA	TRANÇADO
Causa 1	Falha no desenvolvimento do fio
Por quê?	Alguns parâmetros do fio e da máquina não foram levados em conta.
Por quê?	Falta de referência confiável para cálculo e/ou execução dos testes.
Por quê?	Referência atual de cálculo para desenvolvimento desatualizada e sujeita a erros.
Causa 2	Taxa de estiramento elevada
Por quê?	Ajuste incorreto na máquina
Por quê?	Erro de cálculo no desenvolvimento do fio ou falha na regulagem do parâmetro
Por quê?	Falta de atenção/conhecimento para o cálculo ou regulagem da máquina
Por quê?	Falta de referência/procedimento padrão para cálculo ou regulagem do parâmetro.

Causa 3	Especificações do fio fora das especificações limites da máquina
Por quê?	Máquina não está preparada mecanicamente para produzir determinado fio.
Por quê?	Não há projeto de melhoria da máquina
Causa 4	Parâmetros inadequados (velocidade, ângulo)
Por quê?	Erro de cálculo ou regulagem dos parâmetros na máquina.
Por quê?	Falta de atenção/conhecimento para o cálculo ou regulagem da máquina
Por quê?	Falta de referência/procedimento para cálculo ou regulagem do parâmetro na máquina
Causa 5	Galet ou borboleta com desgaste
Por quê?	Falta de lubrificação
Por quê?	Lubrificante incorreto
Por quê?	Produto fora de linha
Causa 6	Erro de regulagem da máquina (setup de parâmetros)
Por quê?	Falha operacional ao ajustar os parâmetros da máquina
Por quê?	Colaborador não domina procedimento para ajustar parâmetros da máquina
FALHA	ROLAMENTOS
Causa 1	Rotores desbalanceados
Por quê?	Rotores não são balanceados pelo fornecedor
Por quê?	Serviço não especificado na compra
Por quê?	Falta de conhecimento dos solicitantes do produto
Causa 2	Contaminação no lubrificante
Por quê?	Falha na blindagem do sistema
Por quê?	Folgas maiores do que o necessário
Causa 3	Aperto excessivo da bucha ou do mancal do rolamento
Por quê?	Utilização incorreta da ferramenta no aperto
Por quê?	Falta de conhecimento do mecânico quanto ao uso de ferramentas
Por quê?	Falta de treinamento adequado
Causa 4	Refugo no rolamento
Por quê?	Excesso de refugo
Por quê?	Falha no desenvolvimento ou operacional
Causa 5	Fim da vida útil do rolamento
Por quê?	Aceleração do desgaste do rolamento
Por quê?	Fatores relacionados ao meio ambiente (umidade, poeira, etc).
Causa 6	Falha ou falta de monitoramento
Por quê?	Falta de plano preditivo eficiente de acompanhamento dos rolamentos secundários
Causa 7	Tensão nas correias (alta)
Por quê?	Falha no tensionamento das correias
Por quê?	Não utilização de ferramenta adequada para aferição da tensão correta
Por quê?	Falta de cobrança por parte da liderança

Causa 8	Eixos desalinhados
Por quê?	Falta de alinhamento na montagem e periodicamente.
Por quê?	Ferramentas inadequadas e falta de conhecimento dos mecânicos.
FALHA	CORREIAS
Causa 1	Falha operacional (Ligação/desligamento da máquina errado, em alta rotação).
Por quê?	Falta de conhecimento quanto ao procedimento correto de ligação/desligamento da máquina.
Por quê?	Falta de orientação/treinamento adequado
Causa 2	Falta de procedimento para inspeção de correias
Por quê?	Falta de plano preventivo para inspeção de correias
Causa 3	Fim da vida útil da correia
Por quê?	Falta de monitoramento da vida útil
Por quê?	Falta de plano preditivo eficiente de acompanhamento das correias
Causa 4	Falha na emenda
Por quê?	Falha na montagem ou corrente de má qualidade
Por quê?	Falta de conhecimento do mecânico na montagem/avaliação dos componentes
Por quê?	Falta de treinamento adequado sobre manutenção em correias
Causa 5	Falta de conhecimento do mecânico
Por quê?	Falta de treinamento adequado sobre manutenção em correias
Causa 6	Correia de má qualidade
Por quê?	Especificação incorreta
Por quê?	Falta de padronização do tipo de correia a ser utilizado
FALHA	CORRENTES
Causa 1	Fim da vida útil da corrente
Por quê?	Falta de monitoramento da vida útil
Por quê?	Falta de plano preditivo eficiente de acompanhamento das correntes
Causa 2	Problema elétrico (micro, sensor, inversor, etc...)
Por quê?	Falha ou falta de manutenção nos componentes elétricos
Causa 3	Operador aciona o micro com a escovinha
Por quê?	Não há sistema de proteção para evitar intervenção
Causa 4	Falha na montagem
Por quê?	Falta de conhecimento do mecânico no manuseio de correntes
Por quê?	Falta de treinamento sobre manutenção em correntes

Fonte: o autor

4.4 Soluções propostas

A partir das análises anteriores, seguem as medidas propostas para redução das falhas mecânicas nas máquinas texturizadoras.

4.4.1 Ações de melhoria por NPR

Segue abaixo as ações propostas para redução das paradas de máquina, relacionadas conforme prioridade:

Quadro 10 – Ações propostas

Item	Ações	NPR
1	Revisar parâmetros de cálculo utilizados para desenvolvimento do fio.	486
2	Treinar operadores e criar rotina de acompanhamentos no lançamento do fio.	432
3	Solicitar balanceamento na instalação dos rotores e balancear rotores já instalados.	315
4	Revisar parâmetros para cálculo da taxa de estiramento do fio, criar procedimento e treinar pessoal para ajuste correto da máquina.	270
5	Especificar e padronizar tipos de rolamento com blindagem adequada.	243
6	Treinar mecânicos sobre uso de ferramentas e criar procedimento para aperto correto da bucha do rolamento.	225
7	Rever parâmetros do desenvolvimento do fio que influenciam na geração de refugo e treinar e acompanhar operadores pra evitar excesso de refugo.	216
8	Implantar plano de análise de vibração dos rolamentos secundários e acompanhar melhor a análise nos rolamentos críticos (serviço terceirizado) e, criar contrato de parcerias (terceiro recebe conforme resultados).	189
9	Incluir no plano de manutenção dos rolamentos procedimentos de limpeza para descontaminação do ambiente.	189
10	Criar e padronizar procedimento e mecanismo para avaliação/teste do segmento.	180
11	Criar plano para inspeção periódica das correias, acompanhar e cobrar execução da intervenção.	162
12	Treinar pessoal com relação ao procedimento correto de ligação/desligamento das máquinas, criar mecanismo na máquina para evitar a ligação diretamente em alta rotação	160
13	Criar projeto para adaptação/melhoria nas máquinas para atender produção de fios especiais.	135
14	Treinar mecânicos sobre uso de ferramentas e criar procedimento para aperto correto do mancal do rolamento.	135
15	Revisar parâmetros para cálculo de velocidade e ângulo da bobina, criar procedimento/mecanismo e treinar mecânicos para ajuste correto na máquina.	108
16	Criar plano para inspeção periódica das correias, acompanhar e cobrar execução da intervenção (ver ação 11).	96
17	Implantar plano para acompanhamento da vida útil das correntes.	96
18	Implantar planos de manutenção preventiva, detectiva nos componentes elétricos.	96
19	Padronizar peça e orientar recebedores, criar procedimento para avaliação da peça.	90
20	Atualizar referências para cálculo e execução dos testes com base nos novos parâmetros.	90
21	Especificar lubrificante que atenda às necessidades (evitar desgaste do galet).	90
22	Especificar lubrificante que atenda às necessidades (evitar desgaste da borboleta).	90
23	Realizar treinamento de reciclagem para ajuste correto da máquina, rever procedimentos, acompanhar periodicamente.	81
24	Criar plano para inspeção periódica das correias.	80
25	Criar plano de manutenção preventiva/preditiva para mecanismos de debrear, mecanismo/procedimentos de testes e treinar mecânicos.	72
26	Criar mecanismo para avaliação (testes) dos componentes pneumáticos e treinar mecânicos.	72

27	Adquirir ferramentas, criar treinamento para capacitação/reciclagem dos mecânicos quanto a alinhamento dos eixos e criar procedimento para execução do serviço.	72
28	Treinar e orientar pessoal quanto à detecção de defeitos em correias.	72
29	Implantar plano para acompanhamento da vida útil das correias (criar histórico).	72
30	Criar mecanismo de proteção para evitar intervenção no micro.	72
31	Padronizar correias utilizadas e orientar mecânicos.	64
32	Treinar e orientar mecânicos sobre manutenção em correias.	64
33	Treinar e orientar mecânicos sobre manutenção em correntes e comprar ferramentas adequadas para execução do serviço.	64

Fonte: o autor

4.4.2 Propostas de mudanças conforme RCM

A metodologia RCM visa maior confiabilidade dos equipamentos e sistemas, ou seja, redução da probabilidade de falhas. Para que se consiga atingir este objetivo além de diminuir as falhas, é necessário rever os procedimentos e os planos de manutenção e implantar modificações visando redução de manutenção corretiva, redução de custos e otimização do MTBF e MTTR.

A partir da aplicação dos outros métodos, chegou-se a algumas conclusões sobre a realidade da manutenção atual e foi possível propor as ações abaixo com base nas necessidades do processo estudado:

- a) Implantar política de treinamento na manutenção com foco nos componentes críticos das texturizadoras (incluir procedimentos de preditiva);
- b) Criar procedimentos documentados para todos os tipos de intervenções realizadas;
- c) Adquirir ferramentas de maior precisão e facilidade de manuseio;
- d) Implantar procedimentos relacionados à manutenção autônoma (realizada por operadores).
- e) Analisar quais peças críticas das máquinas podem ter seus parâmetros acompanhados e incluí-las no plano preditivo (avaliar custos);
- f) Rever o plano de preventivas e excluir tarefas menos importantes;
- g) Criar projetos de reforma ou adequação das máquinas (rever especificações das peças);
- h) Otimizar o uso de *softwares* para planejamento da manutenção.

Por meio destas ações, será possível melhorar a qualificação dos mantenedores, padronizar as atividades, agilizar as intervenções, diminuir a probabilidade de falhas, melhorar o desempenho das texturizadoras, diminuir o tempo de máquina parada e ter melhor controle no planejamento das manutenções.

5 CONCLUSÃO

As ferramentas de análise de falhas são, sem dúvida, muito úteis para a redução de defeitos em qualquer tipo de máquina. Por meio de sua utilização, foi possível chegar às causas raízes das falhas mecânicas nas texturizadoras e com isto, algumas ações de melhoria foram propostas tais como treinamentos, criação de procedimentos, padronização de peças e mudanças nos métodos de manutenção.

No entanto, verificou-se que para aplicação dos métodos deve se conhecer os detalhes de cada um para que se escolha qual ou quais deverão ser utilizados. Além disso, para que se obtenham resultados satisfatórios, é necessário que o profissional de engenharia conheça as características técnicas e operacionais do equipamento e do processo de produção e que domine a aplicação dos tipos de manutenção levando em conta fatores como custo, disponibilidade e confiabilidade do equipamento.

Por outro lado, também é necessário possuir indicadores confiáveis, pois isto mostrará a realidade da situação atual e servirá de orientação para avaliação quando as ações de melhoria forem implantadas.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE MANUTENÇÃO. **A situação da manutenção no Brasil.** In: XXVI Congresso Brasileiro de Manutenção. Curitiba, 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5462:** Confiabilidade e manutenibilidade. Rio de Janeiro: ABNT, 1994. nov.

BAPTISTA, José Antonio. **A importância da Análise de Causa Raiz (Root Cause Analysis) na melhoria do desempenho da manutenção industrial.** 2009. Disponível em: <<http://www.abraman.org.br/Arquivos/191/191.pdf>>. Acesso em: 14 junho 2013.

BASTIANI, Jeison Arenhart. **MASP (Método De Análise E Solução De Problemas) – Parte 1.** 2012. Disponível em: <<http://www.blogdaqualidade.com.br/masp-metodo-de-analise-e-solucao-de-problemas-parte-1/>>. Acesso em: 16 junho 2013

BRANCO FILHO, Gil. **A Organização, o Planejamento e Controle da Manutenção.** Rio de Janeiro: Ciência Moderna, 2008. 276 p.

_____. **Custos em Manutenção.** Rio de Janeiro: Ciência Moderna, 2010. 158 p.

_____. **Indicadores e Índices de Manutenção.** Rio de Janeiro: Ciência Moderna, 2006. 160 p.

CALDONAZO JÚNIOR, Altamiro. **Como reduzir custos de manutenção.** 38 f. Monografia de pós-graduação em Gerência de Empresas. Faculdade de Ciências Econômicas, Contábeis e de Administração de Varginha. Varginha, 1999.

ENGEFAZ. **Inspeção Dinâmica:** Análise Termográfica. 2013. Disponível em: <<http://www.engefaz.com.br/conteudos/conteudo/25/Inspecao-Dinamica-%3E-Analise-Termografica>>. Acesso em: 16 junho 2013.

FERNANDES, José Márcio Ramos. **Proposição de abordagem integrada de métodos da qualidade baseada no FMEA.** 2005. Disponível em: <<http://www.produtronica.pucpr.br/sip/conteudo/dissertacoes/pdf/JoseFernandes.pdf>>. Acesso em: 15 junho 2013.

LEAL, Fabiano et al. **Análise de falhas através da aplicação do FMEA e da Teoria Grey.** Revista Gestão Industrial, v. 2, n. 1, Ponta Grossa, 2006.

PEREIRA, Mário Jorge. **Engenharia de Manutenção:** Teoria e Prática. Rio de Janeiro: Ciência Moderna, 2011. 256 p.

PINTO, Alan Kardec; XAVIER, Júlio de Aquino Nascif. **Manutenção:** Função Estratégica. 3. ed. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2009. 384 p.

_____. _____. 4. ed. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2012. 440 p.

POSSAMAI, Osmar; NUNES, Enon L. **Falhas Ocultas e a Manutenção Centrada em Confiabilidade**. In: XXI Encontro Nacional de Engenharia de Produção. Salvador, 2001.

RA CAMARGO. **Análise de Vibração**. 2013. Disponível em: <<http://www.racamargo.com.br/manutencao-preditiva/>>. Acesso em: 16 junho 2013.

SCHOTS, Natália Chaves Lessa. **Uma abordagem para a identificação de causas de problemas utilizando Grounded Theory**. 2010. Disponível em: <http://fenix3.ufrj.br/60/teses/coppe_m/NataliaChavesLessaSchots.pdf>. Acesso em: 15 junho 2013.

SELLITTO, Miguel Afonso et al. **Manutenção centrada em confiabilidade: Aplicando uma abordagem quantitativa**. In: XXII Encontro Nacional de Engenharia de Produção. Curitiba, 2002.

SILVEIRA, Cristiano Bertulucci. **Confiabilidade e disponibilidade de máquinas: um exemplo prático**. 2012. Disponível em: <<http://www.citisystems.com.br/confiabilidade-disponibilidade-maquinas/>>. Acesso em: 1 setembro 2013

VIANA, Herbert Ricardo Garcia. **PCM: Programação e Controle da Manutenção**. 1. ed. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2002. 192 p.

XAVIER, Júlio de Aquino Nascif. **Manutenção Classe Mundial**. Congresso Brasileiro de Manutenção. Salvador, 1998.

APÊNDICE A – Diagramas de causa e efeito

