

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE TECNOLOGIA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

**ANÁLISE DA VIABILIDADE DE ELABORAÇÃO DE
PLANOS DE MANUTENÇÃO UTILIZANDO
FERRAMENTAS DA MCC**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

Patrícia Cenci Barro

Santa Maria, RS, Brasil

2016

ANÁLISE DA VIABILIDADE DE ELABORAÇÃO DE PLANOS DE MANUTENÇÃO UTILIZANDO FERRAMENTAS DA MCC

POR

Patrícia Cenci Barro

Trabalho de conclusão de curso de graduação apresentado ao Centro de Tecnologia da Universidade Federal de Santa Maria, como requisito parcial para obtenção do grau de **Bacharel em Engenharia de Produção**.

Orientadora: Morgana Pizzolato

Santa Maria, RS, Brasil

2016

ANÁLISE DA VIABILIDADE DE ELABORAÇÃO DE PLANOS DE MANUTENÇÃO UTILIZANDO FERRAMENTAS DA MCC

PATRÍCIA CENCI BARRO (UFSM)
patriciacencibarro@gmail.com
MORGANA PIZZOLATO (UFSM)
morganapizzolato@ufsm.br

As empresas buscam sempre o melhor desempenho a custos cada vez mais competitivos. Uma das alternativas para as empresas é a redução de seus custos, principalmente os ligados à produção. Deve-se, portanto, levar em conta não apenas as funções principais, mas também as funções de apoio, de forma a alinhá-las com a melhoria contínua da organização. Neste contexto, tem-se a manutenção industrial, a qual, em muitos casos, representa uma grande parcela de custos que podem ser evitados, principalmente com manutenção corretiva. A Manutenção Centrada em Confiabilidade (MCC) e suas ferramentas apresentam grande potencial para servirem de insumo ao elaborar-se planos de manutenção para empresas. Este trabalho objetivou analisar se há a viabilidade de elaborar-se planos de manutenção para um grupo de máquinas do setor de usinagem de uma empresa de pequeno porte utilizando ferramentas da MCC. Através da análise de falha e de cálculos da disponibilidade dos equipamentos, obteve-se que a estrutura organizacional destas empresas ainda não oferece dados suficientes para elaborar-se um plano de manutenção pra seus equipamentos.

Palavras-chave: MANUTENÇÃO CENTRADA EM CONFIABILIDADE; ANÁLISE DE FALHAS; PLANO DE MANUTENÇÃO; USINAGEM

Companies always searchs the best performance by costs even more competitives. One of the alternatives for the companies is the reduction of their costs, especially those linked to the production. Therefore, its necessary take into account not only the mainly functions, but also the support functions, in order to align them with continuous improvement of the organization. In this context, there is the industrial maintenance, which, in many cases, represents a large part of costs that can be avoided, especially with corrective maintenance. Reliability Centered Maintenance (RCM) and its tools have great potential to serve as input to prepar maintenance plans for companies. This study aimed to analyze if it's feasible to prepare maintenance plans for a group of machines to a machining sector of a small company using RCM tools. Through failure analyses and availability calculations of the machining sector's equipment, it was found that the organization structure of that kind of company still don't offers enough data to elaborate a maintenance plan for its equipments.

Keywords: RELIABILITY CENTERED MAINTENANCE; FAILURE ANALYSES; MAINTENANCE PLAN; MACHINING

1 INTRODUÇÃO

As empresas buscam sempre o melhor desempenho a custos cada vez mais competitivos. Para Fogliatto e Ribeiro (2009), isso implica na necessidade de redução de falhas. Loureiro *et al.*, (2014) mostram que, nas empresas do setor metal mecânico, essa necessidade é bastante visível. Para eles, deve-se focar no barateamento dos custos de produção e, sendo a manutenção corretiva uma parcela representativa desses custos, é de extrema importância a sua redução. Os planos de manutenção, nesse caso, são uma importante ferramenta que podem resultar em ganhos à organização (RODRIGUES; SELEME; CLETO, 2015).

Alves e Falsarella (2009) afirmam que a manutenção tem assumido cada vez mais papel de destaque, principalmente no setor industrial. Defendem, em seu estudo, a importância de potencializar essas funções de apoio, de forma a alinhá-las com a melhoria contínua da organização. Xenos (2014) complementa a teoria destes autores quando afirma que, por ser indispensável para a produção, a manutenção deve ser considerada como base de toda a atividade industrial. Isso porque, segundo ele, se o objetivo principal da manutenção é preservar a integridade funcional dos ativos, e a capacidade produtiva está intimamente ligada à confiabilidade e disponibilidade de seus recursos, então a manutenção deve possuir papel estratégico na organização. Stoffel e Quintas (2014) reiteram sobre o assunto, quando afirmam que a manutenção como função estratégica terá importância direta nos resultados da empresa devido à atuação na disponibilidade dos equipamentos.

A Manutenção Centrada em Confiabilidade (MCC) vem apresentando bons resultados nesse contexto, pois “permite determinar racionalmente o que deve ser feito para assegurar que um equipamento cumpra com suas funções no contexto operacional” (ZAIIONS, 2003). Também, Braile e Andrade (2013) mostram em seu estudo que a aplicação conjunta e de forma simultânea da FMEA com a Análise de Confiabilidade pode ser mais eficaz para a tomada de decisão quanto à manutenção de equipamentos. Para tanto, o tema dessa pesquisa é a elaboração de planos de manutenção utilizando a MCC e a análise de falhas como base inicial.

Alves e Falsarella (2009) afirmam que o uso inteligente das informações é uma possível saída para proporcionar à manutenção um meio de potencializar sua gestão estratégica. Reiteram, também, que, para a manutenção, é importante estar atenta às possíveis ameaças e incertezas à continuidade operacional e que, atualmente, a ideia é tornar a

manutenção o mais eficiente e transparente possível, o que significa ser imperceptível para a produção.

Com isso, o problema desta pesquisa é avaliar se a elaboração de planos de manutenção, por meio das técnicas de análise de falhas, é viável. Silva (2015) já comprovou que o uso de estratégias de manutenção planejada preventiva é reduzido em pequenas e médias empresas na cidade de Santa Maria, o que torna o cenário propício para a realização do estudo. Inacio *et al.*, (2014) dizem que os fatores que levam a essa situação são, em grande parte, relacionados à ilusão de que fazer o uso de uma estratégia de manutenção preventiva é mais caro do que utilizar a estratégia de manutenção corretiva, além de desconhecem ou não investirem em metodologia para planejamento da manutenção.

O uso da análise de falhas para elaboração de planos de manutenção é objeto desse trabalho visando a busca de respostas para perguntas como:

- É viável utilizar a análise de falhas para elaborar planos de manutenção em empresas de pequeno e médio porte?
- Como a Manutenção Centrada em Confiabilidade pode auxiliar nesse contexto?

Uma metodologia efetiva e simplificada para analisar falhas e elaborar planos de manutenção tende a aumentar a disponibilidade de seus equipamentos, o que permite o uso racional e produtivo de seus ativos (VIANA, 2009). Entretanto, as particularidades da elaboração de planos de manutenção contêm vários desafios, principalmente no que diz respeito ao tipo e quantidade de equipamentos, e do tamanho da empresa (BRAILE; ANDRADE, 2013). Silva (2015) mostra que a técnica de análise de confiabilidade é totalmente inexistente e desconhecida nas empresas de pequeno e médio porte do setor metal mecânico da região central do Estado do RS, local onde também se encontra a empresa a ser estudada. Sua pesquisa mostra também que este é um cenário suscetível a melhorias e mudanças na área da manutenção.

Além disso, a escolha da abordagem para identificar falhas e a de identificar as tarefas de manutenção adequadas são questões críticas e necessitam de discussão em trabalhos acadêmicos. Segundo Rausand (1998), a escolha dessas tarefas deve focalizar cada uma das falhas utilizando critérios de aplicação e efetividade. Para se alcançar isso, devem ser determinadas previamente metas de redução de custos de manutenção esperadas.

Dessa forma, o objetivo geral desta pesquisa é analisar a viabilidade de elaboração de planos de manutenção utilizando ferramentas da MCC. Especificamente, objetiva-se identificar a atual situação da disponibilidade dos equipamentos estudados, observar as tarefas de manutenção já realizadas nestes e realizar a análise de falhas dos dados coletados. O

presente artigo é composto pela presente Introdução, um Referencial Teórico, a Metodologia, os Resultados e Discussões da pesquisa e a Conclusão.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

O referencial teórico apresenta, inicialmente, conceitos sobre a manutenção em um âmbito geral, seguindo de definições sobre algumas estimativas de confiabilidade. Na sequência, tem-se uma seção sobre a Manutenção Centrada em Confiabilidade (MCC) e uma sobre elaboração de planos de manutenção.

2.1 Introdução à manutenção

A manutenção surgiu no contexto militar após a Segunda Guerra Mundial com foco nos consertos após a quebra. Apenas por volta da década de 1950, com a Engenharia da Confiabilidade, começou a ser incorporada na indústria com o objetivo de evitar essas quebras. Em 1970, evoluiu para a teoria da Manutenção Baseada na Condição e, a partir dos anos de 1990, sua importância começou a crescer exponencialmente (ALVES; FALSARELLA, 2009; VIANA, 2009).

O conceito de Manutenção foi definido pela primeira vez por normas técnicas na Norma TB 116 da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) em 1975, a qual afirmava que era o conjunto de ações necessárias para que um item fosse conservado ou restaurado. Já na revisão desta mesma norma, a NBR 5462 de 1994 (Confiabilidade e Manutenibilidade), esta definição passou a ser “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 possa desempenhar uma função requerida” (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1975; ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1994). Alves e Falsarella (2009) comparam estes conceitos, afirmando que, inicialmente, o significado de Manutenção era apenas de conservação pura do ativo, enquanto que hoje é a sua preservação funcional. Também corrigem a errônea definição provinda do senso comum que remete manutenção a reparos, já que o correto é fazer “ações que evitem a ocorrência de falhas”.

Viana (2009) sintetiza os tipos de manutenção em quatro grandes contextos, que são apresentados na Figura 1. I) A manutenção corretiva, que consiste em ações conduzidas para restaurar um item defeituoso para voltar a desempenhar uma função específica, e que pode ser

planejada ou de emergência; ii) a manutenção preventiva (baseada no tempo), que mantém um item em condições operacionais satisfatórias através de tarefas de manutenção periódicas; iii) a manutenção preventiva preditiva (baseada na condição), que consiste no monitoramento e análise do estado do item com interferência apenas se apresentar sinais de que a falha irá ocorrer; iv) e a manutenção autônoma, onde o responsável pela manutenção da máquina é o próprio operador.

Tipo de Manutenção	Caraterísticas
Manutenção Corretiva	Ocorre após a falha do equipamento, e objetiva trazê-lo de volta ao estado operante no menor tempo possível (FOGLIATTO; RIBEIRO, 2009). São feitas por meio de intervenções aleatórias e imediatas, para evitar graves consequências destas falhas (VIANA, 2009). Podem ser planejadas, quando a estratégia da empresa define que só será realizado conserto após a quebra, se quebrar; ou de emergência, quando, por mais que sejam realizadas tarefas preventivas, há a necessidade da realização da corretiva.
Manutenção Preventiva	Serviços de manutenção realizados de forma periódica, programadas em intervalos predeterminados de tempo. Este planejamento também facilita o Planejamento e Controle de Produção (PCP), pois saber-se-á com antecedência os tempos em que a máquina ficará parada e disponível (VIANA, 2009). Fogliatto e Ribeiro (2009) afirmam, ainda, que este tipo de manutenção objetiva aumentar a confiabilidade dos equipamentos. Lafraia (2008) ressalta, porém, que a simples realização de manutenção preventiva não necessariamente reduz a probabilidade de falha do equipamento. As falhas devem ser estudadas previamente, porque dependendo da situação, o planejamento poderá colaborar a favor das causas de falha.
Manutenção Preditiva	É um tipo de manutenção preventiva que visa monitorar o equipamento. Ao invés de realizar-se manutenções periódicas, este modelo acompanha o desempenho da máquina e consegue prever quando uma falha está por acontecer. Um dos benefícios desse tipo de manutenção é que a máquina é parada apenas quando necessário (VIANA, 2009).
Manutenção Autônoma	É caracterizada pelo fato de ser o operador da máquina o responsável por realizar todas as suas tarefas de manutenção, sejam elas rotineiras, de limpeza e lubrificação até troca de peças (VIANA, 2009).

Figura 1 - Tipos de Manutenção

Fonte: a autora (2016)

2.2 Estimativas de confiabilidade

Confiabilidade é a capacidade de um item desempenhar uma função requerida sob condições especificadas, durante um dado intervalo de tempo (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1994). Para garantir que isso ocorra, existem algumas medidas de confiabilidade que ajudam a conhecer os dados de falha da amostra, bem como distribuições de probabilidade que caracterizam esses dados.

Segundo Lafraia (2008) e Fogliatto e Ribeiro (2009), as medidas de confiabilidade mais relevantes são função densidade de probabilidade $f(t)$, que representa a variação da probabilidade de falhas por unidade de tempo; a função de confiabilidade $R(t)$, que é definida

como a probabilidade de sucesso de uma unidade num determinado intervalo de tempo; e a taxa de falhas $h(t)$, que significa a quantidade de risco associada a um item no tempo t . Além destas, tem-se o tempo médio entre falhas (MTBF), o tempo médio até reparo (MTTR) e a disponibilidade (A), que são medidas de confiabilidade que estão descritas nas subseções a seguir.

2.2.1 Tempo médio entre falhas (MTBF)

Primeiramente, é importante diferenciar itens reparáveis e itens não reparáveis. Itens reparáveis são aqueles que podem falhar mais de uma vez, visto que ao falhar, são reparados e retornam a desempenhar a sua função. O tipo de dados analisados neste caso são os tempos entre falha, o *Mean time between failures* (MTBF). Estes são os únicos que possibilitam a análise de tempos até reparo. Já os itens não reparáveis são aqueles que desempenham a sua função somente até a primeira falha, e depois desta não possuem mais vida útil. Para estes, o parâmetro analisado é o tempo médio até falha, o *Mean time to failure* (MTTF).

O MBTF é a média de tempo que o equipamento demora entre uma falha e outra, ou também o tempo esperado até a próxima falha. Segundo Fogliatto e Ribeiro (2009), a função que melhor descreve o MTBF de um conjunto de dados depende diretamente da sua distribuição de probabilidade, porém também pode ser calculado por:

$$MTBF = \int_0^{\infty} R(t) dt \quad (1)$$

Onde $R(t)$ é a função confiabilidade. Outro método de calcular o MTBF é apontado por Lafraia (2008), onde afirma que basta fazer a média aritmética dos dados de tempos entre falha (TBF).

$$MTBF = \frac{\sum_{i=1}^N TBF_i}{N} \quad (2)$$

Sendo N o número total de amostras e TBF_i os valores de tempo entre as falhas. Porém, não há garantias de que o valor de MTBF encontrado por esse modelo seja fiel às características dos dados estudados.

2.2.2 Tempo médio até reparo (MTTR)

O *Mean time to repair* (MTTR) é o tempo para o reparo de componentes reparáveis e corresponde ao tempo que ele fica parado aguardando o conserto mais o tempo para a realização do conserto. Deve ser obtido de uma amostra nas mesmas condições de uso do componente desejado e é calculado por meio da Equação 3 (LAFRAIA, 2008; FOGLIATO; RIBEIRO, 2009).

$$MTTR = \frac{\sum_{i=1}^N TTR_i}{N} \quad (3)$$

Onde TTR_i são os tempos até reparo dos itens, e N o número total da amostra.

2.2.3 Disponibilidade (A)

A disponibilidade é definida como a capacidade de um item desempenhar sua função requerida em um determinado instante, mediante manutenção apropriada. Para itens reparáveis, aqueles que voltam a desempenhar a sua função depois de receber manutenção, Lafraia (2008) assegura que a disponibilidade (A) pode ser obtida pela Equação 4.

$$A = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} \quad (4)$$

Segundo Fogliatto e Ribeiro (2009), a disponibilidade também pode ser obtida de acordo com o tempo que a máquina é efetivamente usada para a produção. Eles afirmam que esse conceito de disponibilidade também é utilizado na Manutenção Produtiva. Este cálculo pode ser obtido por:

$$D = \frac{\text{tempo de produção}}{\text{tempo programado}} \quad (5)$$

2.3 Manutenção Centrada em Confiabilidade (MCC)

A Manutenção Centrada em Confiabilidade (MCC) é definida como “um programa que reúne várias técnicas de engenharia para assegurar que os equipamentos de uma planta fabril continuarão realizando as funções especificadas” (FOGLIATTO; RIBEIRO, 2009). Estes autores também afirmam que a MCC auxilia as empresas a alcançarem excelência nas atividades de manutenção, ampliando a disponibilidade dos equipamentos, reduzindo seus custos de manutenção, entre outros benefícios.

Rausand (1998) mostra que a Manutenção Centrada em Confiabilidade é uma prática que tem sido aplicada com sucesso ao longo dos anos. Afirma que o seu objetivo principal é reduzir o custo de manutenção, focando nas funções mais importantes do sistema e evitando ou removendo ações de manutenção que não são estritamente necessárias, através da obtenção do melhor custo-benefício de programas de manutenção preventiva. Como objetivos específicos, Fogliatto e Ribeiro (2009) afirmam que a MCC visa estimar a confiabilidade dos equipamentos e aumentá-la.

Moubray (1997) apud Fogliatto e Ribeiro (2009) e Rausand (1998) afirmam que existem sete questões básicas contempladas pelos programas de MCC. Elas resumem-se em

questionar quais são as funções e padrões esperados de cada equipamento, bem como de que modo eles podem falhar, suas causas e suas consequências. Também questionam o quão severo é a falha, o que pode ser feito para preveni-la e o que deve ser feito caso não seja encontrada uma tarefa de prevenção adequada.

Xenos (2014) afirma que as principais informações sobre manutenção dos equipamentos são oriundas do seu registro de falha e dos seus tratamentos, quando estes existem. Esses dados de falha e as melhorias introduzidas nos equipamentos existentes tornam-se um “valioso aprendizado para as equipes de manutenção” (XENOS, 2014). Porém, deve-se analisar se essas ações de melhoria propostas são compatíveis com as possibilidades da empresa em questão (INACIO *et al.*, 2014).

Zaions (2003), em seu trabalho, estuda abordagens de aplicações da MCC de diversos autores, e afirma que as sequências de algumas etapas propostas por eles são coincidentes e que existe pouca variação entre um procedimento e outro. O autor sugere, portanto, a utilização da abordagem lançada por Rausand (1998), a qual também será utilizada neste estudo.

Rausand (1998) propõe um modelo de aplicação da MCC composto por 12 etapas, porém, ele será adaptado ao contexto desta pesquisa e se utilizará apenas as 8 primeiras etapas, que estão ilustradas na Figura 2.

Etapas		Descrição
1	Estudo e preparação	Definição do grupo que irá trabalhar na implantação da MCC e definir os objetivos e o escopo desta análise.
2	Seleção e definição do sistema	Determinar qual o sistema a ser analisado e em que nível.
3	Análise das funções e falhas funcionais	Determinar as fronteiras do sistema, identificando suas entradas e saídas, descrever as funções desse sistema e como ele pode vir a falhar.
4	Seleção de itens críticos	Identificar itens físicos potencialmente críticos com relação às falhas funcionais identificadas na etapa anterior.
5	Coleta de dados e análises	Obtenção de informações a respeito do sistema em análise.
6	Aplicação da FMEA	Identificar os modos de falha dominantes dos itens críticos de manutenção por meio de ferramentas como FMEA e Análise da Árvore de Falhas (FTA).
7	Seleção das ações de manutenção	Selecionar tarefas viáveis e efetivas na prevenção das falhas funcionais, com auxílio de ferramentas como a Árvore Lógica de Decisão ou o Diagrama de Decisão e comparar o programa de manutenção preventiva existente e o projeto proposto pela MCC.
8	Determinar Intervalos de Manutenção	Determinar o intervalo ótimo para realizar as tarefas de manutenção previstas na etapa anterior.

Figura 2 - Etapas de aplicação da MCC
Fonte: a autora (2016)

2.4 Planos de manutenção

A principal função de um programa de manutenção é controlar o estado e garantir a disponibilidade de um equipamento (FOGLIATTO; RIBEIRO, 2009). Viana (2009) afirma que a determinação da estratégia a ser aplicada nos processos produtivos é a base da política de manutenção.

Os planos tradicionais de manutenção são frequentemente baseados em recomendações de fabricantes, manuais de máquinas, opiniões de especialistas, padrões de legislação ou da companhia e modelos e dados de manutenção (RAUSAND, 1998; ZAIIONS, 2003; SANTOS, 2007; VIANA, 2009). Entretanto, Zaiions (2003) e Xenos (2014) sugerem utilizar-se dessas informações apenas quando não se dispõem de informações históricas de falhas para se determinar estatisticamente a periodicidade das tarefas de manutenção através das características específicas do equipamento. Esses dados podem servir de insumos para cálculos de estimativas de confiabilidade, que mostram em qual fase da vida útil o equipamento está e qual a melhor estratégia de manutenção a ser adotada (SELLITTO, 2005; VIANA, 2009). Segundo Fleming, Silva e França (1999), esses dados fazem com que se estabeleça apenas tarefas de manutenção que realmente precisam ser feitas, pois serão relevantes no cenário em questão.

Viana (2009) afirma que os planos de manutenção podem ser estratificados em cinco categorias: plano de inspeções visuais, roteiros de lubrificação, monitoramento de características de equipamentos, manutenção de troca de itens de desgaste e plano de intervenção preventiva. Xenos (2014) ratifica que é importante o detalhamento minucioso dessas tarefas no plano de manutenção, com informações de qual equipamento realizar a tarefa, com que frequência, por que e como fazê-las. Contudo, Rausand (1998) adverte que é fácil de acreditar, erroneamente, que quanto mais o item é rotineiramente posto em manutenção, mais confiável ele será. Muitas vezes acontece o oposto, devido a falhas induzidas por tarefas de manutenção mal definidas (FLEMING; SILVA; FRANÇA, 1999).

Para Lima (2000) apud Zaiions (2003), o intervalo de intervenções é definido proporcionalmente à deterioração do item físico. Segundo Viana (2009), essa periodicidade pode ser por faixa de tempo, quando se estabelece em dias corridos, ou por faixa de utilização, como horas trabalhadas. Apesar disso, Xenos (2014) reitera que a revisão periódica dos planos de manutenção é fundamental para atualizá-los com os dados reais dos equipamentos e tornar a margem de erro, entre as tarefas de manutenção e as falhas, cada vez menor.

Sellitto (2005) reforça que se deve focar inicialmente nas ações que têm mais chances de trazer bons resultados com baixos custos. Para Fleming, Silva e França (1999), na MCC cada tarefa de manutenção é gerada a partir da avaliação das falhas do sistema e suas consequências. E, para realizar essa priorização, as ferramentas que ajudam nessa estruturação são: a Análise de Modos e Efeitos de Falha (FMEA), que traz o conhecimento das causas e efeitos dos modos de falha, além de priorizá-los, e a Árvore Lógica de Decisão, que, através da realização de cinco perguntas, classifica os modos de falha em categorias.

2.4.1 Análise de Modos e Efeitos de Falha - FMEA

A manutenção preventiva não irá prever todas as falhas. Portanto, as consequências potenciais de cada falha devem ser identificadas e a probabilidade de falha deve ser conhecida (RAUSAND, 1998). Nesse contexto, a *Failure Mode and Effects Analysis*, ou Análise de Modos e Efeitos de Falha (FMEA), é uma importante ferramenta para conhecimento e análise dessas falhas potenciais.

Segundo Lafraia (2008), os equipamentos falham devido a três fatores: falha de projeto, falha na fabricação e falha na utilização. Segundo ele, falha significa a incapacidade de realizar uma função requerida, enquanto que função é “toda e qualquer atividade que o item desempenha, sob o ponto de vista operacional”.

Lafraia (2008) também explicita dois conceitos relacionados à análise de falhas: i) modo de falha, que, segundo o autor, é a descrição da maneira pela qual um item falha em cumprir com a sua função, e pode levar à diminuição parcial ou total das funções ou metas de desempenho; ii) falha funcional, que representa a “incapacidade de qualquer item em atingir o padrão de desempenho esperado”. Fogliatto e Ribeiro (2009) ainda explicam outros conceitos na área: efeito potencial de falha, para eles, é a resultante do modo de falha, do ponto de vista do cliente; e a causa ou mecanismo potencial de falha é definida como deficiência do projeto cuja a consequência é o modo de falha. Em resumo, cronologicamente tem-se que inicialmente ocorre a causa da falha, que originará um modo de falha e, por sua vez, acarretará em um efeito de falha. A Figura 3 ilustra a relação entre esses três conceitos.

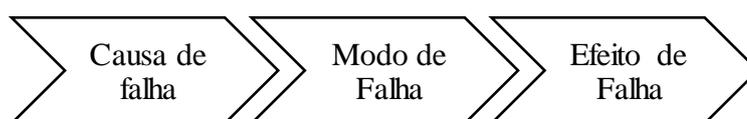


Figura 3 – Relação entre modo, causa e efeito de falha
Fonte: a autora (2016)

Para Lafraia (2008), a FMEA é uma técnica indutiva, estruturada e lógica para identificar e/ou antecipar as causas e efeitos de cada modo de falha de um equipamento. Um dos benefícios deste tipo de análise é o fato de ser um “método sistemático para antecipar modos de falha conhecidos ou potenciais”.

A FMEA possibilita (i) identificar os parâmetros do processo a serem controlados para reduzir ou detectar falhas no processo, (ii) priorizar os modos potenciais de falha, (iii) avaliar as alternativas de tarefas a serem realizadas e (iv) documentar resultados e aumentar conhecimento dos envolvidos. (FOGLIATTO; RIBEIRO, 2009).

A aplicação da FMEA deve se dar por equipes multifuncionais. Sempre que possível, esse estudo deve ser feito antes do evento, e não após a sua ocorrência, supondo possíveis falhas, suas causas e seus efeitos. Antes de realizar a aplicação da ferramenta, deve-se reunir a equipe e os documentos que servirão de suporte ao desenvolvimento da FMEA, bem como fazer um fluxograma do processo. Para esta subseção, serão utilizados conceitos enunciados por Fogliatto e Ribeiro (2009) e Zaions (2003).

A planilha característica da FMEA pode sofrer adaptações de acordo com cada autor, ou para adaptar-se à situação analisada. A planilha a ser utilizada neste estudo é ilustrada na Figura 4.

Item/ Função	Modo de falha	Efeito de Falha	S	Causa de falha	O	Controles de prevenção	Controles de detecção	D	R	Ação Recomendada

Figura 4 – Planilha FMEA
Fonte: adaptado de Fogliatto e Ribeiro (2009)

A descrição de cada um dos campos da Figura 4 está descrita na Figura 5.

Campo	Descrição
Item/Função	Identificação do equipamento e sua função esperada. Caso tenha mais de uma função, listar apenas a que está associada a este modo de falha.
Modo de Falha	Descrição de como o equipamento veio/poderá vir a falhar.
Efeito de Falha	Descrição dos efeitos que o modo de falha apresenta, ou seja, de que forma ele se manifesta. Poderá ter mais de um efeito para cada modo de falha.
Severidade (S)	Indicação do índice de severidade da falha, o qual quantifica a gravidade da falha potencial, de acordo exclusivamente com as suas consequências (efeitos). É um número que varia dentro de uma escala de 1 a 10 e é atribuído pela equipe, onde 1 significa pouco severo e 10, muito severo.
Causa de Falha	Descrição da causa raiz da falha, os motivos que levaram à ocorrência desta falha. Também poderão ser alocadas mais de uma causa para um mesmo modo de falha. É uma das etapas mais importantes do estudo.
Ocorrência (O)	Indicação do índice de ocorrência deste modo de falha. Esse índice pode ser determinado de forma subjetiva, estabelecendo um número dentro de uma escala de 1 a 10, ou de forma quantitativa, utilizando-se da taxa de falha ou do índice de capacidade para determinar o valor da escala.

Controles de Prevenção	Detalhamento das atividades que a empresa já realiza para prevenir esse modo de falha antes de ser detectado pelo cliente, se houver.
Controles de Detecção	Detalhamento das atividades que a empresa já realiza para detectar esse modo de falha, se houver.
Detecção (D)	Indicação do índice de detecção da falha. Aponta qual a capacidade do operador ou da equipe de manutenção detectar um modo potencial de falha antes que ela ocorra e seja percebida pelo cliente.
Risco (R)	Indicação do índice de risco da falha, o qual é utilizado para priorização das ações a serem tomadas. A hierarquização dos modos de falha é feita através da ordem decrescente dos valores de R. O risco R deve ser calculado pela multiplicação dos valores de S, O e D.
Ação Recomendada	Sugestão do que deve ser feito para evitar que a falha volte a ocorrer.

Figura 5 – Descrição da FMEA

Fonte: a autora (2016)

2.4.2 Árvore Lógica de Decisão

A Árvore Lógica de Decisão é uma ferramenta qualitativa relativamente simples que ajuda a classificar os Modos de Falha em categorias. Tem como intuito priorizar as ações de acordo com o quanto a empresa precisará dispor de recursos financeiros para resolvê-los. É composto por cinco questões que, quando respondidas com sim e não, alocam os modos de falha em quatro categorias distintas (ZAIIONS, 2003). A aplicação da Árvore Lógica de Decisão deve ser realizada conforme mostra a Figura 6.

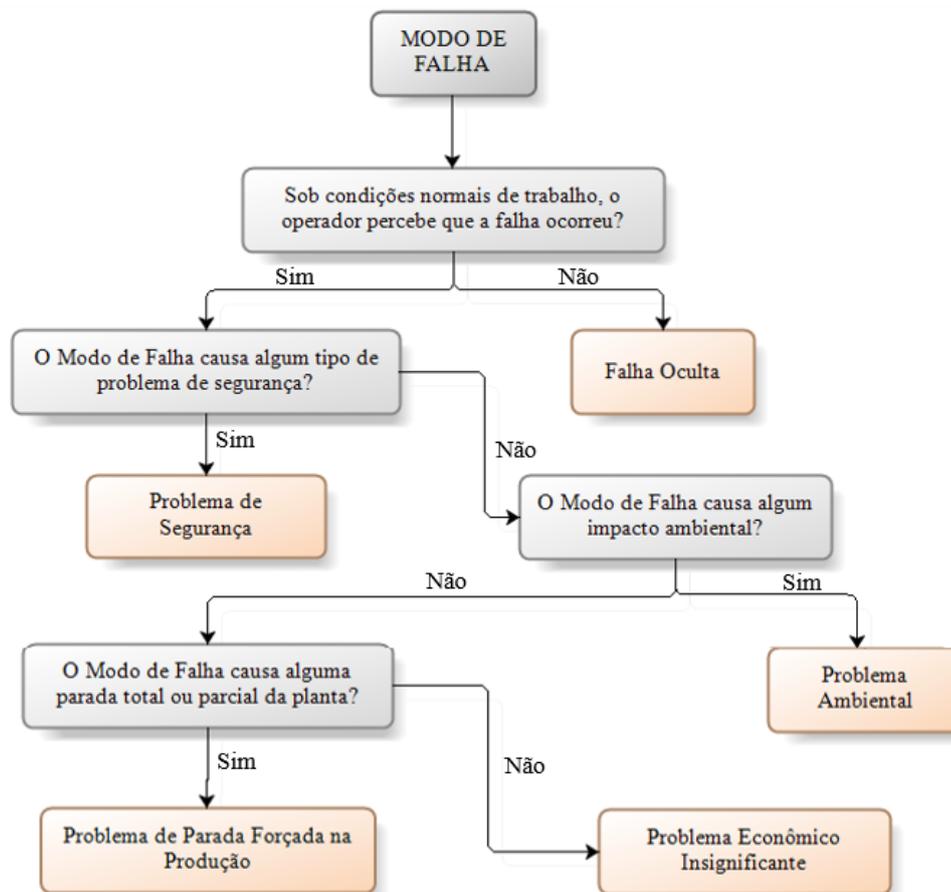


Figura 6 – Árvore Lógica de Decisão

Fonte: Zaiions (2003), adaptado de Smith (1993)

Em relação à priorização dos modos de falha, segundo Zaians (2003), devem ser priorizados, inicialmente, os Problemas de Segurança e Ambientais. Após estes, prioriza-se respectivamente os Problemas de Parada Forçada na Produção, os Problemas Econômicos Insignificantes e as Falhas Ocultas.

3 METODOLOGIA

Esta seção apresenta o cenário da empresa em que este estudo foi aplicado, bem como as características metodológicas desta pesquisa e a descrição de cada uma das etapas realizadas.

3.1 Cenário

A pesquisa foi aplicada em uma empresa de médio porte, do setor metal mecânico, da cidade de Santa Maria, RS. A empresa possui em torno de 280 funcionários, com um portfólio de mais de 200 modelos de implementos agrícolas e está a mais de 40 anos no mercado, sendo “o maior fabricante de implementos desse segmento na América Latina” (AGRIMEC, 2016). Apesar de trabalharem com agricultura, em entrevista os gestores afirmaram não possuírem demanda sazonal, devido à vasta gama de produtos e por possuir clientes localizados em diferentes regiões geográficas da América Latina.

3.2 Método de pesquisa

Este trabalho é de natureza aplicada, já que teve relação com fundamentos de fenômenos e fatos, com finalidade de aplicação em particular (JUNG, 2012). Possui objetivos exploratórios, já que visou propor maior familiaridade com os conceitos de Manutenção Centrada em Confiabilidade, aplicando-os em equipamentos de uma empresa específica. Essas também são justificativas que caracterizam o procedimento como sendo um Estudo de Caso. Foram coletados alguns dados quantitativos, como Tempos até Falha (TTF) e Tempos até Reparos (TTR), e também será aplicada a ferramenta de Análise de Modos e Efeitos de Falha (FMEA), a qual tem características qualitativas, o que faz com que se classifique a abordagem do assunto como combinada (GIL, 2002).

3.3 Etapas da pesquisa

Para a realização dessa pesquisa, inicialmente deve-se planejar a coleta de dados, para posteriormente coletá-los, analisá-los e, através de ferramentas de apoio, conseguir identificar os requisitos para elaborar-se um plano de manutenção. Esta sequência está ilustrada na Figura 7 e suas etapas estão descritas posteriormente.

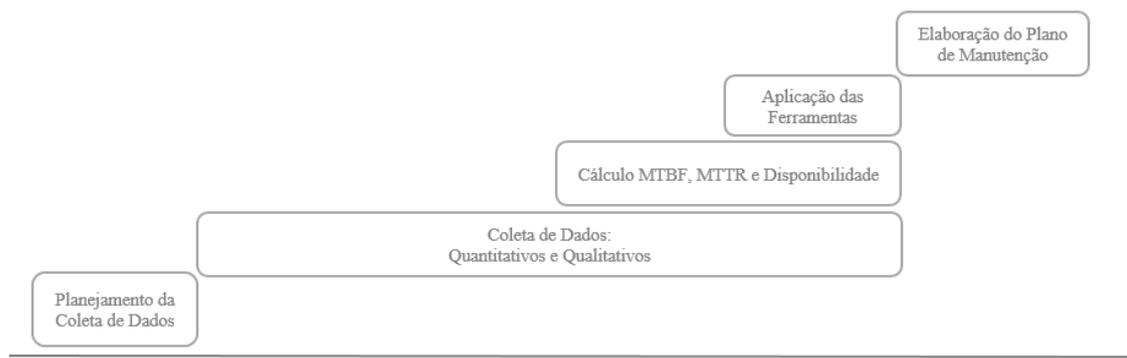


Figura 7 – Etapas da Pesquisa
Fonte: a autora (2016)

Planejar a coleta de dados, neste caso, corresponde a elaborar um roteiro de entrevista para ser aplicado com as pessoas responsáveis pela manutenção dos equipamentos para assegurar a coleta de dados qualitativos. O roteiro de entrevista encontra-se no Apêndice A. Já para os dados quantitativos, deve-se elaborar uma planilha de fácil preenchimento que garanta que dados de paradas de máquinas sejam coletados da maneira correta. A planilha utilizada neste estudo de caso está disponibilizada no Apêndice B.

A coleta de dados qualitativos e quantitativos deve se dar ao longo de um mesmo período de tempo para que eles se complementem. Inicialmente realiza-se uma entrevista seguindo o roteiro estabelecido e, concomitantemente, são captados dados qualitativos em conversas informais. Contato com fornecedores e consultas a manuais de máquinas também são boas fontes de informação. Já a planilha para dados quantitativos é deixada para o supervisor do setor que, devidamente instruído, preenche-a conforme ocorrem as falhas. Neste estudo de caso os dados foram coletados ao longo de 90 dias úteis, de 04 de julho de 2016 a 09 de novembro de 2016.

Para realizar a análise quantitativa dos dados coletados de tempos entre falhas (TBF) e tempos até reparos (TTR), inicialmente deve-se conhecer qual as suas frequências de falhas. Posteriormente, deve-se estimar o MTBF e o MTTR.

Os dados de falha do conjunto total de máquinas devem ser analisados em subconjuntos de máquinas semelhantes, que possuam comportamento de falhas parecido e

possam ser consideradas iguais. Para cada subconjunto, neste estudo denominado grupos de máquinas, realiza-se uma análise específica.

Além das análises dos dados quantitativos referentes a falhas, também são utilizadas outras ferramentas de análise de falhas, que dão suporte e enriquecimento ao estudo. A FMEA e Árvore Lógica de Decisão são adaptadas para serem aplicadas em conjuntos de máquinas mais críticos. Tomando como base as informações obtidas, tem-se insumos para a identificação de requisitos para a elaboração de um plano de manutenção para as máquinas em estudo.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A partir das reuniões, conversas e das entrevistas foram coletadas informações para a caracterização do setor e realizado um treinamento para o supervisor do setor coletar corretamente os dados quantitativos necessários.

O engenheiro entrevistado afirmou que todos os setores da empresa estão carentes de planos de manutenção. Como o objetivo do estudo é analisar apenas um setor, optou-se por escolher o setor de usinagem, visto que é um setor bem organizado, que tem todas as máquinas alocadas em um mesmo ambiente e as pessoas que lá trabalham possuem um nível de instrução superior aos demais. Também reconhece que é interessante começar fazendo um plano de manutenção pelo processo inicial da fabricação, pois de nada adianta ter processos mais à frente com máquinas disponíveis se o processo anterior tem capacidade reduzida por falta de disponibilidade de máquinas.

A usinagem é subdividida em agrupamentos de máquinas com características semelhantes. Contém três serras fita, seis tornos mecânicos, uma fresadora, uma rosqueadeira, sete furadeiras e quatro máquinas de Controle Numérico Computadorizado (CNC), sendo elas três tornos e um centro de usinagem. Seu arranjo físico pode ser visto na Figura 8. O setor é composto por um supervisor e 12 operadores, que trabalham na empresa, em média, há 8 anos. Isso, juntamente com o fato de cada um operar sempre a mesma ou as mesmas máquinas, mostra que eles possuem *know how* para realizar suas tarefas.

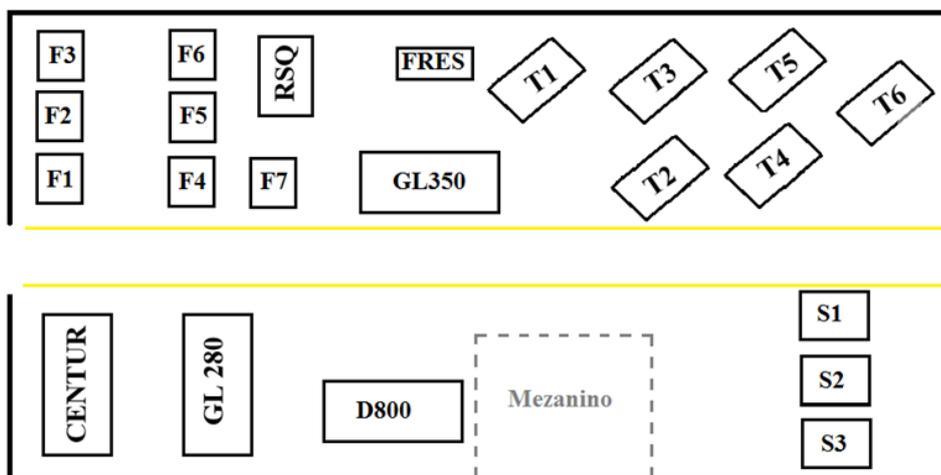


Figura 8 – Arranjo físico das máquinas do setor de usinagem
 Fonte: a autora (2016)

O setor de manutenção é composto por um funcionário, que trabalha na empresa há 10 anos, e, eventualmente, um auxiliar, geralmente estagiário de nível técnico. Eles são responsáveis pelas tarefas de manutenção de quatro empresas que pertencem ao mesmo grupo. Segundo o responsável pela manutenção, raras são as vezes em que é necessário a contratação de terceiros para a realização de tarefas. Para trabalhar, o setor de manutenção possui uma sala localizada no meio do chão de fábrica. Quando é possível, as máquinas ou parte delas são deslocadas até a sala para serem trabalhadas. Caso contrário, trabalham no local onde a máquina está localizada.

O responsável pela manutenção afirma que a sua capacidade de trabalho é suficiente para atender a demanda de tarefas, e possuem uma política de só realizarem manutenção corretiva. Se houver mais de uma tarefa a ser realizada, a priorização se dá de acordo com três critérios: o tempo que cada conserto demandará, a importância que cada equipamento possui no processo produtivo e se há redundância desse equipamento.

A empresa não possui estoque de peças para utilização em reparos das máquinas, apenas alguns itens que costumam ser trocados com frequência, tais como insertos, lâminas de serras, etc. Engrenagens e peças mecânicas, quando necessitadas, são fabricadas na própria empresa, enquanto que equipamentos eletrônicos e outros materiais são comprados quando demandados.

Por mais que os responsáveis pelo setor de manutenção afirmem não trabalhar com manutenção preventiva, algumas tarefas com essas características foram percebidas ao longo do estudo. Entre elas tem-se a troca periódica dos óleos lubrificantes das máquinas CNC pelo supervisor do setor de usinagem, realizada a cada seis meses. Algumas tarefas de manutenção

autônoma também foram identificadas, visto que cada funcionário faz a limpeza, lubrificação e recolhimento dos cavacos da máquina que operou ao final do seu uso.

Além dessas informações, foram coletados os dados de parada de máquina por falha com a folha de verificação preenchida pelo supervisor do setor. Para realizar o estudo as máquinas foram agrupadas por semelhança: os das CNCs estão contidos na Tabela 1, os dos tornos na Tabela 2 e os das serras na Tabela 3. As furadeiras, a rosqueadeira e a fresadora não apresentaram falha durante o período de coleta de dados. Segundo funcionários do setor, isso se deu porque as duas últimas não são muito utilizadas e as furadeiras não costumam apresentar falhas, por mais que sejam utilizadas.

Estas tabelas apresentam o total de horas que as máquinas ficaram paradas, os seus tempos médios até reparo (MTTR), seus tempos médios entre falhas (MTBF) e suas disponibilidades, sendo eles calculados a respeito de todos os equipamentos juntos e também de cada um em separado.

A disponibilidade (A) dos equipamentos foi calculada de duas maneiras distintas. A_1 obedece a Equação 4, a qual utiliza as medidas MTBF e MTTR para seus cálculos. Já a Equação 5 sofreu uma adaptação para calcular A_2 . Fogliatto e Ribeiro (2009) afirmaram que a disponibilidade de um equipamento se deve à razão entre o tempo de produção sobre o tempo programado. Porém, neste caso, as máquinas estarem disponíveis não significa estarem produzindo. Isto porque, devido à grande quantidade de máquinas para o setor e suas redundâncias, nem sempre há programação para todas elas. Deste modo, A_2 foi calculado através da razão entre as horas que ela efetivamente estava à disposição para a linha de produção e o total de horas do período, neste caso, de 90 dias, conforme é visto na Equação 6.

$$A_2 = \frac{T_t - T_p}{T_t} \quad (6)$$

Sendo T_t o tempo total de horas do período e T_p o tempo total em horas que a máquina ficou parada. Para o cálculo das disponibilidades totais do grupo de máquinas, A_1 e A_2 não foram calculados fazendo-se a média das disponibilidades individuais de cada máquina, e sim com seus dados totais. Para tanto, em A_1 o T_t é multiplicado pela quantidade de equipamentos que o grupo engloba.

Reitera-se que estas disponibilidades calculadas, A_1 e A_2 , consideram que a não-disponibilidade da máquina se dá apenas quando esta está parada por falha. Isso significa que não é recomendável utilizar estas disponibilidades para o Planejamento e Controle da Produção (PCP), visto que os responsáveis por este precisam de informações de quanto do tempo a máquina estará efetivamente produzindo. Ao contrário de outros estudos, estas

disponibilidades não consideram tempos de setup, produção de defeituosos e afins, sendo utilizada apenas para acompanhar as melhorias relativas aos planos de manutenção nas máquinas.

Tabela 1 - Dados de falha das máquinas CNCs

	Total	D800	CENTUR	GL280	GL350
Total de horas parado	109,53	79,03	17,38	13,78	5,33
MTTR (h)	9,13	16,5	5,63	13,78	5,33
MTBF (h)	60	144	144	720	720
A₁	96,19%	89,85%	97,58%	98,08%	99,26%
A₂	96,33%	89,72%	96,23%	98,20%	99,26%

Fonte: a autora (2016)

As quatro máquinas CNC que a empresa tem neste setor são consideradas as mais importantes, pois produzem mais em menos tempo, quando comparadas com as demais máquinas e, portanto, possuem sempre ordens de produção a cumprir. Entre elas, a D800 e a CENTUR foram as que mais falharam, tendo cada uma delas parado cinco vezes. As demais máquinas pararam apenas uma vez no período de coleta de dados. Não foi identificado um motivo relevante que pudesse ser responsável por essa diferença.

Percebe-se, ao analisar a Tabela 1, que a máquina deste grupo que menos está disponível para a empresa é a D800, a qual não chega a 90%. Por mais que a CENTUR tenha falhado o mesmo número de vezes que a D800, aquela fica, de acordo com as análises de MTTR, menos tempo parada, o que dá a ela uma disponibilidade maior que a D800.

Tabela 2 - Dados de falha dos tornos

	Total	Torno 1	Torno 2	Torno 3
Total de horas parado	14,17	2	4,17	8
MTTR (h)	2,02	2	1,04	4
MTBF (h)	102,85	720	160	320
A₁	99,67%	99,72%	99,42%	98,88%
A₂	99,67%	99,72%	99,35%	98,76%

Fonte: a autora (2016)

Já a área dos tornos é composta por seis máquinas, conforme ilustrado na Figura 8. Destes, apenas três apresentaram falhas, cujos dados individuais estão apresentados na Tabela 2. O Torno 2 parou quatro vezes, enquanto que o Torno 3 parou duas e o Torno 1 apenas uma vez. Os demais tornos não falharam durante o período analisado.

Devido à grande redundância de máquinas deste tipo, nem todas são utilizadas com a mesma frequência, o que pode ser um motivo relevante para essa diferença entre os números de falha. Os seis equipamentos não são totalmente iguais, pois possuem algumas peculiaridades entre si, como a capacidade de desempenhar funções específicas ou de comportar diferentes tamanhos de peças. Tem-se que os Tornos 1, 2 e 3 são os mais usados; o Torno 4 é usado apenas para peças que, devido ao seu tamanho, os tornos anteriores não comportam e, quando há elevada demanda deste tipo de peça, utiliza-se em paralelo o Torno 6. O Torno 5 é o mais antigo de todas as máquinas da usinagem e, devido a isso, evita-se utilizá-lo na produção.

Por mais que este subgrupo seja composto por um grande número de equipamentos, os tornos não apresentaram um elevado número de falhas durante o referido período, representando apenas 20,51% do total de falhas identificadas. Tanto as máquinas individualmente estudadas, como o total do grupo, apresentaram bons valores de disponibilidade, estando todos próximos de 99%, e com tempos médios até reparo muito pequenos.

Tabela 3 - Dados de falha das serras

	Total	Serra 1	Serra 2	Serra 3
Total de horas parado	209,72	20,85	44,68	144,18
MTTR (h)	13,98	4,17	8,94	25
MTBF (h)	48	144	144	144
A₁	90,29%	97,11%	93,8%	79,97%
A₂	91,15%	97,18%	94,15%	85,2%

Fonte: a autora (2016)

A Serra 1 é automática e a máquina mais recente a ser adquirida pela empresa. As Serras 2 e 3 são manuais, sendo a 3 menor e mais antiga que a 2. Observou-se que a máquina mais velha é a que mais falha (MTBF menor) e a que fica mais tempo parada (MTTR maior), enquanto que a mais nova é a que menos falha e a que mais rapidamente é reparada.

Por mais que haja redundância de máquinas, todas trabalham simultaneamente durante todo o tempo disponível. Caso haja uma queda na demanda, opta-se por deixar a Serra 3 ociosa devido a sua capacidade produtiva ser inferior às demais, devido ao seu tamanho e idade.

Durante o período de 90 dias, ocorreram 39 falhas no total. Destas, apenas 38,46% foram corrigidas pelo técnico de manutenção da empresa. Outras 41,03% foram corrigidas

pelos próprios operadores, 10,25% pelo supervisor do setor e 10,25% precisaram de contratação de empresa terceirizada. Todavia, tem-se que 100% das falhas ocorridas foram identificadas pelos operadores das máquinas e, apenas depois, foram comunicadas ao setor de manutenção, o que comprova o que Fleming, Silva e França (1999) afirmam em seu estudo.

Os autores atestam que, apesar de os responsáveis pela manutenção conhecerem a fundo os equipamentos e seus componentes, é geralmente os operadores que percebem a ocorrência dos modos de falha. Os dados apresentados mostram que, por mais que a empresa tenha um responsável específico para realização da manutenção, sua capacidade de trabalho não consegue atender toda a demanda dessas tarefas e os colaboradores do setor de usinagem acabam tendo que atuar também nesta função.

Durante a pesquisa, foram identificadas criticidades em alguns equipamentos, mais especificamente nas CNCs e nas serras, porém, de maneiras diferentes. As máquinas CNC são críticas porque possuem uma capacidade de produzir mais peças em menor tempo quando comparadas a máquinas manuais, o que faz com que acarretaria um atraso na produção quando parassem por falha. Também, a empresa as considera críticas devido ao alto valor investido nestas máquinas, que precisam trabalhar a maior parte do tempo possível para poder se pagar. Por mais que elas representem 30,77% do total das falhas coletadas, elas ficam em média 9,13h paradas e, enquanto não estão disponíveis, sua demanda de trabalho pode ser atendida pelas demais máquinas manuais (tornos, furadeiras e fresadora).

Por outro lado, tem-se que as serras foram os equipamentos que mais falharam neste período, correspondendo a 38,46% do total de falhas e as que mais ficam tempo paradas para conserto (em média 13,98h). Não obstante, há o agravante de que não há máquinas CNCs que possam realizar a sua função enquanto elas estão paradas, sendo elas as únicas responsáveis por serrar a matéria prima. Além disso, elas constituem a fase inicial do processo produtivo, pois deve-se primeiro serrar para posteriormente usinar as peças nas demais máquinas, o que faz com que uma serra parada por falha afete diretamente todo o restante do setor de usinagem.

Desse modo, classificou-se as serras como sendo os equipamentos mais críticos, e, para auxiliar na identificação de tarefas de manutenção, foram aplicadas com elas duas ferramentas de apoio à MCC: a FMEA e a Árvore Lógica de Decisão. Elas foram adaptadas para serem aplicadas simultaneamente, adicionando uma coluna ao final da planilha tradicional da FMEA para ser preenchida com a categoria dos modos de falha de acordo com a segunda ferramenta (Apêndice C).

Por mais que as serras fitas sejam equipamentos complexos que podem apresentar um número alto de modos de falha, foram identificados apenas onze modos de falha quando as ferramentas foram aplicadas. A maioria dos modos de falha analisados foram identificados através da coleta de dados previamente realizada. As demais falhas foram sugeridas pelas pessoas que participaram do preenchimento da ferramenta: o supervisor do setor e dois operadores destas máquinas. O responsável da manutenção não participou da aplicação da ferramenta.

Foi possível identificar que a aplicação da FMEA é, de certa forma, complexa, e necessitaria de um treinamento prévio para que as pessoas compreendessem como é seu funcionamento e pudesse se obter um melhor resultado. Também, percebeu-se que certas paradas para consertos são, por eles, consideradas inerentes ao processo, devido à grande frequência, e, portanto, não as consideram falhas, como por exemplo os itens que fazem menção à quebra da lâmina de corte. Além disso, algumas sugestões de modos de falha muitas vezes não foram consideradas pelos colaboradores por descreditarem que certas anomalias poderiam vir a ocorrer.

Entretanto, a aplicação da Árvore Lógica de Decisão se mostrou mais acessível e entendível aos respondentes, mas foi aplicada apenas com os modos de falha identificados na FMEA. Nesta pesquisa, a ferramenta apontou que dois modos de falha são ligados a Problemas Ambientais, cinco a Falhas Ocultas e quatro a Problemas de Parada Forçada da Produção. Dos modos de falha elencados, nenhum foi caracterizado como Problema de Segurança nem como Problema Econômico Insignificante.

Percebe-se que, neste caso, as falhas identificadas como sendo relacionadas a Problemas Ambientais foram as que apresentaram maior risco na FMEA e, portanto, deveriam ser as primeiras a serem tratadas. Após estas, seguem as classificadas como Falhas Ocultas e, com menor risco, ficam as de Parada Forçada da Produção.

Segundo Zaions (2003), deve-se priorizar os Problemas Ambientais, depois os de Parada Forçada da Produção e, por último, as Falhas Ocultas. Porém, ao combinar os resultados da Árvore Lógica de Decisão com os da FMEA, obtém-se uma ordem um pouco diversa para estes equipamentos, priorizando as Falhas Ocultas aos Problemas de Parada na Produção.

Para fazer a análise da viabilidade da elaboração de um plano de manutenção utilizando as ferramentas da MCC, necessita-se de dados de falha coletados ao longo de um período. Devido a esse fato, não foi possível fazê-la com as furadeiras, a fresadora e a rosqueadeira, visto que elas não falharam no período de estudo.

A empresa em estudo, mais especificamente o seu setor de usinagem, possui vários equipamentos com idade avançada e que falham com frequência. De acordo com os princípios da MCC, se estes dados de falha fossem anotados corretamente e detalhadamente pelos operadores todas as vezes que ocorressem, seria possível elaborar um plano de manutenção mais peculiar para estes. Admite-se, também, que se os dados de falha fossem captados por pessoas que entendem mais sobre manutenção e sobre o real significado de falha, com certeza haveria maior garantia de uma coleta real desses dados, visto que algumas paradas nem sempre são consideradas falhas por estes funcionários.

Especificamente, esta pesquisa objetivou identificar a situação atual da disponibilidade dos equipamentos estudados, observar as tarefas de manutenção já realizadas nestes e realizar a análise de falhas dos dados coletados, e pressupôs-se que estas informações seriam suficientes para a elaboração de um plano de manutenção para esses equipamentos. Por mais que tenha sido possível alcançar todos estes objetivos específicos, percebeu-se que ainda faltaram insumos para que a elaboração desse plano fosse completa. Para complementá-lo, reitera-se que seria de extrema importância o acesso a dados históricos dessas falhas e a certeza de que eles tenham sido corretamente coletados, além de aplicar as ferramentas de apoio de forma íntegra e capaz de trazer bons insumos.

Com isso, tem-se que a Manutenção Centrada em Confiabilidade e suas ferramentas podem sim auxiliar na função de elaboração de planos de manutenção. Entretanto, analisando-se especificamente o contexto de pequenas e médias empresas, identifica-se a falta de suporte para a aplicação dessa metodologia. Isso porque a organização do sistema produtivo destes é feita de forma quase que arcaica, sem nenhum tipo de programação da produção a longo prazo e com poucas formas de controle do que e como se está produzindo.

Também, nestas empresas há a concepção das pessoas que já trabalham há muitos anos no mesmo ramo de que certos tipos de problemas “sempre ocorreram” e, então, consideram essas falhas e paradas no processo como algo inerente a ele, e não como algo que deva ser tratado. Certas ações contendoras e/ou corretivas são consideradas, por eles, algo normal, e que creem ser o certo conter a falha o mais rápido e breve possível com o que há de mais fácil para se fazer a seu alcance.

Em relação à alta gerência da empresa em questão, há a dificuldade de diálogo quando se precisa de algum investimento de maior valor no setor fabril. As ordens dos superiores é que se deve conseguir fazer as contenções com o que já se tem em casa e tentar conter e corrigir as falhas da maneira mais simples e barata. Esta abordagem não é a ideal, porque

muitas vezes pode não ser a mais adequada e acaba encarecendo porque a máquina volta a parar outras vezes pelo mesmo motivo, o que pode também ser identificado na pesquisa.

5 CONCLUSÃO

Nesse artigo foi identificada a situação da disponibilidade dos equipamentos estudados. Para isso, o setor de usinagem da empresa foi subdividido em grupos de máquinas semelhantes e seus dados de falha coletados foram analisados. Calculou-se os tempos médios entre falhas (MTBF) e tempos médios até reparo (MTTR) de cada uma das máquinas que vieram a falhar no período, bem como para o grupo de máquinas como um todo.

Encontrou-se também a disponibilidade de cada uma das máquinas do setor, calculando-a de duas formas distintas. Obteve-se respostas muito parecidas com ambos métodos, o que comprova que a Equação 6, sugerida na pesquisa, considera as mesmas variáveis do que a Equação 4, que é específica para a área de manutenção. Esta disponibilidade encontrada, no entanto, remete à porcentagem de tempo que a máquina está pronta para uso, mas que pode não estar necessariamente produzindo.

Em relação as tarefas de manutenção já realizadas, observou-se que, por mais que os colaboradores afirmem não realizar nenhum tipo de manutenção preventiva, identificou-se que há sim algumas tarefas desta categoria, como a troca periódica de óleos lubrificantes das máquinas CNCs e a limpeza diária de todas as máquinas após o término de seu uso. Identificou-se, também, que nem todas as tarefas de manutenção demandadas são realizadas pelo responsável por isso. Muitas vezes, o próprio operador da máquina as realiza.

A análise de falhas através de ferramentas foi realizada por meio da FMEA e da Árvore Lógica de Decisão, onde foram encontrados onze modos de falha para as serras, equipamentos identificados como sendo os mais críticos nesta esta pesquisa. A aplicação dessas ficou comprometida devido à falta de preparo e treinamento prévio das pessoas que participaram do seu preenchimento.

Finalizando, este artigo objetivou analisar a viabilidade de elaboração de planos de manutenção utilizando ferramentas da MCC para empresas de pequeno e médio porte, o qual concluiu que não possuem uma boa base de organização fabril que a permita aplicar esta metodologia, pois a coleta de dados fica comprometida. Acredita-se que a aplicabilidade deste estudo não pode ser indeferida com apenas uma aplicação e, portanto, reitera-se que a metodologia aqui proposta é passível de ser aplicada em demais empresa, para a qual sugere-se a comparação destes resultados.

6 REFERÊNCIAS

AGRIMEC. **Agrimec**. Disponível em <<http://agrimec.com.br/agrimec/>>. Acesso em: 17 out. 2016.

ALVES, R. D. P.; FALSARELLA, O. M. Modelo conceitual de inteligência organizacional aplicada à função manutenção. **Gestão e Produção**, v. 16, p. 313-324, abr-jun 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **TB116**: confiabilidade e manutenibilidade. Rio de Janeiro, 1975. Substituída pela NBR 5462.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5462-TB116**: confiabilidade e manutenibilidade. Rio de Janeiro, 1994.

BRAILE, N. A.; ANDRADE, J. J. D. O. Estudo de Falhas em Equipamentos de Costura Industriais utilizando o FMEA e a Análise de Confiabilidade. **XXXIII Encontro Nacional de Engenharia de Produção**, Salvador, 2013.

FLEMING, P. V.; SILVA, M. F.; FRANÇA, S. R. R. O. Aplicando Manutenção Centrada em Confiabilidade (MCC) em indústrias brasileiras: lições aprendidas. **Encontro Nacional de Engenharia de Produção**, Rio de Janeiro, 1999.

FOGLIATTO, F. S.; RIBEIRO, J. L. D. **Confiabilidade e Manutenção Industrial**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2009.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2002.

INACIO, M. et al. Análise de Risco e Identificação de Oportunidades de Melhoria por meio da Implantação do FMEA. **XXXIV Encontro Nacional de Engenharia de Produção**, Curitiba, 2014.

JUNG, C. F. **Elaboração e redação de projetos de estágio e TCC**. Disponível em: <<http://www.metodologia.net.br>> Acesso em: 02 abr. 2016.

LAFRAIA, J. R. B.. **Manual de Confiabilidade, Manutenibilidade e Disponibilidade**. 3. Remp. Rio de Janeiro: QualityMark: Petrobras, 2008.

LOUREIRO, R. G. et al. Aplicação de Ferramentas a Prova de Falha "Poka-Yoke" como Ações Resultantes de FMEA de Processo em Unidades Produtivas do Setor Automobilístico. **XXXIV Encontro Nacional de Engenharia de Produção**, Curitiba, 2014.

RAUSAND, M. Reliability Center Maintenance. **Reliability Engineering and System Safety**, n.60, p.121-132, 1998.

RODRIGUES, T. A.; SELEME, R.; CLETO, M. G. Processo de tomada de decisão quanto à política de manutenção. **Revista Gestão Industrial**, v.11, n.03, p.125-147, 2015.

SANTOS, V. A. S. **Manual Prático da Manutenção Industrial**. 2. ed. São Paulo: Ícone, 2007.

SELLITTO, M. A. Formulação estratégica da manutenção industrial com base na confiabilidade dos equipamentos. **Revista Produção**, v.15, n.1, p. 044-059, 2005.

SILVA, G. D. O. D.; PIZZOLATO, M.; BRAGHIROLI, L. F. **Barreiras na Qualificação da Manutenção em Empresas de Pequeno e Médio Porte do Setor Metal Mecânico**. 2015. Trabalho de Conclusão de Curso – Curso de Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, 2015.

STOFFEL, D.; QUINTAS, J. P. R. Aumento da Disponibilidade e da Confiabilidade em um Módulo Desacelerador de Produtos. **Gestão Industrial**, v. 10, n. 01, p. 81-104, 2014.

VIANA, H. R. G. **Planejamento e Controle da Manutenção**. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2 ed. 2009.

XENOS, H. G. D. P. **Gerenciando a Manutenção Produtiva**. 2. ed. Nova Lima: FALCONI Editora, 2014.

ZAIONS, D. R. **Consolidação da Metodologia de Manutenção Centrada em Confiabilidade em uma Planta de Celulose de Papel**. 2003. 219f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2003

APÊNDICES

APÊNDICE A – Roteiro de Entrevista

CONVERSA INICIAL

- Qual o número de funcionários da empresa?
- Quem são seus principais clientes, mercado de atuação, setor, produtos e tempo no mercado?
- Quais são as máquinas que vocês utilizam na produção?
- Qual a idade média dos equipamentos da empresa?
- Existe um setor da empresa que seja mais crítico, ou seja, que sempre tem coisa para produzir?
- Como está estruturado o setor de manutenção (pessoas, local, etc.)?
- O senhor pode me contar como que vocês fazem a manutenção de seus equipamentos?
 - Realizam apenas quando quebra?
 - Possui alguma manutenção programada/preventiva?
 - Qual a ordem de prioridade de realização da manutenção quando há mais de uma a ser realizada?
 - Os operadores realizam atividades relacionadas a limpeza e lubrificação de máquinas?
 - Há armazenagem de peças de reposição? São compradas ou fabricadas?
- O senhor acha que está adequado a quantidade de pessoal para realizar manutenção, levando em consideração a quantidade de atividades a serem feitas?
- Quais as principais causas que levam à manutenção de seus equipamentos?
- O Senhor acha que teria como reduzir esse número de atividades de manutenção? Como?
- São registrados de alguma forma os dados de falha?

APÊNDICE C – FMEA

FMEA - Serras											
	Modo de Falha	Efeito da falha	S	Causa da falha	O	Deteção	Prevenção	D	Sugestão	NPR	ALD
1	Pistão sem óleo	desce muito rápido na hora do corte	7	Desgaste/ ressecamento do engate da mangueira	6	"Vai ficando mais pesada"		7	trocar por mangueiras mais resistentes	294	Problema Ambiental
2	Pistão sem óleo	dificuldade no posicionamento da peça devido ao peso excessivo do braço	5	Desgaste/ ressecamento do engate da mangueira	6	"Vai ficando mais pesada"		7	trocar por mangueiras mais resistentes	210	Problema Ambiental
3	Rolamento com folga	Mau funcionamento; Produtos com defeito	3	vida útil dos rolamentos/ condições de uso	4	lâmina frouxa ("balanço")		7		140	Falha Oculta
4	Folga nas buchas	desalinha a lâmina e o corte sai inclinado	5	desgaste; vida útil	6			6		180	Falha Oculta
5	Desgaste dos rolamentos	estraga outras peças da máquina até quebrá-las	6	exposição a fatores externos (cavacos, umidade, sujeira)	3	ruído diferente	verificação se está bom o alojamento do rolamento e se o alinhamento da serra está certo.	7		126	Falha Oculta
6	Quebra da lâmina	máquina perde sua função de serrar	8	desgaste; mau uso	9			1		72	Falha Oculta
7	Quebra da lâmina	máquina perde sua função de serrar	8	má qualidade do material	9			1	Comprar serras de fornecedor confiável	72	Falha Oculta
8	Queima da bomba d'água	Falta de lubrificação na máquina - deve-se trabalhar na capacidade mínima	4	falta de abastecimento de água (abaixo do nível mínimo)	4	Ao ligar a máquina não e não espirrar água	Reposição de água acima do nível mínimo	2		32	Problema de Parada Forçada da Produção
9	Cabo rompido	serra não avança	7	Cabo arrastando no chão, caiu uma peça sobre ele	2		Caixa para alocar as peças quando caem	2	Suspender o Cabo	28	Problema de Parada Forçada da Produção
10	Pane elétrica	Parada total da máquina	8	desconhecidos. (ex falta de fase)	1			3		24	Problema de Parada Forçada da Produção
11	Falhas nos sensores	Perda da função automática	3	exposição a fatores externos (cavacos, umidade, sujeira)	2			2		12	Problema de Parada Forçada da Produção