

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA

MANUTENÇÃO CENTRADA EM CONFIABILIDADE – ESTUDO E APLICAÇÃO DO MÉTODO

por

Ramon Clivatti Magnabosco

Monografia apresentada ao Departamento de Engenharia Mecânica da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como parte dos requisitos para obtenção do diploma de Engenheiro Mecânico.

Porto Alegre, dezembro de 2017



Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Escola de Engenharia
Departamento de Engenharia Mecânica

MANUTENÇÃO CENTRADA EM CONFIABILIDADE - ESTUDO E APLICAÇÃO DO MÉTODO

por

Ramon Clivatti Magnabosco

ESTA MONOGRAFIA FOI JULGADA ADEQUADA COMO PARTE DOS
REQUISITOS PARA A OBTENÇÃO DO TÍTULO DE
ENGENHEIRO MECÂNICO
APROVADA EM SUA FORMA FINAL PELA BANCA EXAMINADORA DO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA

Prof. Dra. Thamy Cristina Hayashi
Coordenador do Curso de Engenharia Mecânica

Área de Concentração: Projeto e Fabricação

Orientador: Prof. José Antônio Esmerio Mazzaferro

Comissão de Avaliação:

Prof. Alcy Rodolfo Dos Santos Carrara

Prof. Flavio José Lorini

Prof. Patric Daniel Neis

Porto Alegre, dezembro de 2017

AGRADECIMENTOS

Agradeço, acima de tudo, à minha família, meu pai Nédio Moacir Magnabosco, minha mãe Izaine Lourdes Clivatti Magnabosco e minha irmã Carine Clivatti Magnabosco, por todo o amor, carinho e suporte que me deram durante todos esses anos de graduação, enfrentando junto comigo a distância que nos separou do convívio diário, e também são merecedores desta conquista.

Agradeço ao meu orientador, Professor José Antônio Esmerio Mazzaferro pela confiança, pelo acompanhamento, e por todos os ensinamentos durante o decorrer deste trabalho.

Agradeço ao meu supervisor de estágio, Luiz Paraboni Neto e aos colegas de trabalho, Everson Apolinário, Henrique Neves e Luciano Gonçalves, por todo suporte e ensinamentos passados durante este último ano. Vocês foram extremamente importantes para meu desenvolvimento.

Agradeço aos professores da Engenharia Mecânica, pela dedicação e excelência na transmissão dos conhecimentos, bem como os ensinamentos de vida.

Agradeço às famílias Clivatti e Magnabosco, pelo apoio e companheirismo durante toda a evolução de minha vida até este momento.

Agradeço à Bruno Kovara Viera, pela irmandade e presença constante em todas as etapas que se desenvolveram durante graduação, desde o primeiro semestre até o trabalho de conclusão.

Agradeço, de forma geral, à todos meus amigos de Ronda Alta, Porto Alegre e da General Motors em Gravataí, que contribuíram direta ou indiretamente para minha formação como Engenheiro Mecânico.

MAGNABOSCO, R. C. **Manutenção Centrada em Confiabilidade – Estudo e aplicação do método**. 2017. 25 páginas. Monografia (Trabalho de Conclusão do Curso em Engenharia Mecânica) – Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2017.

RESUMO

Frente aos atuais desafios da globalização econômica, a atividade de manutenção industrial passou a desempenhar função estratégica dentro das organizações, atuando diretamente como diferencial competitivo no mercado. O presente trabalho trata de uma revisão às bibliografias disponíveis sobre a emergente filosofia de atuação da manutenção, denominada Manutenção Centrada em Confiabilidade (MCC), a fim de formar bases sólidas de conhecimento para, então, implantar estes conceitos de forma piloto em equipamentos que compõem o sistema de solda à ponto de uma montadora de automóveis. Como resultado, obtém-se um plano de manutenção robusto e abrangente, focado na preservação das funções principais dos componentes. Durante a implementação da MCC, procurou-se aplicar a Distribuição de Weibull para um dado modo de falha, a fim de evidenciar as potencialidades desta ferramenta estatística, quando utilizada como suporte à tomada de decisões no processo de manutenção. Em função dos parâmetros obtidos pela Distribuição de Weibull, foi possível direcionar a escolha da atividade de manutenção para o modo de falha e definir a periodicidade ideal de intervenção.

PALAVRAS-CHAVE: Manutenção Centrada em Confiabilidade (MCC), Manutenção Industrial, Distribuição de Weibull

MAGNABOSCO, R. C. **Reliability Centered Maintenance – Study and Method Application**. 2017. 25 pages. Monografia (Trabalho de Conclusão do Curso em Engenharia Mecânica) – Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2017.

ABSTRACT

Faced with the current challenges of economic globalization, the industrial maintenance activity started to play a strategic role within the organizations, acting directly as a competitive differential in the market. The present work represents a review of available bibliographies about the emerging philosophy of maintenance performance, called Reliability Centered Maintenance (RCM), in order to gather a solid basis of knowledge to then implement these concepts as pilot in equipments that make up the point welding system of an automobile assembly plant. As a result, a robust and comprehensive maintenance plan is achieved, focused on preserving the main functions of the components. During the implementation of the RCM, the application of the Weibull Distribution for a given failure mode was attempted in order to highlight the potentialities of this statistical tool, when used as support for decision making in the maintenance process. According to the parameters obtained by the Weibull distribution, it was possible to guide the choice of the maintenance activity to the failure mode and to define the ideal periodicity of intervention.

KEYWORDS: Reliability Centered Maintenance (RCM), Industrial Maintenance, Weibull Distribution

ÍNDICE

	Pág.
1. INTRODUÇÃO	1
2 OBJETIVOS	1
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	2
4 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	2
5 METODOLOGIA	5
6 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	13
7. CONCLUSÕES	14
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	15
Anexo A.....	16
Apêndice A.....	19

1. INTRODUÇÃO

A fim de acompanhar as crescentes exigências da indústria, como qualidade de produto, entrega de produção dentro do prazo, preservação do meio-ambiente, segurança social, minimização dos custos de produção e alta disponibilidade de equipamentos, as atividades de manutenção tem passado por fortes modificações ao longo das últimas décadas. Estimulada por uma maior demanda de produtos e redução de mão de obra disponível, a indústria atual está muito automatizada e suas instalações são cada vez mais complexas.

Visando atender os requisitos de industrias altamente produtivas e automatizadas, os setores de planejamento de manutenção tendem, cada vez mais, a preocupar-se com a disponibilidade dos seus equipamentos, procurando evitar falhas que comprometam a produtividade. Para que seja atingida a máxima eficiência de um equipamento, é fundamental o conhecimento dos conceitos de confiabilidade, manutenibilidade e disponibilidade, pois eles demonstram a “saúde” de um processo produtivo.

Através da Manutenção Centrada na Confiabilidade, ou MCC, é possível avaliar a confiabilidade e disponibilidade de um equipamento através do seu histórico de falhas e, a partir desta análise, criar um plano de manutenção que contemple as expectativas da empresa em relação ao equipamento.

Em Fogliatto et al, 2009, define-se a MCC como um programa que reúne várias técnicas de engenharia para assegurar que os equipamentos de uma planta fabril continuarão realizando as funções especificadas. Devido a sua abordagem racional e sistemática, os programas de MCC tem sido reconhecidos como uma das formas mais eficientes de tratar as questões de manutenção. Eles permitem que as empresas alcancem excelência nas atividades de manutenção, ampliando a disponibilidade dos equipamentos e reduzindo custos associados a acidentes, defeitos, reparos e substituições.

2. OBJETIVO

O objetivo do presente trabalho é desenvolver um estudo sobre “Manutenção Centrada na Confiabilidade” e aplicar o método de manutenção nos equipamentos que compõem o sistema de solda à ponto em uma montadora de veículos situada na região sul do Brasil. Os pontos de solda tem função estrutural e são aplicados para realizar união entre as chapas da carroceria (Apêndice A) dos automóveis montados na empresa.

O sistema de solda à ponto avaliado é 100% automático e é manipulado por robôs (que não entrarão no estudo). Os equipamentos avaliados são:

- máquina de solda ponto automática (MSPA) (Figura A.3, em anexo);
- trocador de eletrodos automático (Figura A.4, em anexo);
- fresador de eletrodos (Figura A.5, em anexo);
- controlador de potência da solda - WTC.

Por ser o principal equipamento do sistema, a MSPA será o foco do desenvolvimento do trabalho e serão avaliadas as fronteiras deste equipamento com os demais equipamentos do sistema. Fronteiras entre equipamentos, em MCC, são as interferências causadas por um equipamento no funcionamento dos demais.

Ao final do estudo, deseja-se chegar à um plano de manutenção robusto para a MSPA. Este plano deve apresentar ações para os modos de falha listados do equipamento. Ao avaliar as fronteiras do sistema, serão citadas ações para reduzir o impacto negativo da interferência dos demais equipamentos no funcionamento da MSPA.

O objetivo da MCC é preservar a função do sistema, de modo que este possa continuar desempenhando as funções que os usuários esperam no contexto operacional [MOUBRAY, 2000].

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

NOWLAN e HEAP, 1978, escreveram, representando a United Airlines, um relatório para o Departamento de Defesa dos Estados Unidos, sobre os processos usados pela indústria de aviação civil no preparo de seus programas de manutenção. Este relatório foi intitulado “*Reliability-Centered Maintenance*” (RCM), e ainda hoje é um dos mais importantes documentos de gestão de equipamentos fornecendo uma grande contribuição sobre as condições que devem existir para que a manutenção programada seja efetiva.

SMITH, 1993, definiu método para chegar ao ponto ótimo de manutenção a partir de uma análise qualitativa, sem a necessidade inicial de ter uma base de dados com histórico de falhas dos equipamentos.

BRANCO, 1996, lançou um “Dicionário de Termos de Manutenção e Confiabilidade” e definiu o termo manutenção 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 possa desempenhar uma função requerida”.

SAE JA1011: Evaluation Criteria for Reliability-Centered Maintenance Processes, 1999. A Sociedade Americana de Engenheiros Automotivos (SAE), em atendimento a uma solicitação do governo americano, publicou em 1999 esta norma, que descreve os critérios mínimos que qualquer processo deve atender para que possa ser considerado como MCC. Em 2002, estes critérios foram detalhados através da publicação da norma SAE JA1012: A Guide to the Reliability-Centered Maintenance Standard.

MOUBRAY, 2000, atribui à manutenção a função de “assegurar que os itens físicos continuem a fazer o que os seus usuários querem que eles façam”. Essa mudança de enfoque proposta, de atenção não ao item mas à função que ele possui, representa a ruptura de um paradigma da manutenção.

LAFRAIA, 2001, definiu como uma das principais funções da manutenção a de aumentar a confiabilidade do item físico no qual é aplicada. Conforme o autor, essa confiabilidade é quase inteiramente uma função da qualidade do programa ou plano de manutenção.

SIQUEIRA, 2005, definiu de forma clara que a MCC é uma estratégia efetiva de manutenção que concentra-se em evitar ou reduzir as consequências significantes de falhas, desta forma é possível priorizar o atendimento às necessidades do processo ou aplicação, em detrimento das necessidades próprias ou individuais dos itens.

ZAIONS, 2003, buscou consolidar a metodologia de manutenção centrada em confiabilidade em uma planta de celulose e papel. Para tal, realizou um amplo estudo sobre as principais ferramentas utilizadas pela MCC e a sistemática de implementação na visão de vários autores.

CUNHA, 2005, desenvolveu um projeto piloto de implantação da manutenção centrada em confiabilidade em uma usina siderúrgica. O projeto resultou em um plano robusto de manutenção e evidenciou a potencialidade do uso da distribuição de Weibull no processo.

FOGLIATTO e DUARTE, 2009, trataram a confiabilidade do ponto de vista quantitativo, baseado na modelagem estatística de dados, e não qualitativo como os outros livros sobre o tema.

4. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

4.1. Evolução da manutenção

A forma como o homem intervém numa máquina a fim de manter a função para a qual foi concebida, tem mudado significativamente com o decorrer das últimas décadas. No início das atividades de manutenção, trabalhava-se apenas com modelos de manutenção corretiva emergencial, o que exigia que os equipamentos fossem muito mais robustos para evitar paradas de linha de produção. Com a evolução da engenharia e projetos de equipamentos cada vez mais

complexos e com menor coeficiente de segurança, exigiu-se que os setores de manutenção evoluíssem em paralelo as suas práticas. Começou-se a trabalhar com manutenções preventivas ou corretivas programadas, baseada no tempo de vida dos equipamentos, e posteriormente iniciou-se a utilização de práticas de manutenção preditiva, que monitoram as condições ou desempenho do equipamento e indicam o momento da intervenção. A partir dos anos 90, começa aparecer na literatura a manutenção detectiva, que trata da atuação efetuada em sistemas de proteção buscando detectar falhas ocultas ou não perceptíveis ao pessoal de operação e manutenção. A manutenção detectiva foca nos equipamentos que garantem a segurança operacional, ou seja, instrumentos e rede de inter travamentos que, em última análise, são o limiar entre a integridade e a falha, retirando de operação uma máquina ou uma linha de produção que estejam em condições fora dos limites estabelecidos.

4.2. Manutenção centrada na confiabilidade

Os conceitos de Manutenção Centrada em Confiabilidade (MCC) ou RCM evoluíram a partir do desenvolvimento das disciplinas de engenharia da confiabilidade nos anos 50. [Zaions, 2003]

A indústria aérea americana, entre 1960 e 1970, através de Nowlan e Heap, conduziu este processo de mudança nos conceitos tradicionais de manutenção. Com a crescente elevação dos custos de manutenção frente aos custos de produção, decorrentes do aumento da complexidade dos equipamentos, a MCC disseminou-se nos últimos 20 anos no setor industrial [ZAIONS, 2003].

O objetivo da MCC é preservar a função principal do sistema, de modo que este possa continuar desempenhando as funções que os usuários esperam no contexto operacional [MOUBRAY, 2000]. Através da formação de uma equipe multidisciplinar, discutem-se as propriedades, as funções do sistema e do equipamento, analisam-se as falhas e suas consequências, e define-se a melhor estratégia de manutenção. A metodologia apoia-se em diagramas de decisão e em planilhas estruturadas que permitem a análise e facilitam a tomada de decisão, buscando sempre preservar a função do equipamento no contexto operacional, minimizando as consequências e eliminando as causas das falhas. Tem-se, então uma ferramenta racional para a seleção de tarefas de manutenção, deixando-se de utilizar apenas critérios intuitivos como experiência, julgamento, recomendações de fabricante e tentativa e erro [LAFRAIA, 2001].

A MCC é um processo contínuo, necessitando reavaliações à medida que se acumula experiência operacional sobre o equipamento, bem como dados de falha, para otimização das frequências das tarefas. Alguns benefícios da MCC são a redução na carga de trabalho da manutenção preventiva, aumento da disponibilidade dos sistemas, aumento da vida útil dos equipamentos, redução do número de peças sobressalentes, especialização de pessoal em planejamento de manutenção, rastreamento das decisões e motivação para o trabalho em equipe.

4.3 Distribuição de Weibull

Segundo Cunha, 2005, várias são as distribuições contínuas que descrevem a densidade de probabilidade de ocorrência de uma dada variável, entre elas citam-se a Distribuição Normal, ou de Gauss, a Distribuição Log-Normal, a Distribuição Exponencial e a Distribuição de Weibull.

A função desenvolvida por Hjalmar Waloddi Weibull em 1937, inicialmente utilizada durante estudos de resistência de aços e correntes fabricadas com estes aços, mostrou-se bastante adequada à modelagem de falhas em equipamentos, sendo uma função capaz de representar diversos tipos de funções de tempo transcorridos até a falha e com parâmetros de significado claro e objetivo quanto à caracterização de vida, conforme expressões da Tabela A.1 em anexo. Em 1975, a Força Aérea Americana passa a utilizar esta distribuição para análise de

falhas, esta que é hoje a técnica mais utilizada no mundo para estimar dados de vida [BRANCO, 1996].

A seguir descrevem-se os parâmetros da distribuição de Weibull e seu significado:

- Tempo de vida mínima ou tempo até a falha inicial (t_0): indica o tempo mais provável de utilização de uma máquina ou componente até que ocorra a primeira falha. É importante observar que a taxa de falha só é diferente de zero após o tempo t_0 .
 - $t_0 = 0$ – Não há confiabilidade intrínseca. Em $t=0$ a probabilidade de falha é zero
 - $t_0 > 0$ – Há confiabilidade intrínseca (período de garantia, não ocorre falha)
 - $t_0 < 0$ – Há “vida de prateleira”. O componente pode falhar antes de ser usado.
- Vida característica ou Parâmetro de escala (η): é o tempo para que, numa amostra considerável, ocorram cerca de 63% das falhas, ou seja, 37% das máquinas ou componentes permaneçam operando. Este valor provém do fato de haver um valor tal de $\eta = (t - t_0)$ na equação da probabilidade de sobrevivência de Weibull que reduz a confiabilidade para $R(t) = e^{-1} = 0,37$
- Fator de forma (β): é o principal parâmetro da distribuição. Define a forma da distribuição e fornece informações importantes sobre o período de vida em que se encontra o componente.
 - $\beta < 1$ – curva típica de falhas prematuras ou “mortalidade infantil”, com taxa de falha crescente com o tempo;
 - $\beta = 1$ – curva típica de falhas aleatórias, com taxa de falha constante, independente do tempo (função exponencial);
 - $\beta > 1$ – curva típica de falhas por desgaste (final de vida útil ou obsolescência), com taxa de falha crescente com o tempo;
 - $\beta = 2$ – Taxa de falha linearmente crescente;
 - $\beta = 3,2$ – Distribuição de frequências aproxima-se da distribuição Normal, tornando-se menos dispersa a medida que β cresce;

A figura 4.1 apresenta o comportamento da função Densidade de Probabilidade de Weibull bem como da função Taxa de falhas para alguns valores de β .

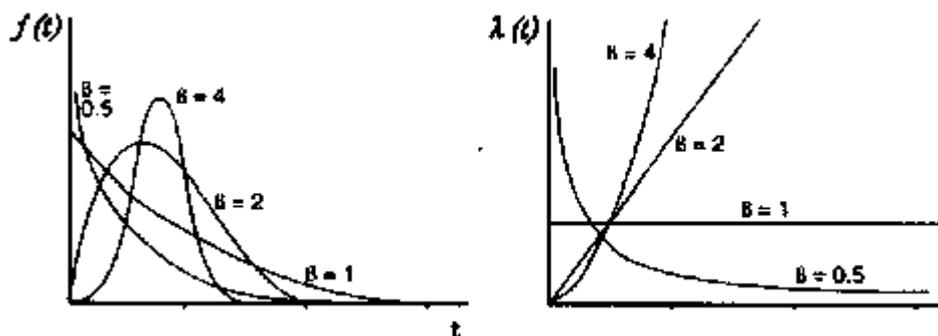


Figura 4.1: Função densidade de probabilidade $f(t)$ e função de falhas de Weibull $\lambda(t)$. (Fonte: MOUBRAY, 2000)

4.2.3. Tipos de Falhas

Estipular períodos fixos de manutenção preventiva para substituição ou para recondiçãoamento de componentes, como se faz atualmente, implica em considerar que a taxa de falhas, para um dado modo de falha, mantém-se constante por um dado tempo (vida útil) e que, superado este, passa a elevar-se, em função do desgaste. Desta forma, programam-se as

manutenções para períodos inferiores ao início do desgaste, imaginando-se estar aumentando a confiabilidade do equipamento. Este raciocínio que está por trás dos planos periódicos, funciona bem para equipamentos simples e equipamentos complexos com modos de falha dominantes [Cunha, 2005].

Entretanto, com a crescente complexidade dos equipamentos atuais, observa-se mudanças na natureza das falhas. Atualmente, fala-se em seis padrões de falhas no que diz respeito à taxa de falhas em função do tempo de operação conforme apresentado na figura 4.2.

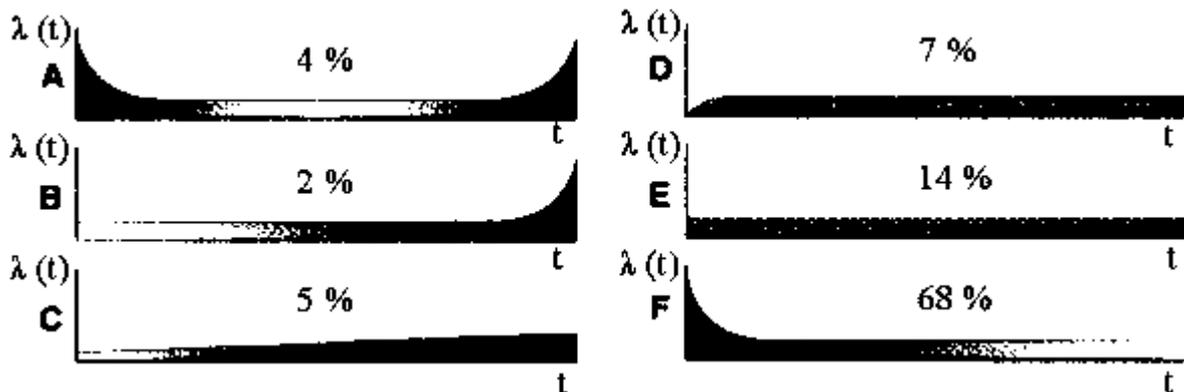


Figura 4.2: Taxa de falhas, ou probabilidade condicional de falhas, versus tempo de operação para seis padrões de falhas. (Fonte: MOUBRAY, 2000)

Os valores percentuais, mostrados na figura 4.2, foram obtidos em estudo com aviões civis e referem-se ao comportamento dos seus componentes quanto ao padrão de falha. Para equipamentos industriais este comportamento não é necessariamente o mesmo, porém, à medida que a complexidade destes cresce, observa-se a predominância dos padrões E e F [LAFRAIA, 2001].

Assim, evidencia-se que confiabilidade e tempo de operação podem não estar obrigatoriamente relacionados e que, uma manutenção programada pode, na realidade, aumentar a taxa de falhas, diminuindo a confiabilidade, através da introdução de falhas prematuras que não existiriam no sistema (Exemplo: um mecânico ao abrir uma máquina para executar uma revisão periódica, após não localizar nenhum problema, monta de forma indevida um componente e fecha a máquina liberando-a para operação) [Cunha, 2005].

Não quer dizer que a manutenção preventiva deva ser abandonada, porém uma manutenção corretiva pode ser mais eficaz para falhas sem maiores consequências, ou ainda uma manutenção preditiva, para falhas relevantes e possíveis de serem monitoradas [MOUBRAY, 2000].

5. METODOLOGIA

De acordo com Moubray, 2000, existem sete questões básicas que devem ser contempladas pelos programas de MCC:

- i. Quais as funções e padrões de desempenho esperados para os equipamentos fabris?
- ii. De que modo os equipamentos podem falhar em cumprir suas funções?
- iii. O que causa cada falha funcional?
- iv. O que acontece quando cada falha ocorre?
- v. De que forma cada falha interessa?
- vi. O que pode ser feito para prevenir ou impedir cada falha?
- vii. O que deve ser feito quando não pode ser estabelecida uma atividade proativa pertinente?

Ao responder estas questões, a equipe de MCC consegue direcionar as atividades de manutenção com base nos modos de falhas dos equipamentos, dando prioridade para as falhas que causam maior impacto na linha de produção e preservando as funções dos equipamentos.

Na empresa em questão, o projeto piloto ocorreu na funilaria, mais precisamente, na área do *Framming Outer*, ou fechamento externo da carroceria dos automóveis que, no momento, classificava-se como o gargalo produtivo da planta. Para entender melhor como funciona a montagem completa dos automóveis, é feito um apanhado geral no APÊNDICE A.

Para a implantação da “Manutenção centrada na confiabilidade” nos equipamentos que compõem o sistema de solda à ponto da empresa, escolheu-se seguir os “Passos para a implantação da MCC” demonstrados em Fogliatto et al, 2009. A bibliografia separa este processo em nove etapas, descritas à seguir.

5.1. Escolha do comitê e equipes de trabalho

A primeira etapa da implantação da MCC é a de escolha da equipe responsável pelo programa. É necessária uma pessoa para liderar o programa, e esta pessoa deve ter conhecimento sobre o método e acreditar nos princípios da MCC, além de ser bom comunicador e motivar a equipe de trabalho. Esta equipe de trabalho, por sua vez, deve ter representantes de produção e engenharia de manutenção que faz com que seja levado em consideração tanto a necessidade de produção da empresa, quanto o conhecimento técnico sobre os equipamentos.

No presente trabalho, o comitê envolveu engenheiros, estudantes de engenharia e especialistas em manutenção e teve aprovação de gerencia e diretoria da empresa. A equipe de trabalho, por sua vez, contou com técnicos mecânicos e eletroeletrônicos com experiência em manutenção, facilitadores de time, líderes de grupo de manutenção e produção e engenheiros.

5.2. Capacitação em MCC

Uma vez conhecidas as pessoas envolvidas com o trabalho, é necessário capacitá-las sobre o assunto. Todas as pessoas do comitê devem conhecer em detalhe a MCC, o que inclui entender os conceitos associados a: fundamentos da MCC, falhas funcionais, padrões de falha, conceitos de confiabilidade, diagrama de blocos, redundância, FMEA, manutenção preventiva, manutenção preditiva, manutenção corretiva, diagrama de decisão da MCC, etapas da implantação da MCC.

Para isso, foram necessárias semanas de preparação, incluindo estudo de bibliografias (citadas no capítulo 3), artigos e dissertações e *benchmarking* com outras empresas do grupo que já haviam realizado trabalhos semelhantes anteriormente.

O comitê realizou esta primeira etapa da capacitação e foi responsável por multiplicar para toda a equipe de trabalho em um *workshop* realizado para capacitação e desenvolvimento do programa.

5.3. Estabelecimento dos critérios de confiabilidade

Nesta etapa define-se qual a confiabilidade esperada para os equipamentos da planta como um todo e, como regra, deve-se priorizar:

- i. impedir qualquer acidente que possa incorrer em danos pessoais;
- ii. impedir qualquer acidente que possa gerar danos ambientais e infrações a normas locais, nacionais ou internacionais;
- iii. impedir qualquer acidente que possa gerar danos materiais significativos
- iv. assegurar alta confiabilidade aos equipamentos gargalos.

O interessante desta etapa, é que os valores da empresa estão em linha com as prioridades do método. Segurança, Meio Ambiente e danos materiais significativos, devem

sempre ser priorizados e o foco deve ser sempre em equipamentos ou sistemas gargalos dentro da planta.

5.4. Estabelecimento da base de dados

A MCC requer que as informações referentes à confiabilidade dos componentes estejam disponíveis. Para tanto, é essencial estabelecer um banco de dados que registre e classifique as falhas observadas na planta. Entre outros campos, o banco de dados deve conter a indicação de: sistema, subsistema, conjunto, componente, data e hora da falha, causa da falha, classificação da falha, ação corretiva, data e hora do retorno da operação

Como escolheu-se realizar o projeto piloto de MCC num sistema praticamente 100% automatizado, existe uma base de dados consistente à disposição da equipe de MCC. Todos os equipamentos do sistema possuem um ativo em um software de manutenção. Este software monitora a vida útil, a periodicidade das atividades de manutenção programada, os planos de manutenção que devem ser realizados no equipamento, histórico de falhas e trabalhos de manutenção corretiva programada ou emergencial realizadas. Ainda é possível, detalhar as peças de reposição necessárias para reparo dos equipamentos, controlando a quantidade de peças existentes no almoxarifado da empresa. Este controle é extremamente importante para garantir que equipamentos ou peças estejam disponíveis no momento que for necessário uma troca.

5.5. Aplicação da FMEA e classificação dos componentes

FMEA é a abreviação de *Failure Mode and Effect Analysis* e resume-se em levantar todos os modos de falha possíveis para cada equipamento e, após, analisar os efeitos causados no funcionamento dos equipamentos por estes modos de falha.

A aplicação do FMEA inicia identificando a função de cada componente. A função é a razão pela qual componente está instalado e preservá-la é o objetivo central do programa de manutenção. Em seguida, através da FMEA, são identificados os modos de falha de cada componente e seus respectivos efeitos e potenciais causas.

O Workshop abordou todas as funções principais do sistema *Framming Outer*, fazendo uma análise qualitativa com base na experiência da equipe de MCC. No entanto, o presente trabalho irá abordar apenas os equipamentos que fazem parte do sistema de solda à ponto, que é uma dentre as 11 funções principais levantadas para o *Framming Outer*. Por ser o principal equipamento do sistema, a MSPA será o foco do desenvolvimento do trabalho e será feita uma avaliação das fronteiras deste equipamento com os demais.

A tabela 5.1 demonstra o desenvolvimento do FMEA para a MSPA. Durante o FMEA foram listadas as funções principais do equipamento, suas falhas funcionais, os modos de falha que podem gerar estas falhas funcionais e, a partir dos efeitos dos modos de falha, o impacto gerado na linha de produção.

Tabela 5.1: FMEA da Máquina de solda à ponto automática

Análise de Falhas e Seus Efeitos							
item	Função	F #	Falha Funcional	F #	Modo / Causa de Falha Potencial	Efeito Potencial da Falha	Parada de Produção
C i r c u i t o d e r e f r i g e r a ç ã o	Refrigerar os equipamentos durante o processo de solda à ponta	A	Não refrigerar os equipamentos durante o processo de solda à ponta	1	Obstrução circuito por sujeira ou mangueiras torcidas/dobradas	Baixa vazão de água para refrigeração do sistema. Danos aos equipamentos e qualidade dos pontos de solda comprometida.	30min
				2	Liner em condições inapropriadas.	Baixa vazão de água para refrigeração do eletrodo. Não forma os turbilhões necessário para a correta circulação da água. Pontos de solda soltos ou torcidos.	30min
				3	Vazamento por mangueira furada ou conexões danificadas.	Baixa vazão de água para refrigeração do sistema. Danos aos equipamentos e qualidade dos pontos de solda comprometida.	20min
				4	Prolongador danificado.	Prolongadores e eletrodos não são refrigerados corretamente. Problemas de qualidade com presença de pontos de solda soltos ou torcidos.	30min
				5	Travamento da eletroválvula da weldsaver devido à sujeira.	Falha no sistema de controle de vazão do sistema de refrigeração. Danos aos equipamentos e qualidade dos pontos de solda comprometida.	20min
				6	Falha na solenóide da weldsaver por queima da bobina.	Falha no sistema de controle de vazão do sistema de refrigeração. Danos aos equipamentos e qualidade dos pontos de solda comprometida.	30min
				7	Bobina da solenóide da weldsaver desconectada.	Falha no sistema de controle de vazão do sistema de refrigeração. Danos aos equipamentos e qualidade dos pontos de solda comprometida.	10min
				8	Conexões hidráulicas do weldsaver estranguladas, furadas ou rompidas.	Baixa vazão de água para refrigeração do sistema. Danos aos equipamentos e qualidade dos pontos de solda comprometida.	20min
				9	Conexões pneumáticas da weldsaver danificadas.	Falha no sistema de controle de vazão do sistema de refrigeração. Danos aos equipamentos e qualidade dos pontos de solda comprometida.	20min
				10	Rotor da weldsaver trancado por sujeira.	Falha no sistema de controle de vazão do sistema de refrigeração. Danos aos equipamentos e qualidade dos pontos de solda comprometida.	20min
				11	Controlador da weldsaver queimado por final de vida útil.	Falha no sistema de controle de vazão do sistema de refrigeração. Danos aos equipamentos e qualidade dos pontos de solda comprometida.	60min
				12	Controlador da weldsaver queimado por infiltração de água.	Falha no sistema de controle de vazão do sistema de refrigeração. Danos aos equipamentos e qualidade dos pontos de solda comprometida.	60min
				13	Cabo da weldsaver desconectado ou rompido.	Falha no sistema de controle de vazão do sistema de refrigeração. Danos aos equipamentos e qualidade dos pontos de solda comprometida.	60min
				14	Baixa vazão de alimentação no abastecimento do sistema de resfriamento.	Baixa vazão de água para refrigeração do sistema. Danos aos equipamentos e qualidade dos pontos de solda comprometida.	Paradas intermitentes
				15	Cabo de conexão de rede ethernet da weldsaver desconectado ou rompido.	Falha no sistema de controle de vazão do sistema de refrigeração. Danos aos equipamentos e qualidade dos pontos de solda comprometida.	60min
S t d i r e s a n p e s o m t a i ê s n d s c e ã i o a	Transmitir a potência necessária para realizar o ponto de solda	B	Não transmitir a potência necessária para realizar o ponto de solda	16	Shunt fadigado resultando uma baixa condutividade.	Não realiza o ponto de solda ou não passa a corrente necessária para realiza-lo com qualidade.	20min
				17	Falta de aperto nos parafusos de fixação do shunt.	Não realiza o ponto de solda ou não passa a corrente necessária para realiza-lo com qualidade.	10min
				18	Mau contato nos condutores corpo da pinça (conjunto mecânico) resultando baixa condutividade.	Não realiza o ponto de solda ou não passa a corrente necessária para realiza-lo com qualidade.	60min
				19	Queima do transformador por defeito na ponte retificadora.	Não realiza o ponto de solda.	60min
				20	Mau contato, curto circuito ou rompimento nos cabos de alimentação de potência de solda.	Não realiza o ponto de solda ou não passa a corrente necessária para realiza-lo com qualidade.	60min
S m i o s v t i e m e m e a n t n e ç ã o d a M S P A	Realizar o posicionamento correto dos eletrodos nas chapas de metal e impor a pressão necessária para aplicar o ponto de solda.	C	Não realizar o posicionamento correto dos eletrodos nas chapas de metal ou não impor a pressão necessária para aplicar o ponto de solda.	21	Infiltração de água no servogun.	Travamento do servogun. Não aplica o ponto de solda ou não aplica a pressão necessária para realiza-lo com qualidade.	60min
				22	Travamento da servogun por restrição mecânica interna.	Travamento do servogun. Não aplica o ponto de solda ou não aplica a pressão necessária para realiza-lo com qualidade.	60min
				23	Mau funcionamento das guias lineares da pinça de solda por desgaste por fadiga mecânica.	Não posiciona corretamente o eletrodo movel para realizar o ponto de solda. Não aplica o ponto ou aplica no local incorreto.	60min
				24	Patins da pinça de solda com desgaste por fadiga mecânica.	Não posiciona corretamente o eletrodo movel para realizar o ponto de solda. Não aplica o ponto ou aplica no local incorreto.	60min
				25	Articulação da pinça com folga por desgaste por fadiga mecânica.	Não posiciona corretamente o eletrodo movel para realizar o ponto de solda. Não aplica o ponto ou aplica no local incorreto.	90min
				26	Mau contato, curto circuito ou rompimento nos cabos de alimentação potencia do encoder.	Não posiciona corretamente o eletrodo movel para realizar o ponto de solda. Não aplica o ponto ou aplica no local incorreto.	30min
				27	Mau contato, curto circuito ou rompimento nos cabos de alimentação potência da servogun.	Falhas no acionamento do servogun. Não aplica o ponto de solda ou não aplica a pressão necessária para realiza-lo com qualidade.	60min

5.6. Seleção das atividades de MP pertinentes

Encontradas as funções principais dos sistemas, suas falhas funcionais e com o FMEA preenchido, é necessário atribuir atividades de manutenção para os modos de falhas levantados. Fazendo isso por MCC, deve-se seguir um diagrama de decisão conforme Figura A.1 e Figura A.2 em anexo.

O diagrama de decisão indica atividades de manutenção onde os focos principais são segurança e meio ambiente. Procura-se sempre aplicar atividades de manutenção proativa (preventivas ou preditivas) e por último a opção de rodar até a falha (*run-to-failure*) que indica sempre um re-projeto dos componentes que causam impacto negativo ao falhar.

Para tarefas de substituição ou descarte programado, a frequência é estabelecida dividindo-se o MTBF por um valor arbitrário maior que 3 ou 4, dependendo do nível de confiabilidade requerido [MOUBRAY, 2000]. Deve-se considerar ainda o custo da falha, o custo de substituição programada e o possível efeito da manutenção sobre a confiabilidade [LAFRAIA, 2001].

No caso de tarefas de monitoramento baseado nas condições Moubray, 2000, demonstra que há um período, antes da ocorrência de uma falha funcional (F) identificável por monitoramento condicional, denominado intervalo P-F no qual esta falha, dita então potencial (P), passa a ser identificável. Desta forma, recomenda-se que as frequências de coleta de dados (tarefas de manutenção preditiva) fiquem em torno de metade do intervalo P-F.

Quando não há informações de histórico disponíveis para se determinar estatisticamente as frequências, recorre-se então à opinião de especialistas, pelo menos na fase de implementação da MCC. Segundo Smith, 1993, na primeira inspeção do equipamento se observam os níveis de desgaste. Se não for identificada nenhuma anomalia, aumenta-se o intervalo de 10%. Repete-se o processo até que se encontre algum sinal de desgaste em uma inspeção. Neste momento regride-se o intervalo em 10%, ficando este como intervalo entre as tarefas de inspeção. Com o passar do tempo, forma-se um banco de dados suficiente para realizar controle estatístico.

A Tabela 5.2 apresenta as atividades de manutenção que foram atribuídas para o equipamento. As atividades de manutenção foram definidas a partir do *Diagrama de Decisão de tarefas de manutenção* (Figura A.1 e Figura A.2 em anexo) e possuem uma tarefa indicada, com periodicidade definida, para cada um dos modos de falha do equipamento, buscando sempre proteger as suas funções principais.

5.7. Documentação das atividades de MP

Após o FMEA e as atividades de manutenção definidas, é necessário documentá-las e fazer com que sejam lançadas para a equipe de manutenção periodicamente. Com o software de gerenciamento de manutenção, esta parte da implantação do método fica simplificada. É necessário, somente, listar as atividades, definir o período de manutenção e o grupo de trabalho responsável (técnico mecânico ou eletroeletrônico) e lançar no sistema para que seja gerenciado. Tão importante quanto esclarecer o que deve ser feito é possuir o registro do que foi feito (componentes reparados ou substituídos, data da substituição, etc.), este *feedback* é extremamente importante para o processo de melhoria contínua da MCC.

Tabela 5.2: Tarefas de manutenção da MSPA

item	F M #	Modo / Causa de Falha Potencial	Resultado da Árvore de Decisão	Tarefa(s)?	Frequência ?	Tarefa Proposta
C i r c u i t o d e r e f r i g e r a ç ã o	1	Obstrução circuito por sujeira ou mangueiras torcidas/dobradas	H1 - PREDITIVA	Combinação de tarefas	PdM - Quinzenal PM - Mensal	Análise termográfica para avaliar o sistema de refrigeração; Preventiva detectiva para verificação da integridade do sistema e limpeza dos filtros.
	2	Liner em condições inapropriadas.	H4 - PREVENTIVA DETECTIVA	Preventiva Detectiva (PM)	Mensal	Verificar integridade externa do liner e se a ponta que fica dentro do probngador encontra-se cortada a 45°
	3	Vazamento por mangueira furada ou conexões danificadas.	H4 - PREVENTIVA DETECTIVA	Preventiva Detectiva (PM)	Mensal	Buscar vazamentos nas mangueiras e conexões
	4	Prolongador danificado.	H4 - PREVENTIVA DETECTIVA	Preventiva Detectiva (PM)	Mensal	Buscar trincas e vazamentos nos prolongadores
	5	Travamento da eletroválvula da weldsaver devido à sujeira.	H2 - CORRETIVA PROGRAMADA	Corretiva Programada (CM)	Semestral	Realizar limpeza periódica do filtro e válvula do abastecimento de água externo
	6	Falha na solenóide da weldsaver por queima da bobina.	H5 - Manutenção não programada (Emergencial)	Emergencial (EM) Run-to-Failure.		Em caso de falha, trocar weldsaver completa e realizar concerto fora da linha. Trocar bobina.
	7	Bobina da solenóide da weldsaver desconectada.	H2 - CORRETIVA PROGRAMADA	Corretiva Programada (CM)	Anual	Realizar aperto do parafuso do conector
	8	Conexões hidráulicas do weldsaver estranguladas, furadas ou rompidas.	H4 - PREVENTIVA DETECTIVA	Preventiva Detectiva (PM)	Trimestral	Avaliar condições das mangueiras.
	9	Conexões pneumáticas da weldsaver danificadas.	H4 - PREVENTIVA DETECTIVA	Preventiva Detectiva (PM)	Trimestral	Avaliar condições das conexões pneumáticas
	10	Rotor da weldsaver trancado por sujeira.	H4 - PREVENTIVA DETECTIVA	Preventiva Detectiva (PM)	Semestral	Realizar limpeza periódica do filtro e válvula do abastecimento de água externo
	11	Controlador da weldsaver queimado por final de vida útil.	H5 - Manutenção não programada (Emergencial)	Emergencial (EM) Run-to-Failure.		Garantir estoque no almoxarifado. Trocar weldsaver completa e configurada.
	12	Controlador da weldsaver queimado por infiltração de água.	H5 - Manutenção não programada (Emergencial)	Emergencial (EM) Run-to-Failure.		Garantir estoque no almoxarifado. Trocar weldsaver completa e configurada.
	13	Cabo da weldsaver desconectado ou rompido.	H4 - PREVENTIVA DETECTIVA	Preventiva Detectiva (PM)	Anual	Reaperto do cabo ethernet e verificação da condição do cabo
	14	Baixa vazão de alimentação no abastecimento do sistema de resfriamento.	H5 - Manutenção não programada (Emergencial)	Emergencial (EM) Run-to-Failure.		
	15	Cabo de conexão de rede ethernet da weldsaver desconectado ou rompido.	H4 - PREVENTIVA DETECTIVA	Preventiva Detectiva (PM)	Anual	Reaperto do cabo ethernet e verificação da condição do cabo
S t i r e s a t n p e s o m m t a i ê s n d s c r e ã i o a	16	Shunt fadigado resultando uma baixa condutividade.	O1 - Faça tarefa baseada na condição (PREDITIVA)	Combinação de tarefas	Mensal	Verificar periodicamente as condições do Shunt Desenvolver monitoramento da tendência do C-Factor(facilidade de transmissão de corrente na hora da aplicação do ponto)
	17	Falta de aperto nos parafusos de fixação do shunt.	H2 - CORRETIVA PROGRAMADA	Corretiva Programada (CM)	Semestral	Realizar reaperto dos parafusos com torque especificado
	18	Mau contato nos condutores corpo da pinça (conjunto mecânico) resultando baixa condutividade.	O2 - CORRETIVA PROGRAMADA	Corretiva Programada (CM)	Mensal	Reaperto do conjunto com torque especificado
	19	Queima do transformador por defeito na ponte retificadora.	O3 - manutenção nao programada (Emergencial) /	Emergencial (EM) Run-to-Failure.		Desenvolver monitoramento da tendência do C-Factor(facilidade de transmissão de corrente na hora da aplicação do ponto)
S m M i o S v P t i A e m e n t d e ç ã o d a	20	Mau contato, curto circuito ou rompimento nos cabos de alimentação de potência de	H4 - PREVENTIVA DETECTIVA	Preventiva Detectiva (PM)	Semestral	Revisão da condição dos cabos de alimentação
	21	Infiltração de água no servogun.	H4 - PREVENTIVA DETECTIVA	Preventiva Detectiva (PM)	Mensal	Buscar vazamentos de água no sistema de refrigeração
	22	Travamento da servogun por restrição mecânica interna.	H5 - Manutenção não programada (Emergencial)	Emergencial (EM) Run-to-Failure.		Garantir estoque no almoxarifado
	23	Mau funcionamento das guias lineares da pinça de solda por desgaste por fadiga mecânica.	H4 - PREVENTIVA DETECTIVA	Preventiva Detectiva (PM)	Mensal	Verificar folga do conjunto guia linear e patins
	24	Patins da pinça de solda com desgaste por fadiga mecânica.	H4 - PREVENTIVA DETECTIVA	Preventiva Detectiva (PM)	Mensal	Verificar folga do conjunto guia linear e patins
	25	Articulação da pinça com folga por desgaste por fadiga mecânica.	H4 - PREVENTIVA DETECTIVA	Preventiva Detectiva (PM)	Mensal	Verificar folga na articulação por desgaste ou falta de lubrificação
	26	Mau contato, curto circuito ou rompimento nos cabos de alimentação potencia do encoder.	H4 - PREVENTIVA DETECTIVA	Preventiva Detectiva (PM)	Semestral	Revisão da condição dos cabos de alimentação
	27	Mau contato, curto circuito ou rompimento nos cabos de alimentação potência da servogun.	H4 - PREVENTIVA DETECTIVA	Preventiva Detectiva (PM)	Semestral	Revisão da condição dos cabos de alimentação

5.8. Estabelecimento de metas e indicadores

Metas e indicadores constituem a base para o gerenciamento do programa de MCC. Inicialmente, devem ser definidos os indicadores pertinentes, usualmente envolvendo métricas de tempo de parada, disponibilidade de equipamentos e qualidade do processo. Uma vez

definidos os indicadores pertinentes, o próximo passo é o levantamento da situação atual. Feito isso, é possível estabelecer metas coerentes. Metas corretamente estabelecidas mobilizam e motivam as equipes de trabalho no sentido de alcançar o patamar definido. Metas pouco desafiadoras não irão motivar as equipes, enquanto metas impossíveis irão frustrar as equipes.

As metas estipuladas no desenvolvimento do trabalho são o aumento do desempenho produtivo do sistema, medido pelo SAT (*Standalone Throughput*), bem como, um melhor direcionamento de recursos de manutenção (mão de obra e materiais), reduzindo assim os custos totais de manutenção. Para alcançar uma redução significativa de custos de manutenção é necessário encontrar o tempo ótimo de intervenção nos equipamentos (Figura 5.1), que nada mais é do que a intersecção da curva de custos provenientes da manutenção preventiva com a curva de custos decorrentes das falhas geradas.

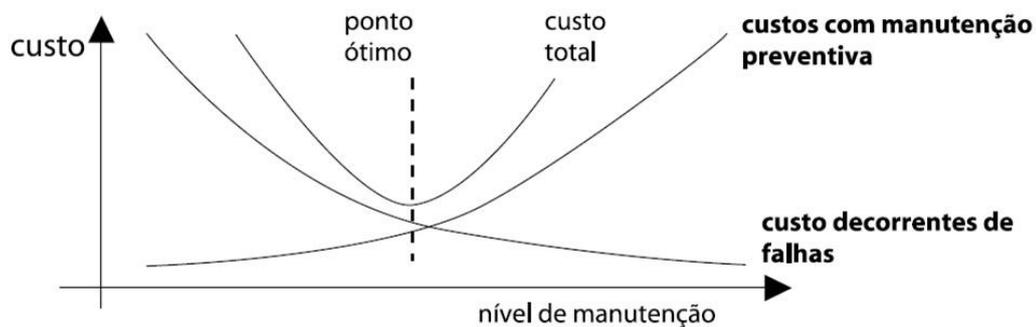


Figura 5.1: Ponto ótimo de manutenção preventiva. (Fonte: Mirashawa & Olmedo, 1993)

5.9. Revisão do programa de MCC

O programa de MCC, como os demais processos fabris, evolui com o tempo. A condição dos equipamentos, o conhecimento a respeito do processo, os recursos da manutenção se alteram com o passar do tempo. Em função disso, os procedimentos de manutenção, incluindo a natureza e periodicidade das atividades, devem ser revistos regularmente. Algumas mudanças efetuadas na operação podem melhorar a condição dos equipamentos, permitindo ampliar a periodicidade das visitas. Por outro lado, podem ser descobertos modos de falhas anteriormente desconhecidos, conduzindo ao estabelecimento de novas atividades preventivas. Estes, entre outros fatores, fazem necessário um processo de melhoria contínua no programa, buscando sempre o tempo ideal de intervenções, que conseqüentemente reduzem os custos de manutenção e aumentam a produtividade do processo.

5.10. Utilizando a análise de Weibull na MCC

Nesta etapa deseja-se implementar a análise de Weibull de forma concreta no processo da MCC. Esta análise pode ser realizada durante a etapa seis (seção 5.6), ao verificar o Diagrama de Decisão, desde que se tenham informações históricas de quebra ou troca suficientemente confiáveis para um dado modo de falha.

Para realizar esta análise buscou-se, entre os modos de falha identificados na FMEA, aquele que fosse mais crítico em termos de impacto na produção e que tivesse um razoável histórico de ocorrências. Optou-se, então, por avaliar o modo de falha FM#1 (*Obstrução do circuito de refrigeração por sujeira ou mangueiras torcidas/dobradas*). Como a equipe de manutenção, ao lançar o evento de falha no software de gerenciamento de manutenção, descreve a falha apenas como “baixa vazão”, fica difícil a diferenciação de eventos de entupimento de mangueira por sujeira ou eventos que possuem mangueiras torcidas ou dobradas. Reunindo informações de falhas para o período de 01/01/2016 à 31/11/2017, chegou-se à tabela 5.3 que é a base de dados de entrada para análise:

Tabela 5.3: Dados de entrada para análise de Weibull do modo de falha FM#1 (*Obstrução do circuito de refrigeração por sujeira ou mangueiras torcidas/dobradas*)

Sistema	Máquina de solda à ponto automática		
Sub-sistema	Sistema de refrigeração da máquina de solda à ponto automática		
Modo de falha	Baixo fluxo de água por obstrução do sistema de refrigeração por sujeira no sistema ou mangueiras danificadas		
Data	Intervalo entre paradas (dias)	Data	Intervalo entre paradas (dias)
05/01/2016	-	30/01/2017	69
23/01/2016	18	23/02/2017	24
28/03/2016	60	02/03/2017	7
09/05/2016	42	19/05/2017	88
02/06/2016	24	03/07/2017	45
26/08/2016	85	06/09/2017	65
17/10/2016	52	07/11/2017	62
22/11/2016	36	21/11/2017	14

Para auxiliar nos cálculos, utilizou-se o software Proconf 2000 (ChTech Ltda) a partir dos dados da tabela 5.3, de acordo com terminologias e formulário descritas na Tabela A.1 em anexo. A seguir os gráficos obtidos e os parâmetros pertinentes:

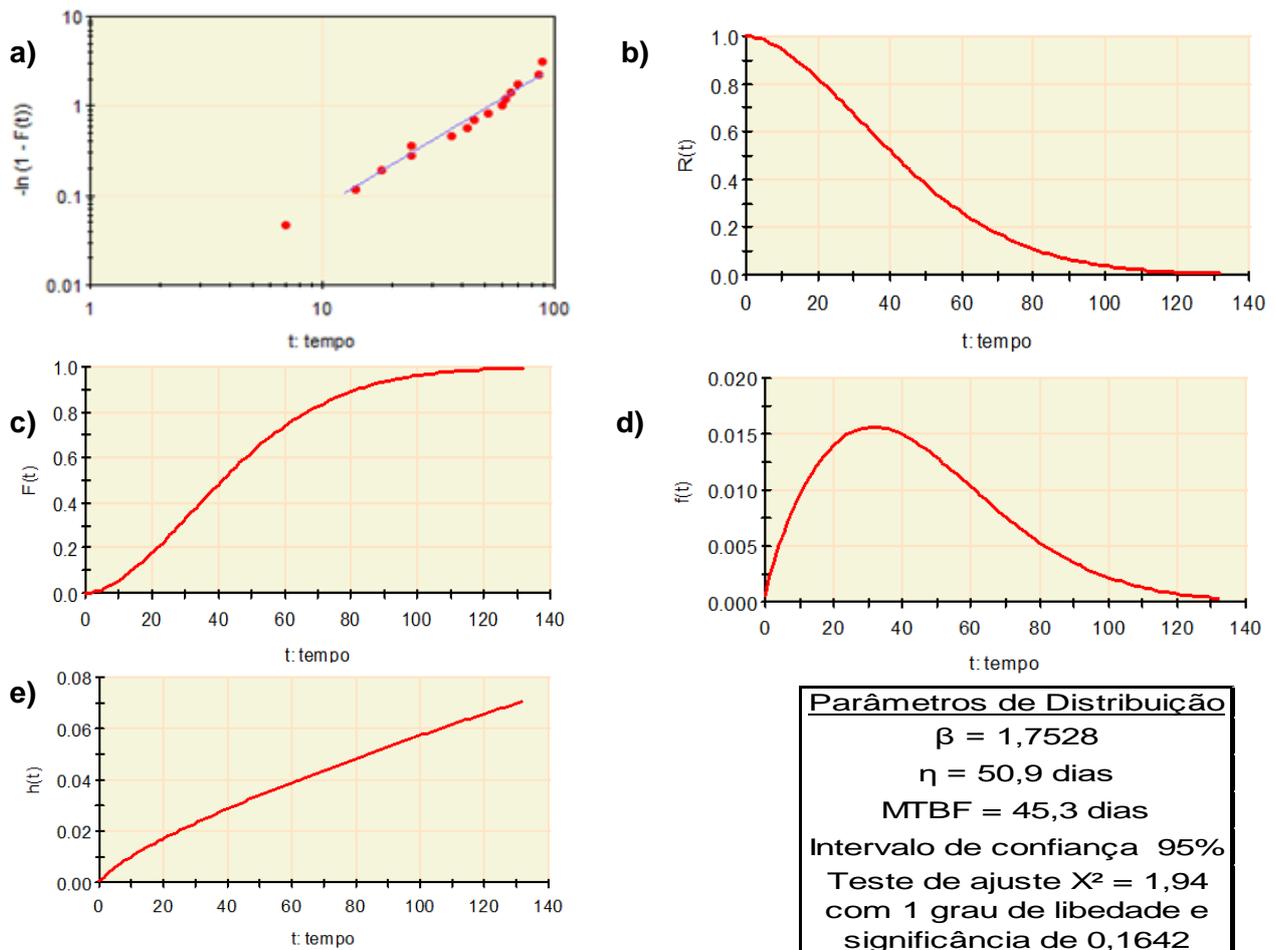


Figura 5.2: a) Papel de probabilidade de Weibull b) Confiabilidade $R(t)$ c) Probabilidade acumulada de falhas $F(t)$ d) Densidade de probabilidade $f(t)$ e) Taxa de falhas $\lambda(t)$ para o FM#1

6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Como citado inicialmente, o presente trabalho aplica o método “Manutenção Centrada na Confiabilidade” nos equipamentos que fazem parte do sistema de solda à ponto em uma empresa do ramo automobilístico. O foco principal foi a máquina de solda à ponto automática, que ao final do estudo recebeu um novo plano de manutenção que busca proteger o equipamento para que seus principais modos de falha não aconteçam.

Tabela 6.1: Plano de manutenção – Máquina de solda à ponto Automática

ID da tarefa	PLANO DE MANUTENÇÃO - MÁQUINA SOLDA À PONTO AUTOMÁTICA	Período
1	REALIZAR LIMPEZA DO EQUIPAMENTO, RETIRAR CAREPAS, POEIRA E EXCESSO DE GRAXA	MENSAL
2	SISTEMA DE REFRIGERAÇÃO	
2.1	Fazer análise termográfica do sistema de refrigeração. Buscar pontos com obstrução do fluxo de água	SEMANAL
2.2	Inspeccionar a vazão de água medida no abastecimento da weldsaver (deve ser >2L/MIN).	SEMANAL
2.3	Verificar a integridade dos cabos e conexões da weldsaver.	MENSAL
2.4	Verificar integridade de mangueiras, liner e conexões. Eliminar possíveis vazamentos de água.	MENSAL
2.5	Verificar ângulo da ponta do liner. Deve estar com 45°, conferir e ajustar, caso necessário.	MENSAL
2.6	Realizar reaperto dos cabos e conexões da weldsaver.	ANUAL
3	SISTEMA DE TRANSMISSÃO DE POTÊNCIA	
3.1	Verificar quantidade de folhas do shunt, caso esteja abaixo de 70% do original deve ser substituído	MENSAL
3.2	Verificar desgaste das castanhas, cones e corpo do prolongador	MENSAL
3.3	Alinhamento dos prolongadores	MENSAL
3.4	Reaperto dos parafusos do shunt (conforme torque especificado na tabela de aperto)	SEMESTRAL
3.5	Reaperto dos parafusos do barramento (conforme torque especificado na tabela de aperto)	SEMESTRAL
3.6	Reaperto dos parafusos da castanha dos prolongadores (conforme torque especificado na tabela de aperto)	SEMESTRAL
4	SISTEMA DE MOVIMENTAÇÃO	
4.1	Verificar folgas na fixação do servomotor	MENSAL
4.2	Revisar articulação da pinça, folga nas buchas, estado do pino, folga na guia linear, lubrificação e proteção	MENSAL
4.3	Verificar presença de trincas no corpo de alumínio	SEMESTRAL
4.4	Revisão da condição dos cabos de alimentação do encoder e servomotor	SEMESTRAL

O modo de falha mais encontrado na MSPA foi o FM#1 (*Obstrução do circuito de refrigeração por sujeira ou mangueiras torcidas/dobradas*) e para este modo de falha foi realizada a análise de Weibull com resultados conforme Tabela 5.3 e Figura 5.2.

Percebe-se que a taxa de falhas $\lambda(t)$ se comporta de maneira linearmente crescente, com fator de forma $\beta = 1,75$ e semelhante ao padrão de falha C da Figura 4.2. Para este padrão de falha, indica-se e é eficiente uma intervenção periódica no equipamento.

A Tarefa 2.1 do novo plano de trabalho (Tabela 6.1) indica uma manutenção preditiva semanal com termografia para encontrar algum ponto de obstrução no sistema de refrigeração. Esta tarefa, se aplicada corretamente, deve eliminar o modo de falha FM#1, visto que, as falhas no equipamento, para este modo, acontecem normalmente em períodos acima do prazo estipulado para a atuação da tarefa.

Também era objetivo do trabalho, realizar uma análise sobre as fronteiras entre os equipamentos do sistema de solda. Ao realizar esta análise, percebeu-se algumas interferências e impactos causados por um equipamento no funcionamento dos demais.

A MSPA, por exemplo, ao realizar a troca de eletrodos no Trocador de eletrodos automático, libera gotas de água do seu sistema de refrigeração na parte interna do trocador. Isto faz com que iniciem-se pontos de oxidação interna no trocador, que pode vir à falhar pela degradação de seus componentes internos. Para resolver este problema, foi indicado um re-projeto no sistema de refrigeração da MSPA, com a condição de que seja gerado um sistema de vácuo interno que impede a água de sair no momento da troca dos eletrodos.

Ao avaliar fronteiras, também foi verificado que o funcionamento do Fresador Automático influencia diretamente na vida útil da MSPA, e vice-versa. Por exemplo, se a lâmina do fresador estiver em más condições, o robô precisa aplicar mais pressão na hora de realizar o corte do eletrodo, isso faz com que a MSPA e o fresador tenham suas vidas úteis reduzidas. Como

solução, desenvolveu-se um sistema de monitoramento do corte do eletrodo por ciclo de fresagem. Este monitoramento mostra o quanto foi retirado de material em cada ciclo, que possui pressão e tempo de corte constante. Foram definidos limites de cortes aceitáveis para uma lâmina de fresa em boas condições e, a partir deste monitoramento, é possível indicar o momento exato de realizar a troca da lâmina.

Esta ferramenta é um ótimo exemplo de manutenção preditiva, baseada na condição da lâmina da fresa, e também serve como monitoramento para identificar a presença de alguma sujeira que impede o corte correto do eletrodo. Um exemplo claro dos ganhos deste monitoramento são os dados da Figura 6.1, que mostra uma tendência de corte que vinha comportando-se normalmente até que os eletrodos ficassem sujos de cola, impedindo o desbaste por parte da lâmina da fresa.



Figura 6.1 – Monitoramento do corte dos eletrodos por ciclo de fresagem

7. CONCLUSÕES

Concluída a aplicação da MCC como piloto no sistema *Framming Outer* da empresa, fica claro que o método permite a formação de um consistente banco de dados de identificação e avaliação dos modos de falha dos equipamentos, contribuindo de forma significativa para um maior conhecimento técnico das instalações por parte da equipe envolvida com o projeto.

Como resultado prático obteve-se, através da Árvore Lógica de Decisão e do Diagrama de Seleção de Tarefas, um novo e estruturado plano de manutenção para a MSPA. As atividades do plano estão focadas em preservar as funções principais dos componentes do sistema.

Em relação ao plano antigo de manutenção da MSPA (Figura A.6 em anexo), o novo plano está muito melhor detalhado, com dados técnicos para as atividades. Isso diminui a margem de erro pela má execução do mantenedor. Também é importante notar a diferença na periodicidade das atividades e a introdução de tarefas preditivas no novo plano. A introdução de uma tarefa preditiva semanal de termografia, que possui curto período de execução mas é altamente eficiente para encontrar princípios de obstruções no sistema de refrigeração e proteger sua função principal, é um dos pontos a ser destacado no novo plano. Outro ponto a levantar, é as diferenças nas tarefas de aperto dos parafusos (*Tarefas 3.4, 3.5 e 3.6 da Tabela 6,1*). No plano antigo elas eram efetuadas mensalmente e indicavam apenas “apertar os parafusos”, o que levava ao cisalhamento dos parafusos por excesso de aperto. No novo plano, as tarefas são

realizadas em períodos mais espaçados e o aperto deve seguir a tabela de torque por classe do material dos parafusos e sua bitola.

Quanto à utilização da Análise de Weibull na MCC, obteve-se um resultado satisfatório para o direcionamento das atividades de manutenção. Ao analisar o modo de falha FM#1 (*Obstrução do circuito de refrigeração por sujeira ou mangueiras torcidas/dobradas*), pode-se identificar que a taxa de falhas se comporta de maneira praticamente linearmente crescentes e o MTBF é de aproximadamente 45 dias. Para taxas de falha linearmente crescente, indica-se intervenções periódicas e para isso foi criada a inspeção termográfica semanal, conforme Tarefa 2.1 da Tabela 6.1.

De maneira geral, todo o processo de implementação da MCC no sistema *Framming Outer* foi benéfico. Os novos planos de manutenção são muito mais estruturados, direcionou-se melhor os recursos de manutenção e aumentou-se muito o conhecimento sobre os equipamentos, por parte da equipe de MCC. Isso levou a empresa à decisão de expandir os estudos para outros sistemas da planta e trabalhar mais a fundo a análise de Weibull para definir os períodos e atividades de manutenção indicadas para os modos de falha levantados.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BRANCO, G.F.; **“A Distribuição de Weibull e sua Aplicação na Manutenção”**, 1996.
- CUNHA, J. T.; **“Projeto Piloto de Implantação da Manutenção Centra em Confiabilidade em uma Usina Siderúrgica”**, 2005.
- FOGLIATTO, F. S.; RIBEIRO, J. L.; **“Confiabilidade e Manutenção Industrial”**, Elsevier, 2ª reimpressão, 2009.
- LAFRAIA, J. R. B.; **“Manual de Confiabilidade, Mantenabilidade e Disponibilidade”**, 1ª ed., Qualitymark: Petrobrás, 2001.
- MIRSHAWKA, V.; OLMEDO, N. L.; **“Manutenção – combate aos custos da não-eficácia – a vez do Brasil”**. MAKRON Books: McGraw-Hill, 1993.
- MOUBRAY, J.; **“Manutenção Centrada em Confiabilidade – RCM”**, 1ª (edição brasileira), Aladon Ltda., 2000.
- NOWLAN F. S.; HEAP H. F.; **“Reliability-Centered Maintenance”**, Report Number AD-A066579, United States Department of Defense, 1978.
- RAUSAND, M.; VATN, J.; **“Reliability Centered Maintenance”**. In C. G. Soares editor, **Risk and Reliability in Marine Technology**, Balkema, Holland, 1998.
- SIQUEIRA, I. P.; **“Manutenção centrada na Confiabilidade – Manual de Implementação”**, Qualitymark, 2005.
- SMITH, A. M.; **“Reliability Centered Maintenance”**, McGraw-Hill, 1993.
- SOCIETY OF AUTOMOTIVE ENGINEERS. **“SAE JAE1011: Evaluation Criteria for Reliability-Centered Maintenance (RCM) Processes”**, Warrendale, 1999.
- ZAIONS, D. R.; **“Consolidação da Metodologia de Manutenção Centrada em Confiabilidade em uma Planta de Celulose e Papel”**, Dissertação de Mestrado Engenharia de Produção, UFRGS, 2003.

ANEXOS A

Tabela A.1 - Expressões da distribuição de Weibull e definições ligadas à confiabilidade. Fonte: Cunha, 2005

<i>Significado</i>	<i>Parâmetro</i>	<i>Expressão</i>
Densidade de probabilidade: porcentagem de falhas que ocorrem por unidade de tempo no intervalo de tempo considerado (intervalo de classe)	$f(t)$	$\frac{b}{h^b} (t - t_0)^{b-1} \exp\left[-\left(\frac{t - t_0}{h}\right)^b\right]$ para $t \geq 0$ 0 para $t < 0$
Probabilidade acumulada de falhas: probabilidade do componente não estar trabalhando em condições aceitáveis depois de transcorrido um tempo t desde a última falha	$F(t)$	$1 - \exp\left[-\left(\frac{t - t_0}{h}\right)^b\right]$
Confiabilidade: probabilidade do componente ainda estar trabalhando em condições aceitáveis depois de transcorrido um tempo t desde a última falha	$R(t)$	$\exp\left[-\left(\frac{t - t_0}{h}\right)^b\right]$
Taxa de falhas: probabilidade de ocorrência de falha por unidade de tempo, no intervalo de tempo em questão, considerando que o equipamento ainda esteja operando na data de início do intervalo de classe.	$\lambda(t)$	$\frac{b}{h} \left[-\left(\frac{t - t_0}{h}\right)^{b-1}\right]$
Tempo para a falha		t
TMEF (MTBF): tempo médio entre falhas de componentes reparáveis. TPF é tempo entre a última posta em marcha e a ocorrência da falha	$TMEF$	$\frac{\sum_{i=1}^N TPF_i}{N}$
TMPR (MTTR): tempo médio para reparo do componente. TPR é a duração do reparo.	$TMPR$	$\frac{\sum_{i=1}^N TPR_i}{N}$
Disponibilidade: percentual de tempo em que o sistema encontra-se operante, para componentes que operam continuamente.	D	$\frac{TMEF}{TMEF + TMPR}$

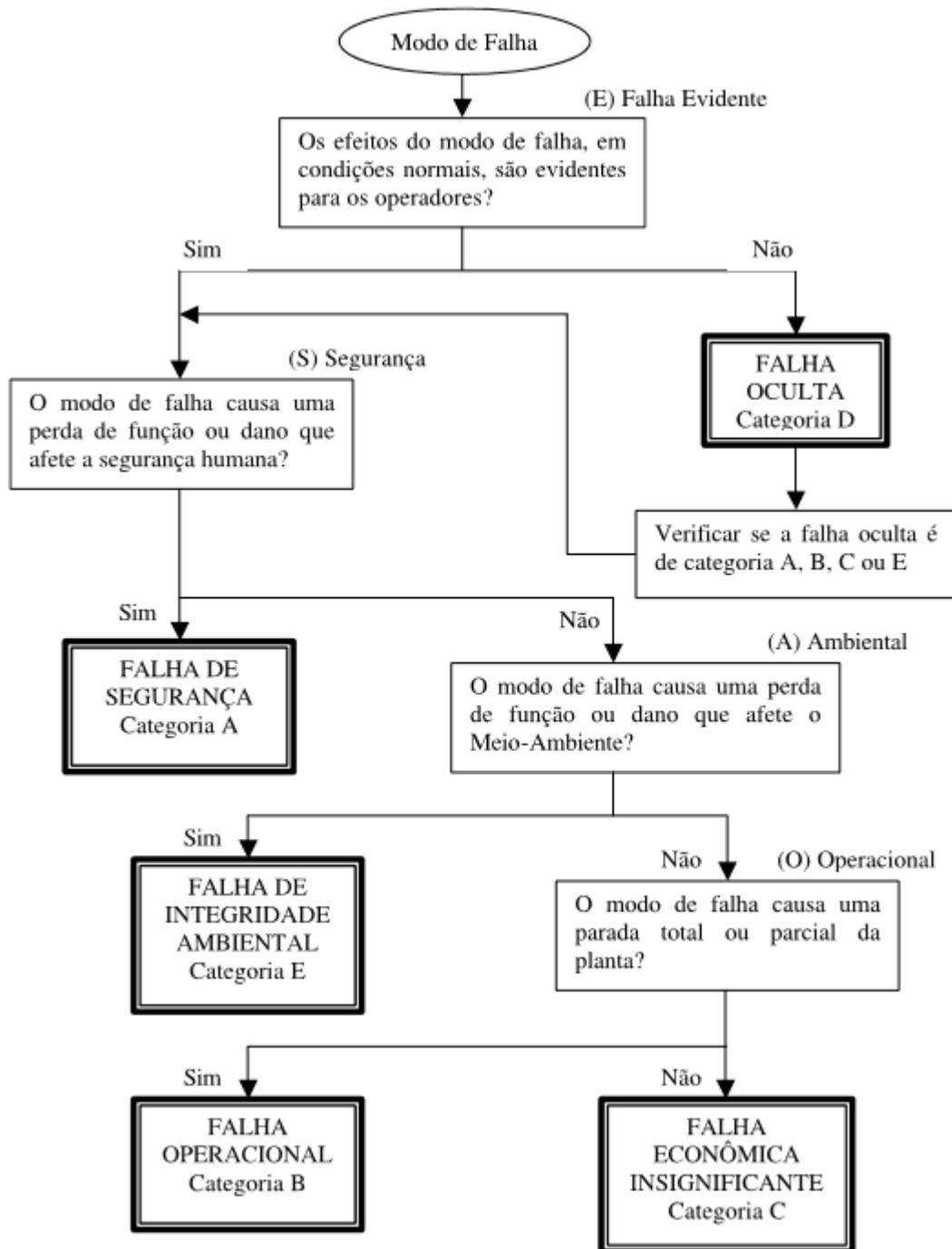


Figura A.1 – Diagrama de decisão para seleção de tarefas de manutenção (adaptado de Zaions, 2003)

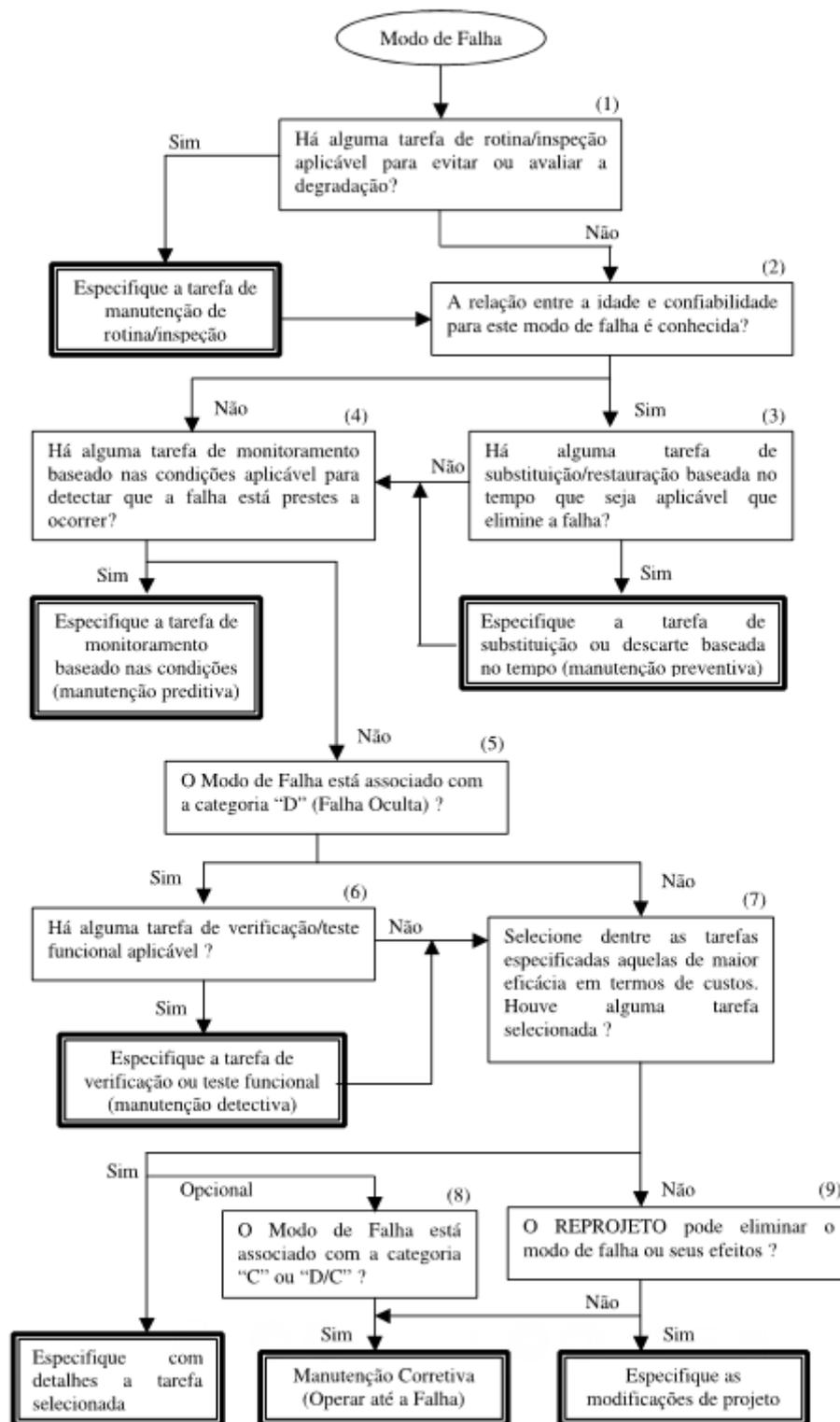


Figura A.2 – Diagrama de decisão para seleção de tarefas de manutenção (adaptado de Zaions, 2003)

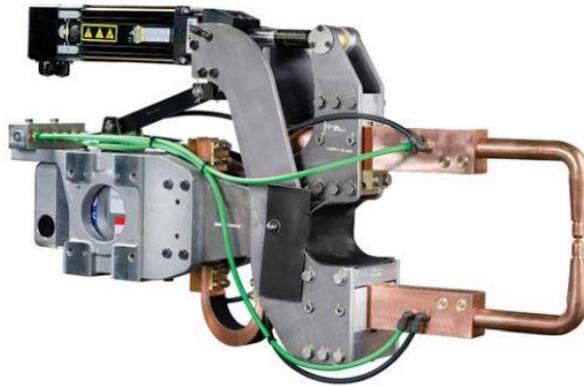


Figura A.3 – Máquina de solda à ponto automática. Fonte: <http://www.cntrline.com/>. Acessado em 07/12/2017.



Figura A.4 – Trocador de eletrodos automático. Fonte: <http://www.kyokutoh.de/>. Acessado em 07/12/2017.



Figura A.5 – Fresadora de eletrodos automática. Fonte: <http://www.kyokutoh.de/>. Acessado em 07/12/2017.

ID da tarefa	PLANO DE MANUTENÇÃO - MÁQUINA SOLDA À PONTO AUTOMÁTICA	Período
10	RETIRAR CAREPAS E EXCESSO DE GRAXA E POEIRA	MENSAL
20	VERIFICAR FOLGA DO GUIA LINEAR DA PINÇA	MENSAL
30	APERTAR PARAFUSOS DO SHUNT E BARRAMENTO VERIFICANDO QUANTIDADE DE FOLHAS	MENSAL
40	REAPERTAR SHUNT, BARRAMENTO E CASTANHA DOS PROLONGADORES	MENSAL
50	REVISAR DESGASTE E ALINHAMENTO DOS PROLONGADORES	MENSAL
60	VERIFICAR DESGASTE NOS CONES E ALINHAMENTO	MENSAL
70	REVISAR REFRIGERAÇÃO	MENSAL
80	VERIFICAR MANGUEIRAS E CONEXÕES, ELIMINAR POSSÍVEIS VAZAMENTOS DE ÁGUA	MENSAL
90	VERIFICAR A PONTA DO LINER	MENSAL
100	EXECUTAR INSPEÇÃO VISUAL NO CONJUNTO PARA DETECTAR POSSÍVEIS PONTOS DE AQUECIMENTO, SE NECESSÁRIO ELIMINAR	MENSAL
110	VERIFICAR FIXAÇÃO DO SERVO GUN NA PINÇA	MENSAL
120	REVISAR ARTICULAÇÃO DA PINÇA	MENSAL
130	EXECUTAR REAPERTO GERAL NO EQUIPAMENTO	MENSAL

Figura A.6 – Plano de manutenção antigo da Máquina de Solda à Ponto Automática

APÊNCIDE A - Descrição do processo de fabricação de automóveis

Existe uma variação no processo de fabricação de automóveis entre empresas diferentes, principalmente pelo nível de automatização das plantas e pelo volume de produção exigido. A empresa avaliada é conhecida por ser uma das plantas automotivas com maior volume de produção no mundo, e para que isso seja possível, conta com uma linha de montagem altamente automatizada e tecnológica. O processo de produção na empresa passa pelas seguintes etapas:

- **Estamparia (Press Shop):** A estamparia é a primeira etapa da produção dos carros. Ela recebe os cilindros(rolos) de chapa de metal, com material especificado pela empresa, e através do processo de conformação mecânica, realizado por prensas, condiciona as chapas ao formato exigido para as peças que farão partes da carroceria dos automóveis.
- **Funilaria (Body Shop):** A funilaria, por sua vez, recebe as peças anteriormente conformadas na estamparia e realiza a união das mesmas, dando formato à carroceria dos automóveis. A funilaria possui dois 'produtos' principais, os pontos de solda e a aplicação adesivos entre chapas, ambos aplicados por robôs. Os pontos de solda são aplicados para realizar união entre chapas e tem função estrutural na carroceria. Já os adesivos possuem mais de uma função, existem adesivos estruturais, que são aplicados onde não é possível aplicar pontos de solda ou os pontos trariam um efeito visual não desejado ao automóvel, e também adesivos para evitar ruído, vibrações e infiltração nos automóveis. Ao final do processo de funilaria, a carroceria encontra-se pronta para receber a coloração final.
- **Pintura (Paint Shop):** A pintura recebe a carroceria advinda da funilaria e aplica todas as camadas de proteção química dos materiais bem como, as tintas que darão a coloração final dos automóveis. O processo químico da pintura é altamente complexo e controlado, e não entraremos em detalhe nesta oportunidade.
- **Montagem Geral (General Assembly):** O processo de montagem geral é a última fase da produção do automóvel. Nele, a carroceria que sai da pintura com sua coloração final, recebe toda a parte de suspensão, transmissão, motor e seus componentes, painel interno, faróis e lanternas e estofamento interno do veículo. Ao concluir a fase de montagem geral a unidade do veículo passa, apenas, pelo setor de qualidade e está pronto para chegar ao consumidor.