

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA - CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

ANÁLISE DA CONFIABILIDADE DA MANUTENÇÃO EM TRATORES DE UMA
EMPRESA DE PRODUÇÃO AGRÍCOLA

por

Marco Antônio Dall’Agnese

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, julho de 2020

Marco Antônio Dall’Agnese

ANÁLISE DA CONFIABILIDADE DA MANUTENÇÃO EM TRATORES DE UMA
EMPRESA DE PRODUÇÃO AGRÍCOLA

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
CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA

Prof. Mário Roland Sobczyk Sobrinho
Coordenador do Curso de Engenharia Mecânica

Área de Concentração: Mecânica dos Sólidos

Orientador: Juan Pablo Raggio Quintas

Comissão de Avaliação:

Prof. Edson Hikaro Aseka

Prof. Herbert Martins Gomes

Prof. Juan Pablo Raggio Quintas

Porto Alegre, julho de 2020

Dall’Agnese, M. A. **Análise da confiabilidade da manutenção em tratores de uma empresa de produção agrícola**. 2020. 25 páginas. Monografia de Trabalho de Conclusão do Curso em Engenharia Mecânica – Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2020.

RESUMO

A otimização da gestão da manutenção, no atual cenário econômico empresarial, é um fator de grande relevância, visto que a competitividade das corporações exige o mínimo de desperdício e falhas possíveis. Visando melhorias nos procedimentos do setor de manutenção de uma empresa de produção agrícola, o trabalho realizou um estudo no histórico de ocorrências de manutenção corretivas em tratores da empresa, equipamentos que possuem essencial função na cadeia de operações e valor de aquisição, operação e manutenção elevados. A partir da análise dos equipamentos, implementou-se, utilizando a metodologia de Manutenção Centrada em Confiabilidade (MCC), um novo plano de manutenção baseado em ocorrências de paradas não programadas do ativo com mais falhas da empresa. Para auxiliar a elaboração do novo plano de manutenção e documentar falhas recorrentes, realizou-se uma análise de modos e efeitos de falha (FMEA) do subconjunto mais crítico do equipamento, também, a partir da análise de Weibull, obteve-se a situação do equipamento com gráficos de confiabilidade e taxa de falha. Espera-se, após implementar um novo plano de manutenção e treinar as equipes de manutenção e operadores dos equipamentos, aumentar a disponibilidade e a confiabilidade dos equipamentos, assim, tornando o setor de manutenção da empresa mais rentável e eficaz.

PALAVRAS-CHAVE: Manutenção. Manutenção Centrada em Confiabilidade (MCC). Análise de Modos e Efeitos de Falhas (FMEA). Tratores.

Dall’Agnese, M. A. **Analysis of maintenance reliability in tractors of an agricultural production company.** 2020. 25 pages. Mechanical Engineering End of Course Monography – Mechanical Engineering degree, The Federal University of Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2020.

ABSTRACT

The optimization of maintenance management, in the current business economic scenario, is a factor of great relevance, since the competitiveness of corporations requires the least amount of waste and possible failures. Aiming at improving the procedures of the maintenance sector of an agricultural production company, the work carried out a study in the historic of corrective maintenance occurrences in the company's tractors, equipment that has an essential function in the operations and high acquisition, operation and maintenance value. Based on the analysis of the equipment, a new maintenance plan was implemented, using the Reliability Centered Maintenance (MCC) methodology, based on the occurrence of unscheduled stops of the asset with the most failures of the company. To assist in the elaboration of the new maintenance plan and to document recurring failures, a failure mode and effects analysis (FMEA) of the most critical subset of the equipment was carried out. Weibull analysis was also used to diagnose the situation of the equipment with graphs of reliability and failure rate. It is expected, after implementing a new maintenance plan and training the maintenance teams and equipment operators, to increase the availability and reliability of the equipment, thus making the company's maintenance sector more profitable and effective.

KEYWORDS: Maintenance. Reability Centered Maintenance (MCC). Failure Mode and Effect Analysis (FMEA). Tractors.

SUMÁRIO

| | |
|--|-----------|
| 1. INTRODUÇÃO | 1 |
| 2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA | 1 |
| 2.1. CONCEPÇÃO HISTÓRICA DA MANUTENÇÃO | 1 |
| 2.2. GESTÃO DA MANUTENÇÃO | 2 |
| 2.2.1. Tipos de Manutenção | 3 |
| 2.2.1.1. Manutenção Corretiva | 3 |
| 2.2.1.2. Manutenção Preventiva | 3 |
| 2.2.1.3. Manutenção Preditiva | 4 |
| 3. ENGENHARIA DA CONFIABILIDADE | 4 |
| 3.2. CONFIABILIDADE | 4 |
| 3.2.1. Distribuição de Weibull | 6 |
| 3.2.2. Manutenção Centrada em Confiabilidade (MCC) | 7 |
| 4. METODOLOGIA | 8 |
| 4.1. ESCOLHA DO EQUIPAMENTO | 8 |
| 4.2. ANÁLISE DE FALHAS | 9 |
| 4.2.1. Sistema Elétrico | 10 |
| 4.2.2. Análise de Modos e Efeitos de Falhas (FMAE) | 10 |
| 4.3. IDENTIFICAÇÃO DAS CONSEQUÊNCIAS DAS FALHAS | 12 |
| 4.3. ANÁLISE DE WEIBULL..... | 12 |
| 5. RESULTADOS | 14 |
| 6. CONCLUSÕES | 15 |
| REFERÊNCIAS | 16 |
| ANEXO I – SISTEMA ELÉTRICO TRATOR. MANUAL DE MANUTENÇÃO TRATORES JOHN DEERE | 17 |
| ANEXO II – DIAGRAMA DE DECISÕES PARA CONSEQUÊNCIAS DE MODO DE FALHA | 17 |
| ANEXO III – GRÁFICOS DE CONFIABILIDADE VERSUS TEMPO | 18 |
| ANEXO IV – DIAGRAMA DE DECISÕES DO FATOR DE FORMA DE WEIBULL | 18 |
| APÊNDICE I – CRONOGRAMA DE MANUTENÇÃO PREVENTIVAS E PREDITIVAS | 19 |
| APÊNDICE II – CHECK LIST DIÁRIO | 20 |

1. INTRODUÇÃO

A melhoria constante da gestão da manutenção, paralelamente à criação de novos métodos de controle de indicadores dos equipamentos de uma empresa, gera diversos modos de ganhos. Benefícios que se fazem necessários no atual cenário econômico empresarial, visto a notável competitividade entre as corporações.

O conceito de manutenção pode ser descrito de várias formas. Para Xenos (1998), a manutenção possui duas instâncias: a primeira, conforme a norma reguladora NBR 5462 - Confiabilidade e Manutenibilidade (ABNT, 1994, p. 6), define manutenção como “combinação de ações técnicas e administrativas, incluindo a de supervisão, destinadas a manter ou recolocar um item em um estado no qual possa desempenhar uma função requerida”; a segunda é a definição presente no Dicionário Aurélio (2002, p. 1278): “as medidas necessárias para a conservação ou a permanência de alguma coisa ou de uma situação ou ainda como os cuidados técnicos indispensáveis ao funcionamento regular e permanente de motores e máquinas”.

As técnicas de manutenção e gestão da manutenção vêm evoluindo gradativamente desde o início do século XX, quando a necessidade de possuir equipamentos disponíveis para as guerras e a implementação da produção em série fizeram indústrias mudarem os objetivos da manutenção, que passou de apenas ser executada como correção de falhas para a execução com planejamento e controle, a fim de evitar falhas.

Após a década de 50, com a evolução na aviação comercial e na indústria eletrônica, o foco da manutenção se voltou para evitar falhas prematuras, como também para o aumento da disponibilidade e confiabilidade dos equipamentos, tornando maior a qualidade final dos produtos. Para Viana (2002), a utilização de menos equipamentos, porém mais sofisticados e de alta produtividade cria uma exigência por disponibilidade cada vez maior; assim, os custos da inatividade e paradas não-programadas se tornaram altos. Por esses motivos, as técnicas de organização, planejamento e controle nas empresas evoluíram.

Novos métodos de manutenção, como Manutenção Centrada em Confiabilidade (MCC), Manutenção Produtiva Total (MTP) e Planejamento e Controle da Manutenção (PCM) podem ser aplicados para uma grande diversidade de produtos e equipamentos, visando melhorar sua disponibilidade e confiabilidade.

Neste trabalho, aplicar-se-á o estudo da confiabilidade em tratores de uma empresa de produção agrícola. Tais equipamentos estão presentes na maioria das atividades da empresa e suas falhas refletem diretamente na eficiência final da produção. Por esse motivo, um plano de manutenção otimizado, no qual as falhas e paradas operacionais sejam diminuídas, é de extrema importância para a competitividade da companhia no cenário agrícola atual. Objetivando, a partir da implementação de novos métodos manutenção na empresa, implementar uma estratégia de manutenção mais efetiva e proativa para uma frota de tratores pertencentes a uma empresa de produção agrícola. Serão analisados os históricos de manutenção dos ativos com maiores ocorrências de paradas não programadas e, a partir deles, será implementado um plano de manutenção para a frota de tratores, a fim de diminuir a quantidade de falhas e, conseqüentemente, aumentar a vida útil do trator e sua disponibilidade, bem como diminuir custos e desperdícios da empresa.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1. CONCEPÇÃO HISTÓRICA DA MANUTENÇÃO

Antes da revolução industrial, segundo Branco Filho (2008), a produção de bens era estritamente feita por artesões, os quais tinham características parecidas; e a produção era realizada por encomenda, em pequena escala e de modo artesanal. A atividade era feita sob a

análise dos futuros proprietários, que, no caso de algum problema, sabiam consertar a sua própria máquina.

Conforme Viana (2002), com o advento da Revolução Industrial e o entendimento da sociedade sobre a sua capacidade de produzir bens de consumo, compreendeu-se que o impacto do planejamento e controle da manutenção para a saúde da empresa é primordial. Metaforizando com a saúde de um atleta: é impossível competir com chance de vitórias caso seu organismo esteja debilitado.

Com o entendimento da importância da manutenção, sua evolução foi crescendo gradativamente. Os benefícios da atividade vão desde a relação entre nível de manutenção da indústria e a qualidade do produto produzido, até a ligação entre a manutenção com a segurança do operador e do meio ambiente (MOUBRAY, 1992).

Hoje, os autores Kardec e Nascif (2009) elucidam a história da manutenção, dividindo-a em cinco gerações. A primeira, entre os anos 40 e 50, trazia como função da manutenção o conserto do equipamento após a falha. Após, na segunda geração, anos 60 e 70, a meta da manutenção já era aumentar a disponibilidade e a vida útil dos equipamentos. Na terceira geração, anos 80 e 90, os objetivos da manutenção foram ampliados, buscando-se maior disponibilidade e confiabilidade, melhor custo-benefício, melhor qualidade dos produtos e, paralelamente aos cuidados industriais, tem-se a preocupação com a preservação do meio ambiente. A quarta geração, entre 2000 e 2010, adiciona às funções da manutenção o gerenciamento de ativos e a segurança. Por fim, a quinta geração, a partir de 2010, aborda a influência da manutenção nos resultados e negócios de uma companhia.

A manutenção se tornou indispensável para empresas de todos os setores, podendo abranger várias atividades e meios de produção.

2.2. GESTÃO DA MANUTENÇÃO

A gestão de ativos, bens que uma empresa possui, e de suas manutenções adquire, progressivamente, maior relevância em questões estratégicas no ambiente interno às organizações. Para conseguir alcançar os seus objetivos, a equipe de manutenção terá de possuir uma organização interna, na qual a gestão e o monitoramento dos ativos estejam bem definidos, junto com a disponibilização de recursos humanos e materiais necessários para as realizações de suas atividades por parte da companhia.

Junto com as altas exigências com que as companhias se deparam, em consequência da competitividade dos mercados e do alto foco nas questões ambientais, nas últimas décadas, surgiram diversas estratégias e modelos de gestão para os setores de manutenção. Os novos formatos de gestão são sintetizados por Theiss (2004, p. 18) como:

um sistema de controle de manutenção permitirá, entre outras coisas, identificar claramente que serviços serão feitos; quando serão feitos; quais recursos serão necessários para a execução; quanto tempo será gasto; qual será o custo de cada serviço por unidade e custo global; que materiais serão aplicados e quais máquinas e ferramentas serão necessários para a execução; quanto tempo será gasto; qual será o custo de cada serviço por unidade e custo global.

Entre os principais métodos e ferramentas utilizadas para gestão, estão a Manutenção Produtiva Total (MTP) e Manutenção Centrada em Confiabilidade (MCC), modelos que têm sido aplicados com êxito na indústria, mundialmente, no decorrer das últimas três décadas (CABRITA; SILVA, 2002).

2.2.1. Tipos de Manutenção

As formas da manutenção são classificadas em função do seu planejamento e objetivo de cada intervenção. A escolha da manutenção relaciona-se à sua programação, podendo ser planejada – executada sob um tempo e condições pré-estabelecidas –, ou não planejada, aspectos que variam em função da necessidade e importância de cada equipamento.

Dentre os principais formatos de manutenções estão a manutenção corretiva, preventiva, preditiva e autônoma.

2.2.1.1. Manutenção Corretiva

Definida pela NBR-5462 - Confiabilidade e Manutenibilidade (ABNT, 1994), a manutenção corretiva é a única forma de manutenção que ocorre após a ocorrência de uma falha, situação em que um equipamento não está desempenhando sua função plenamente. Esse modelo de manutenção visa restabelecer a função requerida ao equipamento, eliminando o estado de pane. Viana (2002) acrescenta que a manutenção corretiva é a intervenção necessária imediatamente para evitar graves consequências aos instrumentos de produção, à segurança do trabalhador ou ao meio ambiente.

Pode-se subdividir a manutenção corretiva em duas classes de intervenções: paliativa e curativa. A primeira possui intervenções corretivas executadas provisoriamente, a fim de restabelecer o funcionamento do equipamento e, posteriormente, executar o reparo definitivo. Já a curativa tem intervenções de caráter definitivo, restabelecendo o equipamento definitivamente (NUNES, 2001).

Xenos (1998) conclui que corrigir falhas é mais barato para o setor da manutenção do que prevenir as falhas nos equipamentos. Porém, paradas não programadas podem causar grandes perdas e interrupção da produção, o que poderia custar um alto preço para a companhia. Assim, ao optar pela manutenção corretiva, é necessário o planejamento quanto aos recursos necessários, como peças de reposição, mão de obra e ferramental, para agir rapidamente quando solicitado e diminuir as perdas com a parada da produção.

2.2.1.2. Manutenção Preventiva

A manutenção preventiva, segundo a NBR-5462 - Confiabilidade e Manutenibilidade (ABNT, 1994), é destinada a reduzir a probabilidade de falha ou a degradação de um equipamento. Nesse caso, é realizada em intervalos predeterminados ou baseada por outros critérios prescritos, causando, assim, menos transtorno operacional quando comparada a uma parada não programada.

Para Viana (2002), a manutenção preventiva deve ser a principal atividade de manutenção de qualquer empresa, pois, por meio dela, a ocorrência de falhas se dá em frequências menores. Todavia, esse método tem um custo elevado, porque, na maioria das vezes, peças têm de ser substituídas antes do seu limite de vida.

A adoção de uma política de manutenção preventiva, para Kardec e Nascif (2009), deve considerar alguns fatores, entre eles: quando houver riscos de agressão ao meio ambiente; em equipamentos críticos de difícil liberação; na oportunidade em que não é interessante a manutenção preditiva; quando houver situações com a segurança do trabalho, do funcionário ou da instalação, que obrigam a intervenção; em sistemas de operação contínua ou sistemas complexos.

2.2.1.3. Manutenção Preditiva

A manutenção preditiva, assim como a preventiva, tem a função de evitar que a falha ocorra. Conforme Bechtold (2010), a manutenção preditiva deve prever a ocorrência de uma falha em um equipamento, sendo seu controle feito através do monitoramento e de observações frequentes ou permanentes das condições do equipamento.

O objetivo da manutenção preditiva é determinar com exatidão o momento necessário para realizar a intervenção, evitando desperdícios e utilizando o componente até o máximo de sua vida útil. Para realizar o monitoramento, normalmente, utilizam medições ou controle estático, como análise de ruídos, vibrações, temperaturas e análise cromatográfica de óleos lubrificantes. Em situações de equipamentos tecnológicos, é possível o controle de medições dinâmico, como medições *online* (VIANA, 2002).

Xenos (1998) afirma que a manutenção preditiva costuma ser tratada de uma forma diferenciada dentro das empresas, pois, devido à tecnologia avançada, costuma possuir um preço elevado e demandar pessoal especializado. Porém, deve ser praticada por ser um método bastante eficaz, pois traz bons resultados.

3. ENGENHARIA DA CONFIABILIDADE

A engenharia da confiabilidade trabalha com o objetivo de diminuir fatores que possam ter influência em um equipamento não executar as funções a ele atribuídas. Conforme Mendes (2014), através da estimativa de risco, cálculo de probabilidade e prevenção de falhas, a engenharia da confiabilidade é capaz de fornecer métodos de projetar, testar, especificar e definir a probabilidade de equipamentos em geral, a fim de que desenvolvam suas atividades de forma satisfatória.

Dentre as principais ferramentas de análises utilizadas pela engenharia da confiabilidade, que juntas têm o papel de coletar informações sobre a confiabilidade do produto e descobrir possíveis problemas, estão: Análise de Weibull, Análise de Modo e Efeitos de Falhas (FMEA); Manutenção Centrada em Confiabilidade (MCC).

Após a Primeira Guerra Mundial, com o desenvolvimento da indústria aeronáutica, houve a concepção da confiabilidade, iniciando-se com análises do tempo relacionadas a falhas em equipamentos militares. Após, na Segunda Guerra Mundial e na Guerra Fria, conceitos relacionados à confiabilidade foram criados e aplicados na corrida armamentista, visando ao avanço tecnológico. Porém, com a disputa pelo conhecimento entre os países, apenas em 1963, foi criada a primeira associação de engenheiros de confiabilidade. A partir de então, materiais sobre confiabilidade foram publicados mundialmente (FOGLIATTO; RIBEIRO, 2009).

Conforme Kardec e Nascif (2009), essa associação criou, ainda, nos anos 60, conceitos importantes que são utilizados até hoje, dentre eles, as afirmações de que a prática da manutenção preventiva é ineficaz para muitos itens; e se um item não possui um modo conhecido, predominante e característico de falha, revisões programadas afetam muito pouco o nível de confiabilidade.

3.2. CONFIABILIDADE

Atualmente, a confiabilidade é definida pela NBR-5462 - Confiabilidade e Mantabilidade (ABNT, 1994, p. 3), sendo “a capacidade de um item desempenhar uma função requerida sob condições especificadas, durante um dado intervalo de tempo”. Lafraia (2001) acrescenta que a confiabilidade é a probabilidade de um equipamento ou sistema não falhar durante o período de tempo previsto para a sua vida, podendo trazer benefícios às

companhias, como a diminuição de paradas não programadas, probabilidade de acidentes, custos com manutenção e, conseqüentemente, aumentar os lucros.

Para um melhor entendimento, Kardec e Nascif (2009) citam outros conceitos indispensáveis para o estudo da confiabilidade. Dentre eles:

- 1) **Função Requerida:** é o nível de admissibilidade abaixo da função de projeto ao qual o equipamento ainda é satisfatório; cumprir a função pré-estabelecida, a tarefa esperada;
- 2) **Desempenho e Falha:** cada equipamento é projetado com uma função que irá desempenhar, logo, o desempenho do equipamento é mesurado conforme seu projeto inicial. No caso da perda do desempenho, ocorre a falha, a qual a manutenção tem o objetivo de sanar e restaurar, para recuperar o desempenho previsto ao equipamento;
- 3) **Intervalo de Tempo:** período definido em projeto e mensurado para que a confiabilidade varie nesse intervalo de tempo;
- 4) **Condições Definidas de Uso:** maneira como o equipamento deve ser operado, quando não seguida gera, conseqüentemente, uma queda na confiabilidade.

A confiabilidade utiliza o cálculo da probabilidade estatística de não ocorrer falhas, tendo um valor de 0 a 1 ou (0% a 100%). No entanto, conforme Kardec e Nascif (2009), buscamos medir a confiabilidade dos equipamentos, mas calculamos as falhas. Assim, a confiabilidade pode ser expressa pela Equação 1:

$$R(t) = e^{-\lambda t} \quad (1)$$

Onde $R(t)$ calcula a confiabilidade, a equação é aplicável para equipamentos que sofram desgaste natural. Onde λ é a taxa de falhas, t é o tempo previsto de operação e e é a base dos logaritmos neperianos ($e = 2,718$).

Para a NBR-5462 - Confiabilidade e Manutenibilidade (ABNT, 1994, p. 3), falha “é fim da capacidade de um item desempenhar a função requerida”. Todo equipamento fabricado possui uma função de projeto, em que é definida certa função que o equipamento desempenhará por um intervalo de tempo. Quando esse equipamento se torna incapaz de realizar tal função, usa-se o termo falha para definir essa situação. A falha é responsável pela não disponibilidade do equipamento e, paralelamente com a queda da disponibilidade, a confiabilidade também é reduzida quanto maior o número de falhas.

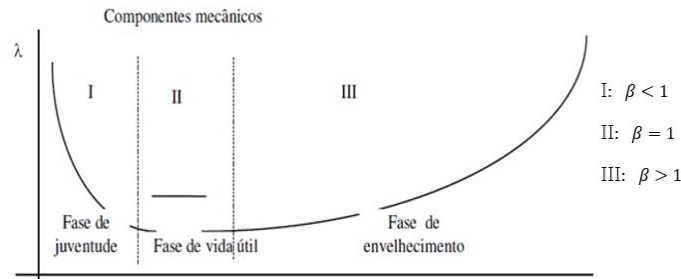
Conforme definição de Kardec e Nascif (2009, p. 128), a taxa de falhas é “o número de falhas por unidade de tempo”, sendo expressada pela Equação 2 abaixo:

$$\lambda = \frac{\text{Número de falhas}}{\text{Horas de operação}} \quad (2)$$

Xenos (1998) explica que as ocorrências de falhas podem evoluir de três maneiras: crescente, decrescente ou constante. Na primeira, a probabilidade de a falha ocorrer cresce conforme o equipamento envelhece, por motivos de desgaste, fadiga e corrosão. No caso da evolução de falhas da forma decrescente, ocorre em equipamentos em que a confiabilidade aumenta com o tempo, como em casos nos quais o equipamento passa por melhorias, substituindo peças e componentes por mais confiáveis. Por fim, no modo de evolução constante, as falhas ocorrem em eventos aleatórios, a probabilidade de falhar não aumenta nem diminui com o passar do tempo.

A combinação das três maneiras dá origem a uma curva característica da vida de um equipamento ou componente, também conhecida como Curva da Banheira (Gráfico 1), nome relacionado ao formato da curva (KARDEC; NASCIF, 2009).

Gráfico 1 - Curva da banheira



Fonte: Wagner (2012, p. 19).

A característica de cada período do gráfico é definida por Kardec e Nascif (2009) como:

- 1) **Mortalidade Infantil:** nesse período, há incidência de falhas causadas por componentes com defeitos de fabricação, deficiência de projetos ou problemas na instalação. Nesse período, a taxa de falhas é decrescente;
- 2) **Vida Útil:** nesse período, as falhas são ocasionadas por fatores menos controláveis, como a interação dos materiais com o ambiente ou fadiga; a taxa de falhas é constante;
- 3) **Desgaste:** no último, inicia-se o término da vida útil do equipamento. Com a taxa de falhas crescente, o aumento de falhas se dá por desgaste natural, que será maior com o passar do tempo.

3.2.1. Distribuição de Weibull

A Distribuição Weibull foi desenvolvida em um estudo sobre a resistência dos aços, com o passar do tempo adequado para analisar riscos de falha, a partir do histórico operacional de um equipamento. A distribuição é um método estatístico, criada por Walodi Weibull, que fornece a probabilidade de falha ao longo do tempo para aquela amostra e identifica em qual parte da curva da banheira os equipamentos estão operando (ZAGHETTO *et al.*, 2007).

A importância da Distribuição de Weibull e larga aplicabilidade se deve ao fato de as equações possuírem dois graus de liberdade, um dele abordando a forma e o outro o fato de escala, sendo aplicável em distintos tipos de equipamentos com diversas funções de trabalho (FOGLIATTO; RIBEIRO, 2009).

Fogliatto e Ribeiro (2009) representam a Distribuição de Weibull com os parâmetros $t \geq 0$, $\beta > 0$ e $\eta > 0$, a partir das seguintes equações:

$$F(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta} \quad (3)$$

$$f(t) = \frac{\beta}{\eta} t^{\beta-1} e^{-\frac{t^\beta}{\eta}} \quad (4)$$

$$R(t) = e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta} \quad (5)$$

$$\lambda(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t}{\eta}\right)^{\beta-1} \quad (6)$$

Onde t , β e η representam tempo de ocorrência de falha, parâmetro de forma e parâmetro de escala, respectivamente.

A Equação 3 é a Equação de Weibull utilizada para o cálculo da probabilidade de falha. A densidade é dada pela Equação 4, referindo ao percentual de falhas ocorridas em um intervalo de tempo definido. A Equação 5 calcula a confiabilidade do equipamento. E, por fim, a Equação 6 a probabilidade da ocorrência de falhas por unidade de tempo.

O fator de forma, β , define a classificação das falhas de uma amostra e como está o formato na curva, informando o período da vida que está o equipamento. Valores de $\beta < 1$ indicam taxas de falhas decrescente ou mortalidade infantil. Para valores de $\beta = 1$, temos taxas de falhas constantes e falhas aleatórias. Para valores de $\beta > 1$, a taxa de falhas é crescente, e verificam-se falhas por desgaste nos equipamentos. Podemos observar como seria a variação do β no Gráfico 1.

3.2.2. Manutenção Centrada em Confiabilidade (MCC)

A manutenção centrada em confiabilidade (MCC), como descrevem Kardec e Nascif (2009, p. 140), “é uma metodologia que analisa um equipamento ou um sistema em detalhes, verifica como ele pode falhar e define a melhor forma de fazer a manutenção de modo a prevenir a falha ou minimizar perdas decorrentes das falhas”.

A manutenção centrada em confiabilidade tem seu marco inicial em 1978 após a publicação do livro *Reliability-Centered Maintenance* (RCM) (NOWLAN *et al.*, 1978), o qual confirmou e elucidou técnicas de manutenção expostas por relatórios da Federal Aviation Administration (FAA) apresentados no fim da década de 60 (VIANA, 2002).

Dentre os benefícios da MCC, estão, segundo Kardec e Nascif (2009), o desenvolvimento de formas mais eficientes de realizar a manutenção, aumentando a disponibilidade dos equipamentos, minorando as falhas. Lafraia (2001) acrescenta que uma aplicação correta da MCC pode resultar uma redução de 30 a 40% em custos de mão de obra, estoque e materiais.

De acordo com Moubrey (1992), a metodologia MCC responde a sete questões de forma sequencial, utilizando etapas. Cada etapa possui ferramentas de modelagem e análise de sistemas, as quais documentam os critérios e dados utilizados na resolução de cada questão.

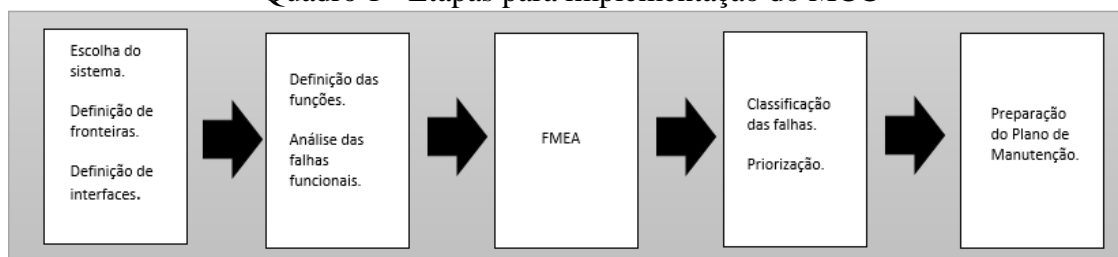
As questões a serem respondidas pela metodologia MCC são (MOUBRAY, 1992):

Questões:

1. Quais são as funções e os padrões de desempenho de um ativo no seu contexto presente de operação?
2. De que forma ele falha em cumprir suas funções?
3. O que causa cada falha funcional?
4. O que acontece quando ocorre cada falha?
5. De que forma cada falha importa?
6. O que pode ser feito para predizer ou prevenir cada falha?
7. O que deve ser feito se não for encontrado uma tarefa proativa apropriada?

Kardec e Nascif (2009) concebeu a implementação do MCC em cinco etapas, as quais possuem ferramentas importantes para auxiliar na elaboração da metodologia. Tais etapas estão expostas no Quadro 1, começando com a escolha do sistema e análise de dados do equipamento escolhido, então definindo suas funções, seguindo pela elaboração do FMEA (análise de modos e efeitos de falhas). Após, se faz necessária a classificação das falhas e priorização, por fim, será utilizado para revisar e recriar o plano de manutenção para o equipamento ou sistema.

Quadro 1 - Etapas para implementação do MCC



Fonte: Adaptado de Kardec e Nascif (2000).

4. METODOLOGIA

O trabalho foi realizado a partir de pesquisas bibliográficas produzidas em monografias, artigos e livros e expostas na fundamentação teórica. Portanto, serão aplicados conceitos do modelo de manutenção centrada em confiabilidade (MCC) em equipamentos de uma empresa de produção agrícola.

4.1. ESCOLHA DO EQUIPAMENTO

Os principais ativos da empresa de produção agrícola, onde foram coletados os dados, são 212 tratores, 206 colheitadeiras de grãos, 85 colheitadeiras de algodão e 161 pulverizadores auto propelidos. A escolha por seguir o estudo nos tratores se deve ao fato de terem grande relevância em todas as etapas, no processo aqui estudado, em que falhas não programadas comprometem toda a linha de produção da empresa, que possui janelas de produção, datas em que a atividade deve ser realizada, para plantio e colheita definidos por fatores climáticos.

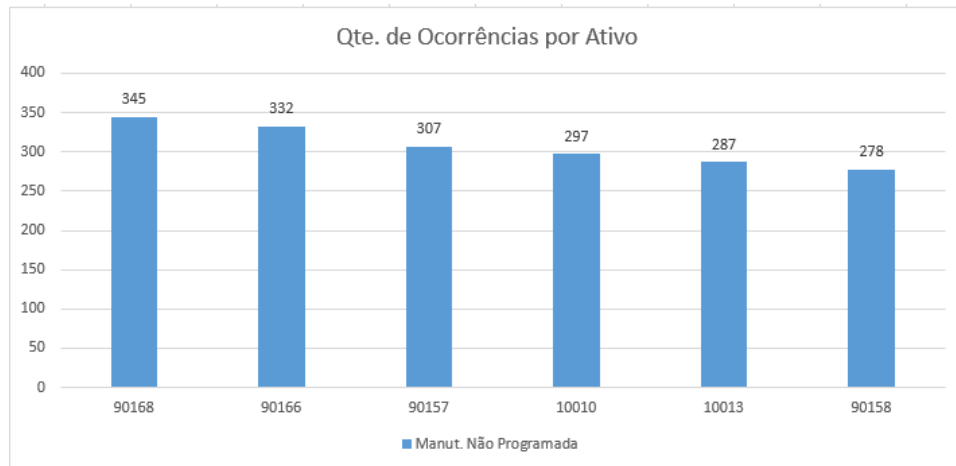
Dentre a frota de tratores, os tratores do Tipo A são os mais utilizados pela empresa: dos 212 tratores totais, 187 tratores são do Tipo A, tendo grande relevância para a empresa. A Tabela 1 abaixo mostra os tratores do Tipo A separados por modelo, junto com a quantidade de ocorrências de paradas para manutenção programadas e não programadas. Também, temos a média de quantidade de paradas não programadas para cada modelo da frota.

Tabela 1 - Quantidade de Manutenção Programada e não Programada por frota

| Frota | Quant. Equipamentos | %Eqto | Manutenção não Programada | Manutenção Programada | Média Manutenção não Programada por Equipamento |
|--------------------|---------------------|-------------|---------------------------|-----------------------|---|
| MODELO A | 2 | 1% | 21 | 75 | 10,50 |
| MODELO B | 19 | 10% | 900 | 2157 | 47,37 |
| MODELO C | 27 | 14% | 3252 | 9618 | 120,44 |
| MODELO D | 13 | 7% | 606 | 2345 | 46,62 |
| MODELO E | 7 | 4% | 169 | 906 | 24,14 |
| MODELO F | 11 | 6% | 75 | 500 | 6,82 |
| MODELO G | 19 | 10% | 2614 | 1418 | 137,58 |
| MODELO H | 90 | 48% | 12769 | 20493 | 141,88 |
| Total Geral | 187 | 100% | 23092 | 37512 | 123,49 |

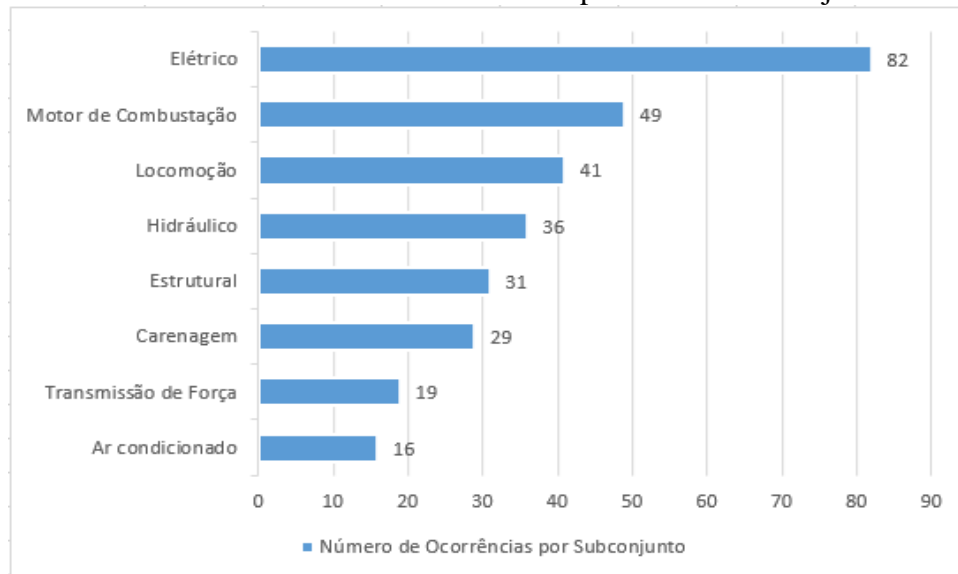
A partir da Tabela 1, constata-se que o modelo H, além de possuir o maior percentual de equipamentos da frota Tipo A, detém, também, a maior média de ocorrências de manutenção corretivas, paradas não programadas. Constatando-se que o modelo H é o mais crítico da frota, elaborou-se o Gráfico 3, que mostra os 6 tratores que mais apresentaram falhas, assim definindo o trator 90168 como o equipamento que mais falhou e que será utilizado na continuidade do estudo.

Gráfico 2 - Ativos do modelo H com mais ocorrências de falhas



Através do banco de dados fornecido pela empresa, foram tabeladas as ocorrências referentes ao trator 90168. As ocorrências de falhas foram separadas, em uma planilha eletrônica, em função do subconjunto ao qual pertence o componente. No Gráfico 4, percebe-se que o sistema elétrico foi o sistema que mais falhou, com 82 ocorrências de manutenção corretivas, representando aproximadamente 24% das ocorrências não programadas do trator, número elevado quando comparado aos outros sistemas que demonstraram falhas.

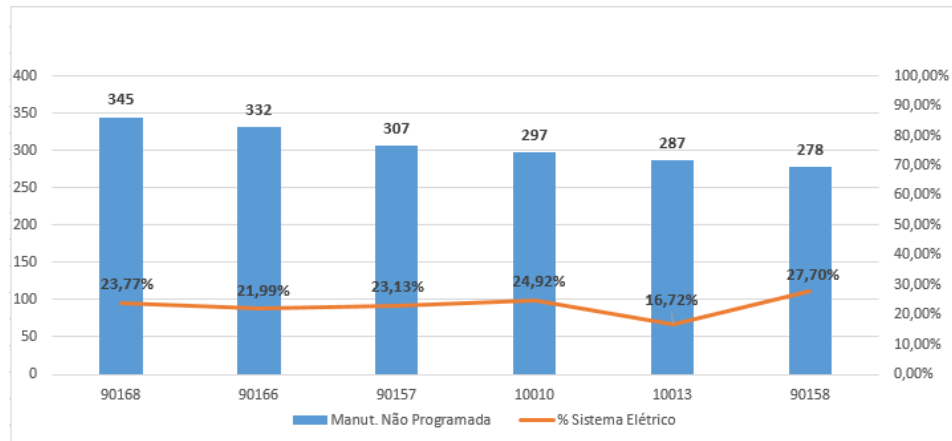
Gráfico 3 - Falhas do Ativo 90168 separadas em subconjuntos



4.3. ANÁLISE DE FALHAS

Observando o alto índice de falhas no subconjunto do sistema elétrico no ativo 90168, analisou-se a repetição desse padrão nos tratores que mais falharam, Gráfico 5, mostrando que a alta média de falha no subconjunto do sistema elétrico se manteve. Então, se propôs focar em sua análise e aprofundar os conhecimentos, gerando uma análise funcional para, posteriormente, tornar possível a realização da análise dos modos e efeitos de falha (FMEA). A partir da validação da metodologia e obtenção de resultados positivos na manutenção do equipamento, poder-se-á estender o estudo para os demais subsistemas do trator.

Gráfico 4 – % Falhas do Sistema Elétrico dos Ativos do modelo H com mais ocorrências.



4.3.1. Sistema Elétrico

Dentre as principais funções do subconjunto do sistema elétrico em tratores, estão o controle de todo o sistema de iluminação, segurança e sensores de funcionamento de todos os sistemas do trator. Também, é função do sistema elétrico auxiliar na partida dos motores, em que o motor de partida aciona o volante, dando início ao funcionamento do motor. O alternador é um dos principais componentes do subconjunto, responsável pela conversão de energia mecânica em elétrica, abastecendo a bateria e todo sistema elétrico. Atualmente, os tratores novos possuem sua operação através de sistemas elétricos, os quais possuem eletrônica embarcada com objetivo de trabalharem autônomos e possuem maior controle sobre seus rendimentos e funcionamento. No Anexo I, podemos ver um esboço do sistema elétrico fornecido pela fabricante do trator.

4.3.2. Análise de Modos e Efeitos de Falhas (FMEA)

FMAE (do inglês, *Failure Mode and Effect Analysis* – FMEA) é uma etapa de extrema importância para a análise do MCC, pois identifica cada finalidade do sistema e sua relação com a falha. Para Fogliato e Ribeiro (2009), o FMAE tem como objetivos: reconhecer e avaliar as falhas potenciais que podem surgir em um produto ou processo; identificar ações que possam eliminar ou reduzir a chance de ocorrência de falhas; documentar o estudo, criando um referencial técnico que possa auxiliar em revisões e desenvolvimentos futuros do projeto ou processo.

No Quadro 2, estão listados os modos e efeitos de falha para o modelo H realizados a partir das falhas recorrentes ocorridas no sistema elétrico do ativo 90168, visando melhorias no subconjunto mais crítico do equipamento e desenvolvendo ações e procedimentos para lidar com as falhas.

Quadro 2 - Modos e Efeitos de Falha do Subconjunto Sistema Elétrico

| Equipamento | Subconjunto | Falhas funcionais | Falha | Local da Falha | Componente Avariado | Modo de Degradação | Consequência da Falha | Tarefa Recomendada | | | |
|-------------|------------------|--|----------------------------------|--------------------------|-------------------------|------------------------|-----------------------|--------------------|----------------|-----------|-----------------------|
| | | | | | | | | Tarefa | Frequência | Tipo | |
| Modelo H | Sistema Elétrico | 1)Falhar os sensores de posicionamento; 2)Falhar o sistema de iluminação; 3)Falhar a partida do motor; 4)Falhar o modulo de informações vitais; 5)Falhar a recarga da bateria; 6) Falhar o sistema de emergência; | Sistema de Iluminação | Iluminação | Cabo/Fiação | Danificado | Segurança | Check list | Diário | Corretiva | |
| | | | | | | Mau contato | | | | | |
| | | | | | Fusível | Queimado | | | | | |
| | | | | | | Danificado | | | | | |
| | | | Sistema de Partida e Carga | Bateria | Bateria | Carga | Operacional | Teste/Inspeção | 50 Horas | Preditiva | |
| | | | | | | Danificado | | | | | |
| | | | | Alternador | Conector elétrico | Correia | Danificado | Operacional | Check list | Diário | Corretiva |
| | | | | | | | Danificado | | | | |
| | | | | | Tensionador de Correia | Fixação | | | | | |
| | | | | | Regulador de Tensão | Danificado | | | | | |
| | | | | Motor de partida | Pinhão | Induzido | Danificado | Operacional | Teste/Inspeção | 250 Horas | Preditiva |
| | | | | | | | Danificado | | | | |
| | | | | | Fonte Alimentação | Sobretensão | | | | | |
| | | | | | | Curto-Circuito | | | | | |
| | | | | Cabine e Assesórios | Buzina | Relé da buzina | Danificado | Segurança | Check list | Diário | Corretiva |
| | | | | | | | Interruptor | | | | |
| | | | Lavador do pára-brisa | | Bomba | Tensão de alimentação | Operacional | Teste/Inspeção | 50 Horas | Corretiva | |
| | | | | | | Danificado | | | | | |
| | | | Limpador do pára-brisa | Motor | Tensão de alimentação | Operacional | Teste/Inspeção | 50 Horas | Corretiva | | |
| | | | | | Conector do interruptor | | | | | | |
| | | | Ar Condicionado | Controle Ar Condicionado | Interruptores | Danificado | Oculto | Check list | Diário | Corretiva | |
| | | | | | | Embregem do compressor | | | | | Resistência |
| | | | Luzes de Aviso no Painel | Indicadores do painel | Sensores | Danificado | Segurança | Check list | Diário | Corretiva | |
| | | | | | | Solenóide | | | | | Tensão de alimentação |
| | | | | Frenagem | Potenciometro | Danificado | Segurança | Check list | Diário | Corretiva | |
| | | | Controladoras e Comando Elétrico | Chicote elétrico | Fios | Umidade | Operacional | Teste/Inspeção | 50 Horas | Preditiva | |
| | | | | | | Isolamento | | | | | Aquecimento |
| | | | | Contatos | Conexões elétricas | Oxidação | Operacional | Teste/Inspeção | 50 Horas | Preditiva | |
| | | | | | | Terminais | | | | | Danificado |
| | | | | Módulo Informação vitais | Fusível | Sensores | Danificado | Oculto | Check list | Diário | Corretiva |
| Danificado | | | | | | | | | | | |

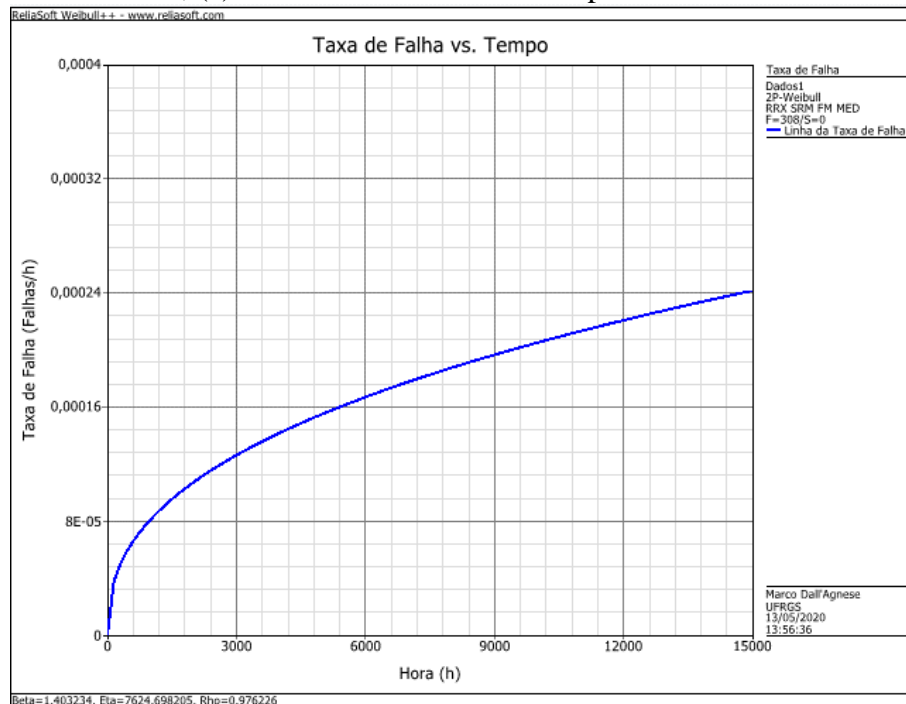
4.4. IDENTIFICAÇÃO DAS CONSEQUÊNCIAS DAS FALHAS

Após a realização do FMAE, quando identificamos a finalidade do sistema e suas potenciais falhas, é necessário definirmos qual é a importância da falha. Kardec e Nascif (2009) produziu um diagrama de decisões (ANEXO II), o qual permite ser associado a diversas atividades, e que é possível classificar as consequências de cada falha, primeiramente as dividindo em ocultas ou evidentes. Após, podemos subdividi-las em segurança/ambiente, operacional ou econômica. No Quadro 2, estão, junto com o FMAE, a análise das consequências das falhas.

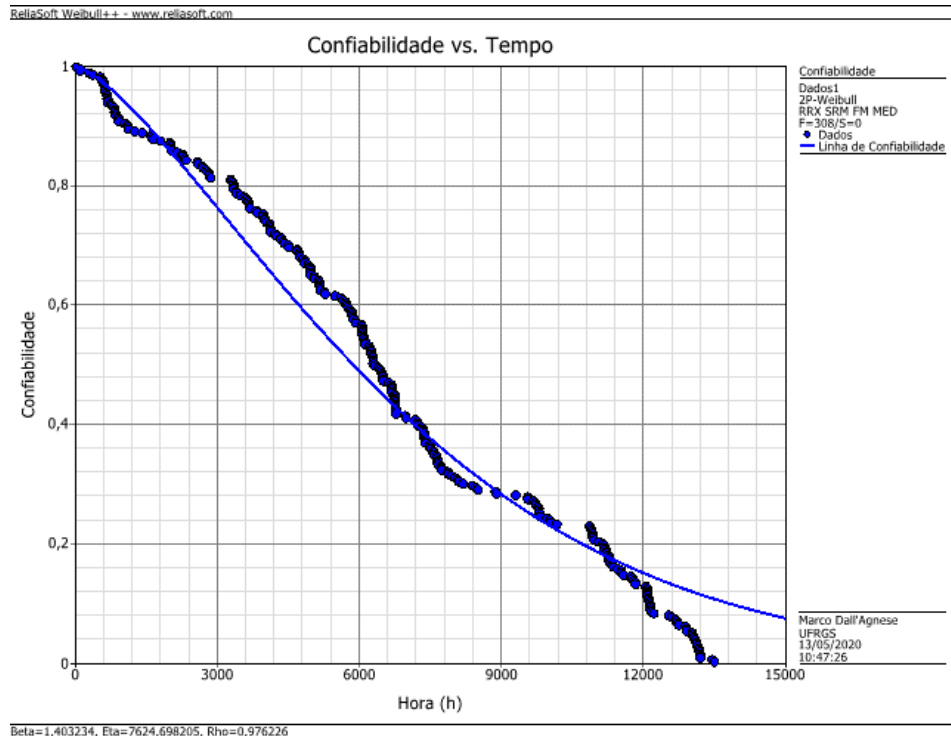
4.5. ANÁLISE DE WEIBULL

Por fim, para determinar a confiabilidade, a taxa de falha e a fase de vida do equipamento, utilizou-se a Distribuição de Weibull, dados que auxiliarão na definição da estratégia de manutenção do equipamento. Com o auxílio do *software* Weibull ++ 7 da empresa ReliaSoft (licença para estudantes de 1 mês), o qual utiliza o histórico de ocorrências para traçar uma linha de tendência, pode-se construir a curva de confiabilidade dos eventos dos subconjuntos, o software também calcula os parâmetros β e η através da linha de tendência. No Gráfico 6, temos a confiabilidade *versus* tempo referente ao trator 90168 e o subconjunto do Sistema Elétrico, subconjunto mais crítico do equipamento. No Anexo III, estão os gráficos Confiabilidade *versus* Tempo referentes aos demais subconjuntos.

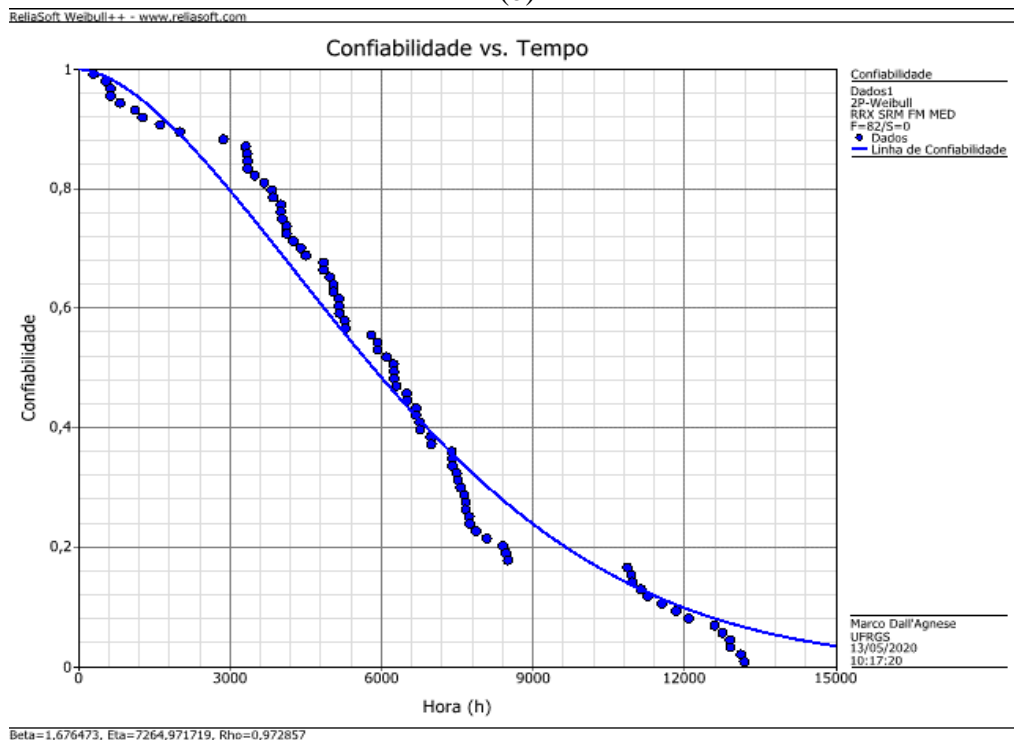
Gráfico 5 – (a) Taxa de Falha *versus* Tempo do Ativo 90168; (b) Confiabilidade *versus* Tempo do Ativo 90168; (c) Confiabilidade *versus* Tempo Sistema Elétrico do Ativo 90168



(a)



(b)



(c)

Analisando os gráficos de confiabilidade *versus* tempo, pode-se constatar que o subconjunto do sistema elétrico, subconjunto que mais falhou, possui uma queda mais abrupta da confiabilidade quando comparado ao gráfico que contém todas as ocorrências do trator, mostrando uma confiabilidade 4% menor nas 15000 horas de operação, fator que nos comprova a criticidade do subconjunto. Também, analisando o gráfico da taxa de falha (λ) *versus* o tempo, nota-se uma taxa de falha crescente indicando que o equipamento e o subconjunto estão na fase de envelhecimento no gráfico da banheira, quando já se iniciou o fim da vida útil do

equipamento. Para analisar o valor de $\beta > 1$ encontrado, utilizaremos o diagrama de decisões do fator de forma de Weibull (ANEXO IV), o qual sugere que as causas prováveis são um programa de manutenção inadequado e uma decisão gerencial de utilizar o equipamento até ocorrer a falha. Assim, comprova-se a necessidade de uma nova estratégia de manutenção para aperfeiçoar os resultados do equipamento e de toda frota de tratores da empresa.

5. RESULTADOS

Através da extensa base de informações sobre as ocorrências de manutenções dos equipamentos fornecidas pela empresa, foi possível avaliar e encontrar, dentre toda a frota de tratores, o modelo com maior média de falhas, o ativo mais crítico da empresa e o subconjunto com maior quantidade de manutenções corretivas. Após definido o foco do trabalho, seguindo as etapas do método de manutenção centrada em confiabilidade para a análise das falhas, chegamos em um fator de forma $\beta > 1$ e o gráfico de taxa de falha *versus* tempo crescente, os quais nos mostraram que é necessário a alteração da forma de manutenção do equipamento.

A partir do auxílio dos coordenadores de manutenção e dos mecânicos da empresa, foram listados métodos de evitar as falhas recorrentes e criou-se uma estratégia de manutenção que visa diminuir a quantidade de falhas e aumentar a disponibilidade dos tratores. O novo plano de manutenção começou com um cronograma de manutenção preventivas e preditivas (APÊNDICE I) mais detalhado e recorrente que o antigo, o qual era realizado apenas nas 375, 750 e 1500 horas de operação do trator e não possuíam atividades definidas para execução. O novo cronograma possui intervenções propostas no manual do equipamento, recomendações do fabricante e considerações dos coordenadores de manutenção da empresa, os quais serão os responsáveis pelas equipes que executarão a manutenção e, também, pelo treinamento dos mecânicos.

Além do novo programa de manutenções preditivas e preventivas, foi elaborado na empresa um *check list* diário, chamado de “Eu Cuido da Minha Máquina” (APÊNDICE II), no qual os operadores dos equipamentos irão receber treinamentos realizados pelo coordenador de manutenção da fazenda, tendo como objetivo que o operador faça uma checagem antes de começar o turno de itens que poderiam afetar a segurança ou causar paradas para manutenção corretiva. Junto com os itens de checagem, o programa traz recomendações de operação, aumentando a responsabilidade do operador e realizando uma troca de informações diárias entre a equipe de operação e a equipe de manutenção, otimizando todo o processo. O *check list* tornará o reconhecimento das falhas e seu reparo mais eficiente, visto que será realizado diariamente ainda no pátio da fazenda, e, caso necessário, a equipe de manutenção estará à disposição para reparo, não sendo necessário deslocamento até o campo.

Para o sistema elétrico, subconjunto que apresentou maior percentual de falhas no modelo, foram definidas atividades no novo cronograma de manutenção, que não eram realizadas no antigo, como a inspeção visual do sistema elétrico, limpeza no terminal da bateria e revisão do sistema de segurança e partida. No entanto, como o sistema elétrico é de difícil monitoramento, espera-se da checagem diária, rápido reconhecimento e reparo das falhas, aumentando a disponibilidade do trator.

A aplicação do projeto tem como resposta esperada a curto prazo um aumento da disponibilidade e confiabilidade dos equipamentos que são essenciais para todas as operações da empresa, e, a médio e longo prazo, gerar melhorias em toda a organização do setor da manutenção e setor do almoxarifado, pois com a documentação das ocorrências e diminuição das paradas não-programadas, pode-se ter um melhor controle e previsão dos estoques.

6. CONCLUSÕES

O alto índice de falhas em tratores de uma empresa de produção agrícola e o respectivo comprometimento causado em toda operação instigaram um estudo aprofundado sobre os possíveis problemas que estavam ocorrendo com a estratégia de manutenção da companhia. Com a necessidade de aumentar a disponibilidade e confiabilidade dos equipamentos, o método da manutenção centrada em confiabilidade foi escolhido para ser aplicado na frota de tratores da empresa.

A análise dos dados fornecidos pela empresa mostrou a influência que os ativos do modelo H possuem sobre a frota de tratores, tendo 48% do total de equipamentos. Além da representatividade em números de equipamentos, o modelo H possui a pior média de paradas não programadas por número de ativos, fatores que influenciaram a escolha em seguir o estudo em um ativo desse modelo. Após a definição do modelo a ser estudado, encontrou-se o ativo com mais falhas do modelo – Ativo 90168 – e dividimos suas falhas em subconjuntos. O subconjunto do sistema elétrico possui maior ocorrências de falhas, com 24% das falhas, porcentagem que se manteve quando analisadas as ocorrências de outros ativos do modelo H.

A partir dessa análise, foi elaborado um FMAE do subconjunto mais crítico do trator, reconhecendo e documentando as potenciais falhas e, também, criando um referencial para futuras manutenções. Após, através da Análise de Weibull, foram elaborados gráficos de confiabilidade *versus* tempo e gráficos de taxa de falha *versus* tempo do equipamento e de seus subconjuntos, os quais nos mostram a criticidade do subconjunto do sistema elétrico, tendo uma queda da confiabilidade mais súbita em relação ao equipamento e, também, influenciando a curva de confiabilidade do ativo. Pelo gráfico da taxa de falha, percebemos que o ativo já iniciou o término de sua vida útil. Já o valor de $\beta > 1$ mostra a necessidade da mudança da estratégia de manutenção que estava sendo utilizada no ativo.

Por fim, foi elaborada uma nova estratégia de manutenção para os ativos da frota Tipo A da empresa, dividida em duas etapas principais, novo cronograma de manutenção e *check list* diário. A primeira torna as atividades de manutenção mais especificadas e recorrentes, tendo objetivo de evitar falhas. A segunda tem o objetivo de aproximar a responsabilidade do operador com a manutenção do equipamento, onde o operador realiza uma checagem diária buscando por possíveis falhas ou pontos críticos para a operação. Estratégia que já está em prática e, caso seguida devidamente pelos grupos de manutenção da empresa e operadores, ocasionará um aumento da disponibilidade e confiabilidade dos equipamentos.

Assim, é possível afirmar que o método de confiabilidade da manutenção foi aplicado com sucesso, pois permitiu identificar pontos críticos do equipamento e traçar novos parâmetros para melhorar os resultados na confiabilidade dos equipamentos e do setor da manutenção. Podendo, caso necessário, seguir o estudo dos modos e efeitos de falha para os demais subconjuntos críticos do trator, como o subconjunto do motor a combustão e o subconjunto de locomoção.

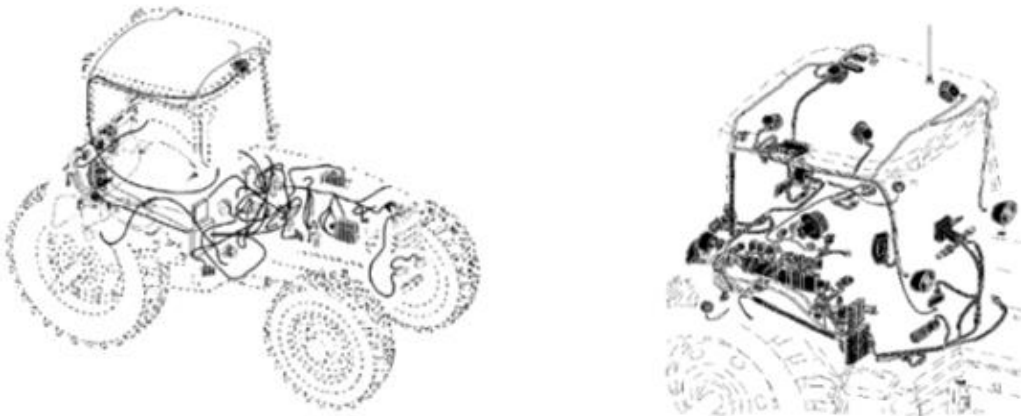
REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 5462:** Confiabilidade e Manutenibilidade. Rio de Janeiro: ABNT, 1994.
- AURÉLIO. **O minidicionário da língua portuguesa**. 4. ed. Rio de Janeiro: Nova Fronteira, 2002.
- BECHTOLD, M. J. **Manutenção Mecânica**. Florianópolis: Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial, Departamento Regional de Santa Catarina, 2010.
- BRANCO FILHO, G. **A organização, o planejamento e o controle da manutenção**. Rio de Janeiro: Ciência Moderna, 2008.
- CABRITA, C. M. P.; SILVA, C. M. I. **Organização e Gestão da Manutenção Industrial**. Unidade Científica e Pedagógica, Ciências de Engenharia, Universidade da Beira Interior, Covilhã, 2002.
- FOGLIATTO, F. S.; RIBEIRO, J. L. D. **Confiabilidade e Manutenção Industrial**. São Paulo: Campus-Elsevier, 2009.
- JOHN DEERE. **8430 Tractor - PC10815:** 41 Chicote Elétrico do Motor e Chassi. 2020. Disponível em: <https://partscatalog.deere.com/jdrc/navigation/equipment/73443/level/2/snp/MTAwMTg6Q0hBUFRFUlsxMDIyOiNCVVVNJTkVTU19SRUdJT04sOTY1OiNDQVRBTE9HLDczNDQzOkVRVU1QTUVV0VF0>. Acesso em: 1 jun. 2020.
- KARDEC, A., NASCIF, J. **Manutenção: Função Estratégica**. 3. ed. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2009.
- LAFRAIA, J. R. B. **Manual de confiabilidade, manutenibilidade e disponibilidade**. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2001.
- MENDES, A. A. **Manutenção Centrada em Confiabilidade:** uma abordagem quantitativa. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2014.
- MOUBRAY, J. **Reliability-centered maintenance**. London: Butterworth Heinemann, 1992.
- NOWLAN, F. S. *et al.* **Reliability-Centered Maintenance**. São Francisco: United Airlines, 1978.
- NUNES, E. L. **Manutenção centrada em confiabilidade (MCC):** análise de implantação em uma sistemática de manutenção preventiva consolidada. Dissertação (Mestrado em Engenharia da Produção) – Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2001.
- THEISS, R. **Manutenção Preventiva**. Monografia (Bacharelado em Sistemas da Informação) – Universidade para o Desenvolvimento do Vale do Alto Vale do Itajaí, Rio do Sul, 2004.
- VIANA, H. R. G. **PCM: Planejamento e Controle da Manutenção**. Rio de Janeiro: Quality Mark, 2002.

XENOS, H. G. **Gerenciando a Manutenção Produtiva: o caminho para eliminar falhas nos equipamentos e aumentar a produtividade**. Belo Horizonte: Desenvolvimento Gerencial, 1998.

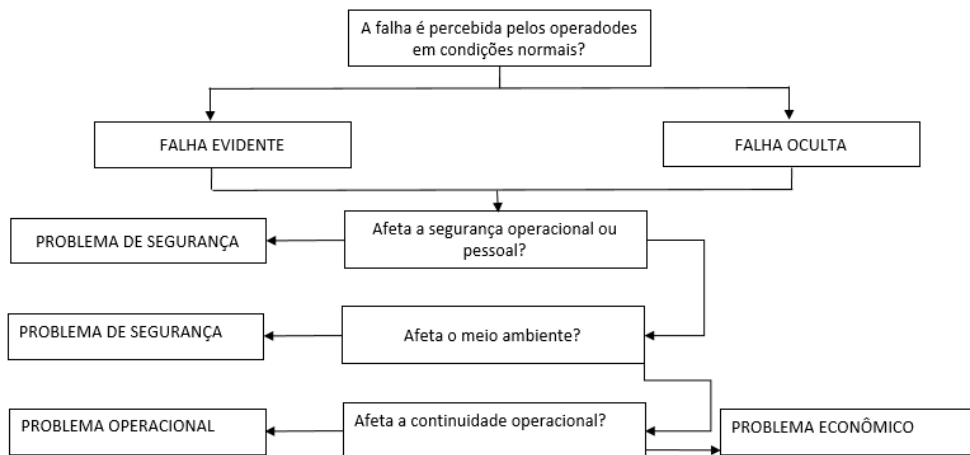
ZAGHETTO, S. L. *et al.* Modelagem de risco de falha de equipamentos elétricos de subestações. *In: SEMINÁRIO NACIONAL DE PRODUÇÃO E TRANSMISSÃO DE ENERGIA ELÉTRICA*, 19., 2007. **Anais** [...]. Rio de Janeiro: Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2007.

ANEXO I – SISTEMA ELÉTRICO TRATOR



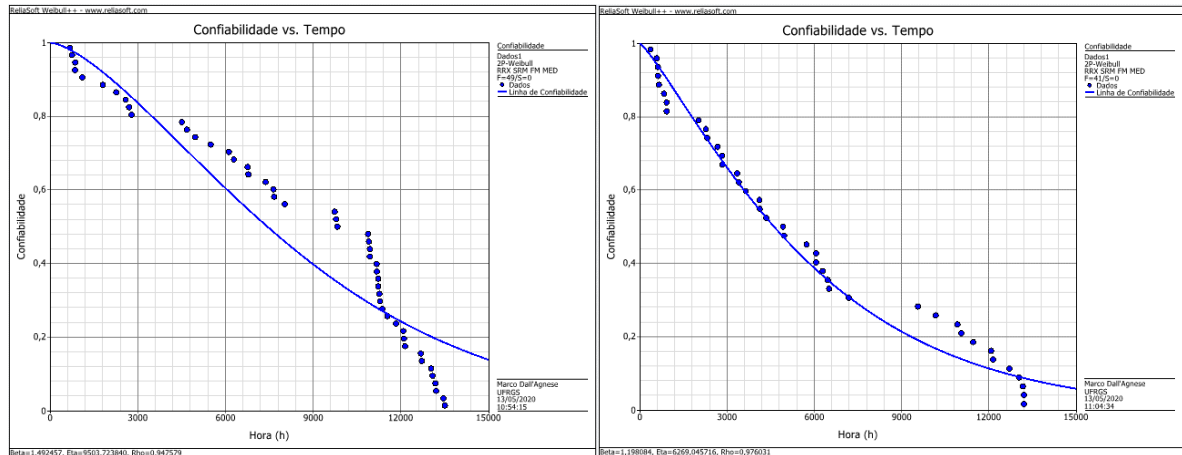
Fonte: John Deere (2020, s./p.).

ANEXO II – DIAGRAMA DE DECISÕES PARA CONSEQUÊNCIAS DE MODO DE FALHA



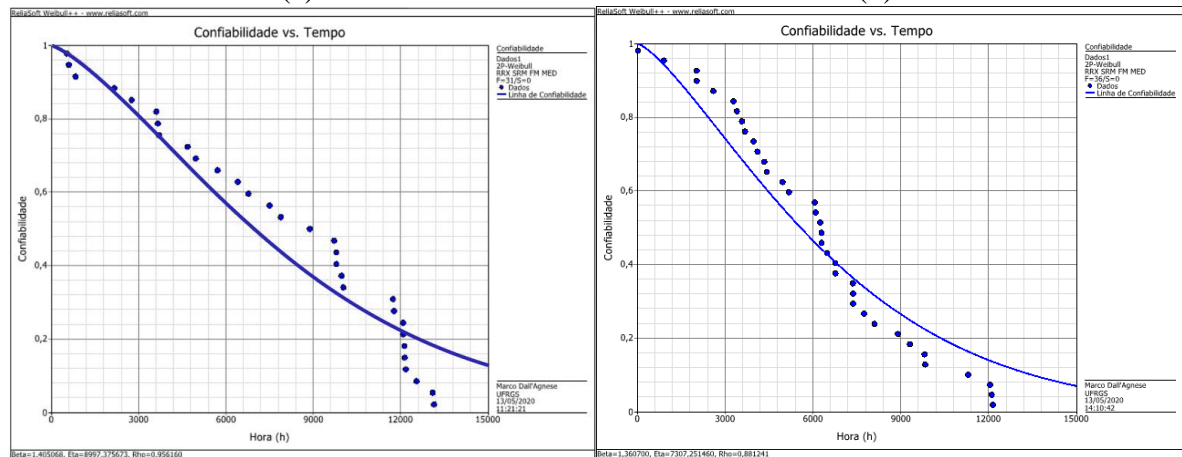
FONTE: Adaptado Kardec e Nascif (2009, p. 158).

ANEXO III – GRÁFICOS DE CONFIABILIDADE VERSUS TEMPO: (a) Motor de Combustão; (b) Locomoção; (c) Estrutural; (d) Hidráulico;



(a)

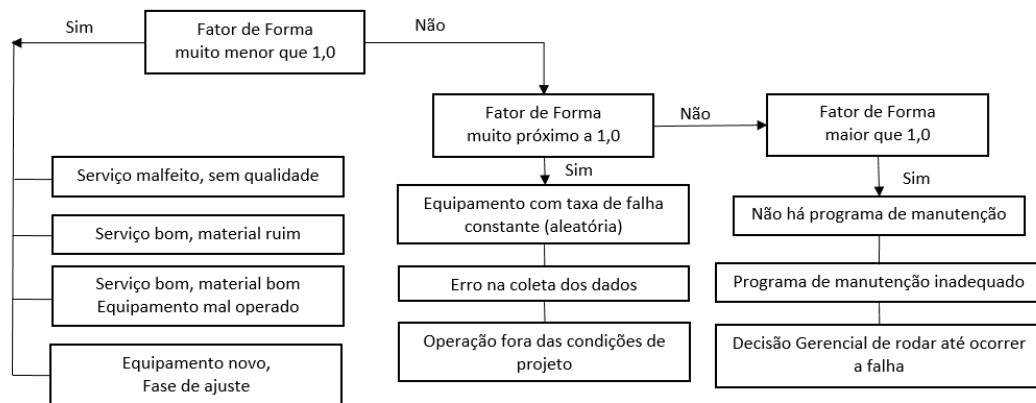
(b)



(c)

(d)

ANEXO IV – DIAGRAMA DE DECISÕES DE WEIBULL EM RELAÇÃO AO FATOR FORMA



Fonte: Kardec e Nascif (2009, p. 170)

APÊNDICE I – CRONOGRAMA DE MANUTENÇÃO PREVENTIVAS E PREDITIVAS

| Plano de Manutenção Preventiva e Preditiva - Tratores Tipo A | |
|--|--|
| Cada 50 Horas | Cada 400 Horas |
| Revisar bitolas, rodas e pneus | Rolamento da Roda Dianteira do Conjunto 4x2 |
| Nível do óleo da tração dianteira | Verificação da Folga do Pino Pivô do Eixo Dianteiro 4x2 |
| Lubrificação do Pino Pivô do Eixo Dianteiro 4x2 | Verificação da Direção do Eixo Dianteiro 4x2 |
| Lubrificação do Pivô da Direção do Eixo Dianteiro 4x2 | Limpar e revisar elemento primário do filtro de ar do motor |
| Lubrificação do Pino da Articulação do Eixo Dianteiro 4x4 ZF | Trocar filtros de ar da cabine |
| Lubrificação do Eixo Dianteiro 4x4 | Cada 500 Horas |
| Inspeção do Trator em Busca de Parafuso e Porcas Frouxas | Lubrificação do Rolamentos do Eixo Traseiro |
| Limpeza da Válvula de Descarga do Filtro de ar do Motor | Cada 750 Horas |
| Inspeção visual sistema elétrico e limpeza terminal da bateria | Trocar pré-filtro de combustível |
| Lubrificar rolamentos do eixo traseiro | Testar/Trocar termostatos |
| Revisar estado da(s) correia(s) | Trocar correia alternador |
| Revisar nível do óleo do cárter | Lubrificar rolamentos do eixo traseiro |
| Primeiras 100 Horas | Ajuste da Folga nas Válvulas do motor e inspecione os bicos injetores |
| Revisar líquido de arrefecimento do motor | Troca do Filtro de Óleo da Transmissão/Hidráulico |
| Verificar Vazamentos no sistema de arrefecimento | Verificação de rotações da Lenta e Alta do Motor |
| Apertar braçadeiras das mangueiras da tomada de ar | Limpeza da Mangueira de Respiro do Cárter |
| Revisar o torque dos parafusos e porcas das rodas | Revisão do Aperto das Mangueiras e Braçadeiras |
| Revisar o torque e parafusos do levante de 3 pontos | Cada 1500 Horas |
| Reaperte as mangueiras hidráulicas | Troca do Óleo da Transmissão/Sistema Hidráulico |
| Troque filtro e o óleo do motor | Limpeza da Malha do Filtro de Óleo da Transmissão/Sistema Hidráulico |
| Trocar óleo dos redutores do eixo dianteiro | Teste ou Troca Bicos Injetores |
| Trocar óleo do diferencial do eixo dianteiro | Pontos de Lubrificação Especiais* |
| Troque o filtro de óleo da transmissão/hidráulico | 1 Ano |
| Trocar óleo do cárter | Substituição dos Elementos do Filtro do Ar |
| Trocar filtro do cárter | Pontos de Lubrificação Especiais* |
| Cada 250 Horas | 2 Anos ou 2000 Horas |
| Trocar filtro e o óleo do motor | Limpeza do Sistema de Arrefecimento e Substituição da Válvula Termostática |
| Substituição do Filtro de Combustível | Ajuste da Folga nas Válvulas do motor e inspecione os bicos injetores |
| Substituição do Filtro de Linha de Combustível | Revisar eficiência dos freios de serviço |
| Verificar Vazamentos no sistema de arrefecimento | Limpar grades e aletas do radiador/ resfriador/ condensador |
| Serviço do Filtro de Ar (Primário) | Pontos de Lubrificação Especiais* |
| Revisão Sistema de Segurança de Partida | Pontos de Lubrificação Especiais: |
| Freio de Estacionamento | Engate de 3 pontos |
| Revisão do Curso Livre do Pedal da Embreagem | Pontos do eixo dianteiro |
| Ajuste da Vareta da Embreagem da TDP | Pino de articulação eixo de tração |
| Lubrificação do Cubo da Roda do Eixo Dianteiro 4x2 | Rolamentos do eixo traseiro |
| Trocar amortecedor do virabrequim | Braços da direção |
| Trocar filtro do cárter | Pontos do levante hidráulico |
| Pontos de Lubrificação Especiais* | Eixo da TDP |

APÊNDICE II – CHECK LIST DIÁRIO**EU CUIDO DA MINHA MÁQUINA****TRATORES****Manutenção e Verificação Diária antes do trabalho**

1. Verificar nível do óleo do motor.
2. Verificar nível do óleo hidráulico/Transmissão.
3. Verificar a tensão e estado das correias do alternador, atuador.
4. Verificar a limpeza dos radiadores.
5. Verificar nível do líquido de arrefecimento (radiador ou reservatório de expansão).
6. Verificar possíveis vazamentos no TR.
7. Verificar se todos os bocais possuem capa protetora.
8. Verificar o funcionamento de luz indicativa de restrição
9. Verificar o funcionamento do painel luzes externas e buzina.
10. Manter a cabine limpa dando um maior conforto e mantendo o bom funcionamento do sistema de ar condicionado.
11. Drenar diariamente a água do filtro de combustível.
12. Verificar estado e conservação de engates rápidos e bocais VCR.
13. Verificar calibração dos pneus, possíveis trincas em rodas e aperto nos parafusos de roda.

Procedimentos:

- 1- Rotação de trabalho entre 1600 a 2200 RPM.
- 2- Rotação de deslocamento e pátio 1500 RPM.
- 3- Não utilize o pedal de embreagem para dar início na movimentação do equipamento.
- 4- Ao término do turno de trabalho deixe o equipamento estacionando em lugar seguro e que facilite o trabalho do comboio.
- 5- De a partida e deixe 2 minutos o motor trabalhando em 1200 RPM.
- 6- Ao ligar a máquina buzine 3 vezes pausadamente e aguarde 30 segundos.
- 7- Ao desligar deixe o equipamento por 2 minutos em baixa rotação.
- 8- Caso acender alguma luz de **Advertência** ou **STOP** informe imediatamente o coordenador ou setor de manutenção.
- 9- Verificar a lubrificação do equipamento antes de iniciar as atividades.
- 10- Use o cinto de segurança sempre.