

PROGRAMAÇÃO DE MANUTENÇÃO PERIÓDICA PARA SISTEMAS REPARÁVEIS CRÍTICOS DE UM TERMINAL LOGÍSTICO DE AÇÚCAR UTILIZANDO ANÁLISE E CONFIABILIDADE

Ailson Renan Santos Picanço¹ (ailson.picanc@outlook.com)

Lucas Antonio Risso¹ (lucasrisso@gmail.com)

Ricardo Scavariello Franciscato¹ (ricardo.franciscato@yahoo.com.br)

Alessandro Lucas da Silva¹ (alessandro.silva@fca.unicamp.br)

Paulo Sérgio de Arruda Ignácio¹ (paulo.ignacio@fca.unicamp.br)

¹ FCA/ UNICAMP - Rua Pedro Zaccaria, 1300 - Caixa Postal 1068, CEP 13484-350 - Limeira, SP

RESUMO

A programação de planos de manutenção é fortemente ligada à criticidade do equipamento, considerando condições de manutenibilidade e taxas de processamento, logo o desenvolvimento desses planos lida com um estreito limite entre políticas efetivas e intervenções demasiadas. Após acessar informações dos intervalos de falhas dos equipamentos críticos, representados por balanças e elevadores de carga, este artigo conduz um estudo de caso em um terminal logístico de açúcar visando estipular a periodicidade adequada para manutenções preventivas, combinando MTBFi, MTTR e eficiência operacional. Primeiramente, o Teste de Tendência de Laplace foi usado para verificar a linearidade da distribuição dos dados, enquanto o limite inferior do MTBF foi calculado para informar vulnerabilidade às falhas. Resultados revelaram que a manutenção programada para as balanças estava superestimada, onde o tempo estipulado é de 64,9 dias, enquanto o plano anterior informou ações mensais; em contraste, os elevadores de carga atingiram valores próximos, 54,3 dias, comparado a prática atual de 60 dias.

Palavras chave: Programação de manutenção; sistemas reparáveis; gestão da confiabilidade.

Áreas: AD&GP - PO na Administração & Gestão da Produção; IND - PO na Indústria; OA - Outras aplicações em PO

ABSTRACT

The scheduling of maintenance plans is strongly linked to the equipment criticality, considering maintainability conditions and processing rates, so the development of these plans deals with a narrow limit between effective policies and excessive interventions. After assessing the information of failure intervals of critical equipment, represented by weighbridges and load elevators, this paper approaches a case study in a sugar logistic station that aims to provide the proper periodicity for preventive maintenance, by matching the MTBFi, MTTR and operational efficiency. At First, the Laplace Trend Test was used to verify the data distribution linearity, while the MTBF inferior limit was calculated to inform vulnerability to failures. Results revealed an oversized maintenance scheduling for weighbridges, where the time stipulated is 64.9 days, while the previous plan informed monthly actions; in contrast, the load elevators reached a close value, 54.3 days, compared to the current practice of 60 days.

Keywords: Maintenance scheduling; repairable systems; reliability management.

Áreas: AD & GP - OR in Administration & Production Management; IND - OR in Industry ; OA - Other applications in OR

1. Introdução

Há muito tempo, quando se pensava em manutenção, automaticamente se remetia a custo e à oeração da produção. Isto está atrelado ao pensamento que liga falhas e quebras de equipamentos a sua degeneração natural, sem levar em consideração os custos e perdas referentes que paradas não programadas acarretavam para os sistemas produtivos. Hoje, percebe-se o fator imprescindível que a gestão de manutenção possui no cenário extremamente competitivo. A ausência de manutenção planejada, para a maioria dos casos, reduz a vida útil dos equipamentos e a sua disponibilidade, diminuindo portanto, a carga da fábrica.

Neste sentido, Ribeiro e Mendes (2011) destacam que no ambiente operacional está no consciente coletivo que as falhas, e portanto grande parte das perdas de disponibilidade de equipamentos, estão atreladas ao desgaste natural dos equipamentos (lei de vida), contudo apenas 11% das falhas ocorrem devido a estas condições naturais. No intuito de estudar e minimizar as demais causas das perdas, políticas de gestão de manutenção são inseridas no contexto operacional. Entre as políticas de manutenção consagradas nas últimas décadas está a *Reliability Centered Maintenance* (RCM) ou Manutenção Centrada na Confiabilidade (MCC).

O RCM é definido como uma filosofia de gestão de manutenção que se debruça na confiabilidade dos equipamentos (sistemas reparáveis e irreparáveis). Busca assegurar que qualquer item físico continue a desempenhar as funções especificadas pelos seus usuários em seu atual contexto operacional. Destacam-se os esforços necessários no estudo da lei de vida de máquinas, curva de degeneração dos equipamentos e previsão das falhas por meio de cálculos probabilísticos. A análise de confiabilidade utiliza análise e métodos quantitativos no intuito de aumentar a probabilidade de um componente ou sistema físico funcionar, conforme o projetado em seu ciclo de vida e com o mínimo de manutenção necessária (MOUBRAY, 1997; FOGLIATTO, 2009; DALE, 2011).

Nas indústrias açucareiras brasileiras, a decisão da periodicidade de realização de manutenção em equipamentos classificados como sistemas reparáveis tem como aspectos determinantes os seguintes fatores: períodos de entressafra, criticidade dos equipamentos avaliada de forma empírica e disponibilidade de recursos para a manutenção. Em âmbito nacional, o aparato técnico-científico é uma realidade distante desse segmento industrial, que vem se desenvolvendo e se automatizando nos últimos anos, com o intuito de competir no mercado internacional de commodities.

Este artigo se propõe a determinar a periodicidade de manutenção planejada para equipamentos críticos de um terminal logístico de açúcar com o uso da análise de confiabilidade e do RCM. Os métodos empregados nesse estudo de caso são referentes a determinação da confiabilidade e da mensuração dos limites de controle para o tempo médio entre avarias (*Mean Time Between Failure* –MTBF). Busca-se auxiliar na tomada de decisão para evitar que sejam executadas intervenções exacerbadas, que acarretam em custos adicionais, ou insuficientes, que põe em risco o funcionamento dos equipamentos críticos, e do sistema industrial como um todo.

2. Revisão na Literatura

2.1. Gestão de Manutenção

A necessidade de acompanhamento e reparo de equipamentos, máquinas e sistemas acompanha a história da humanidade. Na Mesopotâmia, os sumérios à 2000 a.C já se preocupavam, ainda que de forma intuitiva em manter equipes de artesãos para executar consertos em ferramentas e sistemas mecânicos simples. No período das grandes navegações, as expedições possuíam pelo menos um responsável em executar pequenos reparos e atividades de emergência nas naus portuguesas e

espanholas. Nas oficinas de ofício, muitos artesões eram especializados em consertar utensílios e equipamentos, bem como realizar reparos em armas de guerras. No entanto, foi com a revolução industrial que a função manutenção se desenvolveu exponencialmente. (RIGONI, 2008; MANZINI et al, 2013; KJOLLE et al, 2012).

Fernández e Márquez (2012) definem manutenção como a combinação de todas as técnicas e ações gerenciais durante o ciclo de vida de um item, que garantam o seu pleno funcionamento para a função requerida. Para Manzini *et al* (2010), manutenção é a função que monitora e mantém instalações, equipamentos e ambientes de trabalho, vindo a arquitetar, organizar, executar e verificar o trabalho de garantir o funcionamento nominal do item durante períodos de trabalho "ti" (*uptimes*) e minimizar intervalos de parada causados por avarias ou pelos reparos resultantes. O gerenciamento de manutenção, portanto, é a gestão adequada das falhas, da disponibilidade e da performance dos ativos físicos de uma organização, de forma que funcionem conforme os requisitos esperados dentro do seu ciclo de vida.

Segundo Márquez (2007), as estratégias de manutenção são os diferentes tipos de tarefas incluindo ações, procedimentos, recursos e tempo. Estas atividades têm de ser realizadas em conformidade com os horários estabelecidos para garantir a manutenção dos ativos-alvos.

Estratégias de manutenção e planejamento podem ser atualizados adequadamente com base nos dados extraídos de *feedback* da performance dos itens. A configuração de um sistema de apoio para essas estratégias depende de muitos fatores, tais como a complexidade de tarefas de manutenção, a habilidade do pessoal, e disponibilidade das instalações, e é, portanto, um problema de gestão de manutenção com singular complexidade (MANZINI et al, 2010).

O ponto de partida é o sincronismo do controle do sistema de produção que não envolve apenas equipamentos de monitoramento, mas também a manutenção, controle, planejamento e organização, com grande número de subatividades. Além de realizar trabalhos de reparo e melhoria, a "manutenção" deve ter o seu espaço na arquitetura da gestão e no apoio à tomada de decisões na empresa. Por exemplo, isto aplica-se em peças de reposição, controle de custo, controle de qualidade e outras áreas (ASSIS, 2010).

Nesse sentido, ganharam destaque na literatura e nas organizações dois sistemas de gerenciamento da função manutenção: o TPM (*Total Productive Maintenance* ou Manutenção Produtiva Total), de origem japonesa, e o RCM (*Reliability Centered Maintenance* ou Manutenção Centrada em Confiabilidade), de origem norte-americana, este são os dois métodos que se destacam como políticas de manutenção surgidas a partir dos anos 1970 (MOAYED e SHELL, 2009).

Segundo SAE (2011), em contrapartida ao que a maioria dos autores propõem, as políticas RCM e TPM são complementares. Argumenta-se que o RCM possui características de pertinência — determina o que e o por que deve ser feito — enquanto que o TPM tem características de logística — determinando como deve ser feito. Neste contexto, Fleming (2000) destaca que “em razão da realidade do mercado atual, o qual impõe um nível de competitividade tal que a sobrevivência das empresas depende de inovações criativas, a implantação conjunta do TPM e RCM pode proporcionar um salto inovador em qualidade e produtividade por conjugar, sem prejuízos, os benefícios de ambos”.

2.2. Manutenção Centrada em Confiabilidade (*Reliability Centered Maintenance* – RCM)

O sistema de manutenção RCM é definido por Moubray (2001) como, um processo usado para determinar o que deve ser feito para assegurar que, qualquer item físico continue a desempenhar as funções requeridas pelos seus usuários em seu atual contexto operacional. Para isso, é necessário responder a sete questões básicas do item sob análise: (1) Quais são as funções e os padrões de desempenho dos itens em seu atual contexto operacional? (2) De que maneira eles falham em cumprir

suas funções? (3) Quais são as causas de cada falha funcional? (4) O que acontece quando ocorre cada falha? (5) Quais são as consequências de cada falha? (6) O que pode ser feito para prever ou prevenir cada falha? (7) O que deve ser feito se não houver nenhuma tarefa preventiva apropriada? (MENDES, 2011)

O RCM é conhecido como uma "confiabilidade desde a concepção", abordagem esta baseada e centrada em confiabilidade. Isto ocorre porque o programa visa alcançar a segurança e a confiabilidade inerente a capacidade de um equipamento ao mínimo custo. O objetivo fundamental do RCM é dar ao equipamento a oportunidade de alcançar o máximo nível de confiabilidade que seja consistente com a segurança, o ambiente e as metas operacionais, favorecendo o lucro da organização (MANZINI et al, 2010).

Nicholas e Young (2003) completam que, isto é alcançado abordando as causas básicas de falhas do sistema, mitigando-as ou prevenindo seus modos de falhas. Smith (1993), um dos precursores da aplicação do RCM na década de 1980, propunha que "o objetivo central do RCM é estabelecer um processo sistemático de análise que permita a definição de tarefas de manutenção de qualquer item físico, visando a garantia da confiabilidade e da segurança operacional ao menor custo possível". Isto é, preservar as funções do sistema, identificar os modos de falha, determinar a importância das falhas e selecionar as atividades de manutenção planejada mais eficazes e aplicáveis. Para o estabelecimento de tais objetivos, o autor propõe a aplicação de sete passos, conforme ilustrado na Figura 05:

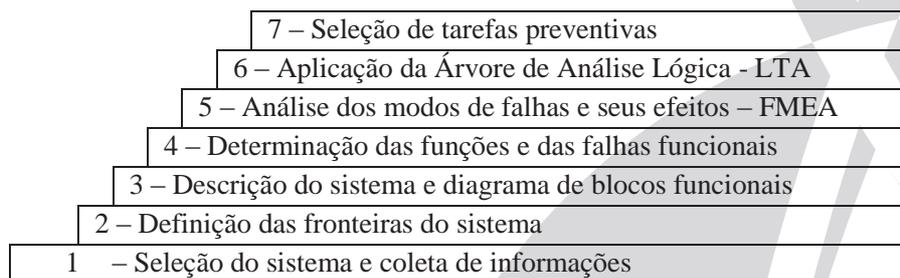


Figura 1: Os sete passos básicos para a aplicação da RCM

Fonte: Smith (1993)

Segundo Lazzaroli et al (2011) o RCM atua em diversas dimensões da gestão industrial, sobretudo no concernente a redução de custos durante o ciclo de vida (life-cycle cost) dos equipamentos. Este sistema atua diretamente ligado ao estudo e avaliação dos modos de falha de equipamentos, da capacidade (capability), isto é, funcionar regularmente com o mínimo de intervenção, e na previsão e estudo de avarias quanto a confiabilidade (reliability).

A manutenção busca assegurar a qualidade dos produtos por meio da eficiência e correto funcionamento dos equipamentos. Para garantir a qualidade pretendida, as engenharias de confiabilidade e de manutenção possuem processos e maneiras de assegurá-la sob determinado nível de confiabilidade, sob a percepção do estágio no ciclo de vida em que cada equipamento se encontra.

Biolili (2010) inter-relaciona as ferramentas básicas utilizadas no RCM com o contexto da manutenção industrial. Parte-se da análise inicial do ciclo de vida do ativo físico. A engenharia da confiabilidade, o fator humano e o suporte logístico inter-relacionados visam assegurar a qualidade pretendida para o ativo. Cada área por sua vez dispõe de técnicas e procedimentos específicos para atuar na manutenção de forma econômica e eficaz.

Portanto, o RCM serve como um guia para identificar as atividades de manutenção com as respectivas frequências, amparando os elementos mais importantes do ambiente considerado. Este sistema não é uma fórmula matemática, o seu sucesso é baseado na análise funcional e das

particularidades do cenário operacional realizada por uma equipe de revisão, cujo esforço permite a geração de um sistema de gestão de manutenção flexível, adaptado para as necessidades de manutenção real da organização (SMITH, 1993).

3. Métodos e procedimentos

A pesquisa desenvolvida é aplicada, de natureza quantitativa e se enquadra como um estudo de caso, por ser aplicada em um terminal logístico de açúcar.

Para a determinação da periodicidade dos equipamentos foram coletados dados de avaria nas máquinas críticas, mencionadas pelo gestor de manutenção do terminal de açúcar. Com os dados foi calculado o MTBF. Em seguida, os valores foram submetidos ao teste de Laplace; para então serem calculados os parâmetros da curva Weibull por verossimilhança estatística, com os quais foi possível extrair a probabilidade falha e a confiabilidade dos sistemas reparáveis. Por fim, foram comparados os resultados obtidos com a prática de manutenção atual, ponderando as perdas do processo de manutenção.

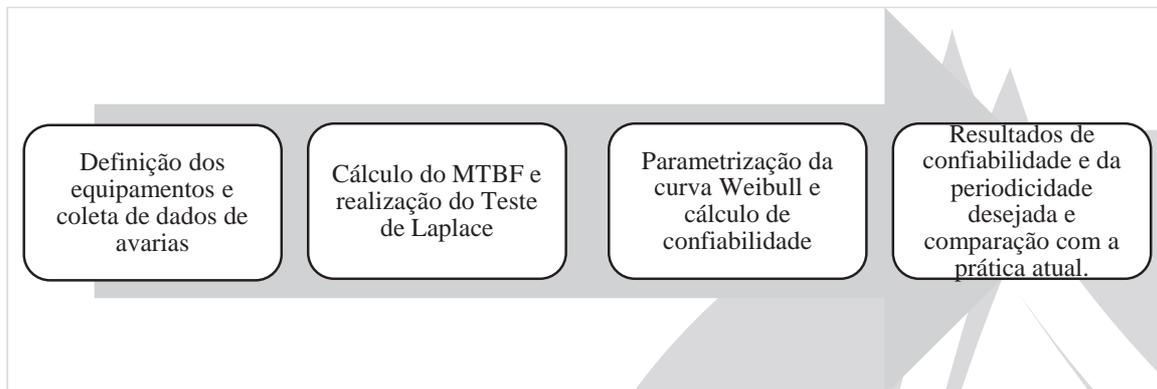


Figura 2: Plano da pesquisa. Fonte: Adaptado de Lobo (2013)

A escolha dos equipamentos para serem objetos de estudo se deu mediante a análise de criticidade, que levou em consideração:

- O valor agregado do equipamento, onde uma falha têm elevada repercussão do ponto de vista financeiro;
- A importância do equipamento para o funcionamento do processo;
- A capacidade de execução de manutenção, isto é, a manutenibilidade.

Diante desses quesitos, foram escolhidos duas famílias de equipamentos de um terminal logístico açucareiro: os elevadores de carga e as balanças rodoviárias. Esta escolha foi definida a partir dos sistemas reparáveis, isto é, equipamentos que podem sofrer reparo, mais críticos. São equipamentos que a sua parada interfere diretamente em todo funcionamento do sistema, causando prejuízos representativos ao processo produtivo.

Nesse sentido, o terminal do estudo de caso, além de servir de armazém para estocagem, tem a função de transferir açúcar refinado do modal rodoviário para o modal ferroviário. Esta característica ajuda a justificar a escolha das balanças rodoviárias, onde a sua falha provoca a paralização de uma das atividades finais do terminal; e os elevadores de carga, cuja falha provoca a paralização tanto do abastecimento de contêineres quanto da retirada de açúcar que chega ao terminal por meio de rodovias.

Os dados coletados na fonte foram os eventos em que eram abertos em ordens de serviço de manutenção no sistema da empresa. Da diferença entre a finalização da ordem de serviço e a abertura de uma nova, tem-se os tempos entre falhas, cuja estatística descritiva é apresentada na Tabela 1.

Tabela 1: Estatística Descritiva dos dados (coletados no período de 15/02/2014 à 16/03/2015)

<i>Tempo entre falhas (MTBF) (em horas)</i>		
Estatística	Elevadores de carga	Balanças Rodoviárias
Média	833,9769444	1102,285714
Erro padrão	115,3944246	139,7667972
Mediana	737,4983333	780
Desvio padrão	692,3665477	905,7923707
Variância da amostra	479371,4364	820459,8188
Curtose	2,137621156	0,606721664
Assimetria	1,595105213	1,148659675
Mínimo	88,63	144
Máximo	2887,916667	3528
Soma	30023,17	46296
Amostra (n)	36	42

Fonte: Análise da empresa objeto de estudo (2015)

3.1. Cálculo do MTBF

Assis (2010) aponta duas maneiras para se obter o MTBF, seja pela taxa de falhas λ , ou pela média de tempo entre avarias [1]. No âmbito deste trabalho é imprescindível encontrar o limite inferior para o MTBF, obtido pela taxa de falhas ($\lambda_{superior}$) a partir de uma relação com o qui-quadrado [2].

$$MTBF \equiv \frac{\text{tempo total de ensaio } (t_0)}{\text{número de avarias } N(t)} \equiv \frac{\sum_{i=1}^{n-1} \text{tempo entre avarias}}{\text{número de avarias } N(t)-1} \equiv \frac{1}{\lambda} \quad [1]$$

$$\lambda_{superior} = \frac{2t}{X_{\alpha,2.(x+1)}^2} \quad \therefore \quad MTBF_{inferior} = \frac{1}{\lambda_{superior}} \quad [2]$$

Onde:

- $X_{\alpha,2.(x+1)}^2$ refere-se ao qui-quadrado para um nível de significância α , mediante aos graus de liberdade x .

O MTBF inferior permite delimitar o momento em que um equipamento passa a estar suscetível à falha, mediante a um nível de significância (ASSIS, 2010).

3.2. Teste de Laplace (Laplace Trend Test)

O Teste de Laplace é utilizado para verificar o grau de independência dos dados e se estes são linearmente distribuídos. Aplica-se as fórmulas [3] e [4] para dados censurados, isto é, quando a amostra de dados não termina com uma falha; e para dados finalizados, quando o fim do período de amostra é marcado por uma falha, respectivamente (MOUBRAY, 2001; LOBO, 2013).

$$ET = \sqrt{12N} \cdot \left[\frac{\sum_{i=1}^N (T_i - \frac{T_0}{2})}{N \cdot T_0} \right], N \geq 4 \quad [3]$$

$$ET = \sqrt{12(N-1)} \cdot \left[\frac{\sum_{i=1}^{N-1} T_i}{(N-1) \cdot T_N} - 0,5 \right], N \geq 4 \quad [4]$$

O valor Et calculado é comparado com o Et tabelado ($E\alpha/2$), para $E\alpha/2 \rightarrow N(0,1)$.

3.3. Confiabilidade e a curva Weibull

Assis (2010) e Birolini (2010) expõem que a confiabilidade pode ser calculada a partir do enquadramento dos dados à uma distribuição de probabilidade. Para a gestão de manutenção, é usual a utilização da distribuição Weibull, uma distribuição de probabilidade, cujos parâmetros (β e η) são ajustados em decorrência dos *inputs* de falhas por meio da conjugação das fórmulas [5] e [6].

$$\frac{1}{\beta} = \frac{1}{r} \sum_{i=1}^r \ln t_i - \frac{\sum_{i=1}^r t_i^\beta \cdot \ln t_i + \sum_{j=1}^k C_j \cdot t_j^\beta \cdot \ln t_j}{\sum_{i=1}^r t_i^\beta + \sum_{j=1}^k C_j \cdot t_j^\beta} \quad [5]$$

$$\eta = \left(\sum_{i=1}^r \frac{t_i^\beta}{r} + \sum_{j=1}^k \frac{C_j \cdot t_j^\beta}{r} \right)^{1/\beta} \quad [6]$$

Onde:

- r são os dados completos de falha;
- k são dados suspensos, censurados.

Calculando os parâmetros β (forma) e η (escala), para um γ (posição), tipicamente igual a 0, pois não há deslocamento da curva. Com estes parâmetros é calculada a probabilidade de falha- $f(t)$ por meio da equação [7] para a distribuição de probabilidade (BARABADI, 2013).

$$f(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t - \gamma}{\eta} \right)^{\beta-1} e^{-\left(\frac{t - \gamma}{\eta} \right)^\beta} \quad \forall f(t); t \geq 0; \beta > 0; -\infty < \gamma < +\infty \quad [7]$$

Onde:

- β é o parâmetro de forma, conhecido também como inclinação da distribuição Weibull;
- η é o parâmetro de escala z ;
- γ é o parâmetro de posição.

4. Resultados e discussões

A empresa, objeto do estudo de caso é um terminal logístico de açúcar que transfere produto do modal rodoviário para o ferroviário além de acumular estoques de segurança para a operação da cadeia. Considerando a estratégia de liderança de custos, a eficiência operacional e eficácia dos equipamentos ganha destaque, desta forma a análise foi realizada em equipamentos críticos apontados pela empresa: balanças rodoviárias e elevadores de carga.

Os 3 elevadores de cargas e 6 balanças estudados operam em paralelo. Foi extraído o histórico de falhas de um período de 12 meses. Os dados foram submetidos ao teste de Laplace por meio das fórmulas [3] e [4], que apontaram que estes são linearmente distribuídos e independentes, conforme mostram os gráficos da Figura 4, o que permite usar a fórmula [1] para o cálculo do MTBF para os elevadores e para as balanças.

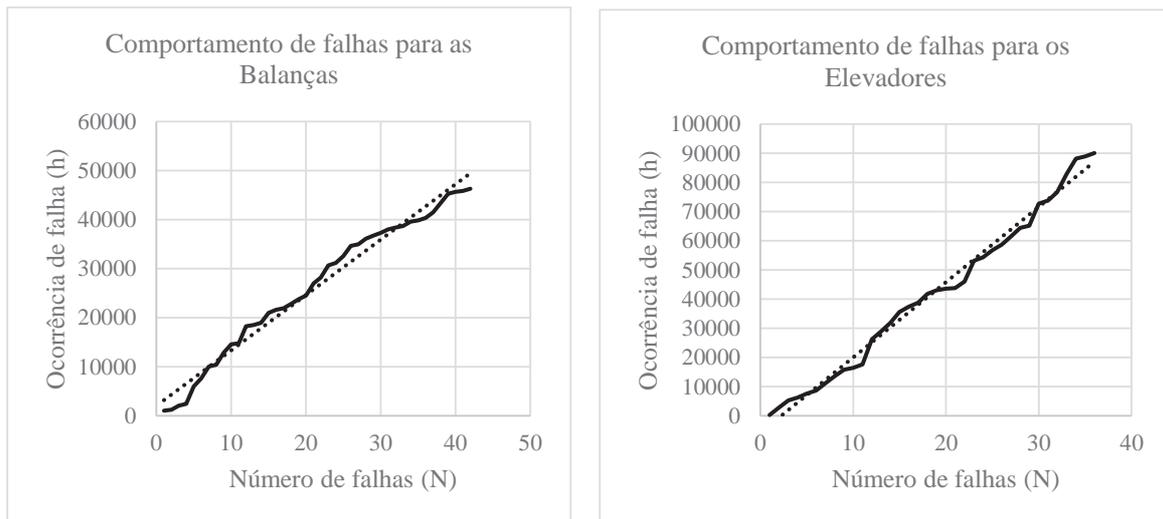


Figura 4: Comportamento de falhas de balanças rodoviárias e elevadores de carga ao longo do tempo
 Fonte: Dos autores (2015)

Os gráficos corroboram com o teste estatístico de Laplace onde $Ea/2 = -1,96$ e $Et = -10,64$ e, sendo $Et < Ea/2$, os dados apresentam um comportamento linear. Desta forma o valor de MTBF encontrado para as balanças foi de 860 h e para os elevadores de 1008 h. Aplicando a análise do qui-quadrado para encontrar os limites de controle com 95% de significância, têm-se os resultados mostrados na Tabela 2:

Tabela 2: Resultados dos limites de controle para o MTBF

Equipamentos	MTBF inferior	MTTF	MTTF superior
Elevadores de carga	651,23	860,00	1158,20
Balanças rodoviárias	779,32	1008,00	1325,56

Fonte: Dos autores (2015)

Para efeito de tomada de decisão, utilizou-se o MTBF inferior [2], pois é o momento em que o equipamento entra em um período suscetível à falhas, para 95% dos casos. Destes valores de MTBF foram descontados os tempos médios de reparação, MTTR, dos sistemas reparáveis, para se chegar a um valor de tempo para execução das manutenções preventivas desses equipamentos. Obteve-se que a verificação geral dos elevadores deve se dar a cada **54,29** dias de operação e a cada **64,94** dias para as balanças.

Destaca-se, que essa análise, pura e simples, não leva em consideração o mal uso e o acompanhamento de confiabilidade, sugere-se efetuar o acompanhamento contínuo da confiabilidade e estipular um limiar de segurança para disparar ordens de manutenção para os sistemas reparáveis.

Nesse sentido, aplicando os parâmetros obtidos para a Weibull [5] e [6] na distribuição de probabilidade [7], encontra-se a probabilidade de falha – $F(t)$ e com o seu complementar, a confiabilidade – $R(t)$, isto é, a probabilidade do equipamento estar funcionando com 95% de significância.

Tabela 3: Confiabilidade e probabilidade de falha dos equipamentos

Equipamentos	Confiabilidade - $R(t)$	$F(t)$ – prob. de falha
Elevador 1	76,71%	23,29%
Elevador 2	12,48%	87,52%
Elevador 3	62,88%	37,12%
MTBF inferior para elevadores	46,90%	53,10%
Balança 1	19,34%	80,66%
Balança 2	3,02%	96,98%
Balança 3	55,14%	44,86%
Balança 4	71,65%	28,35%
Balança 5	15,24%	84,76%
Balança 6	63,61%	36,39%
MTBF inferior para balanças	46,16%	53,84%

Fonte: Dos autores (2015)

Os resultados obtidos (Tabela 3) apontam que existem equipamentos na eminência de falhar, como o Elevador 2 e as balanças 1, 2 e 5.

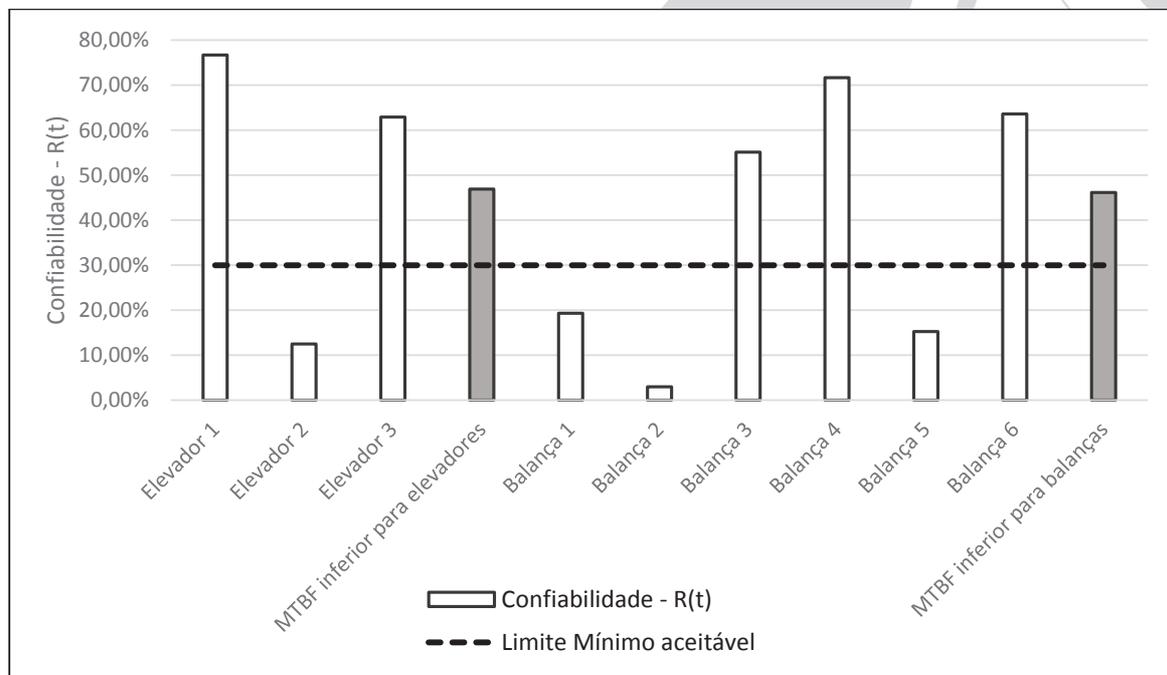


Figura 5: Comportamento de falhas de balanças rodoviárias e elevadores de carga no tempo

Fonte: Dos autores (2015)

NASA (2000) aponta que uma confiabilidade inferior a 30% entra na área de risco para sistemas reparáveis mecânicos e são indesejáveis em conjunturas industriais intolerantes (confiabilidade global do sistema superior à 90%) a quebras. Desta maneira, a proposta de manutenção preventiva pautado no MTBF inferior não permite que a confiabilidade esteja inferior à 40%, configurando-se acima dos 30% de controle (Figura 5).

5. Considerações Finais

O estudo propôs uma combinação matemática satisfatória para antever a periodicidade adequada para as intervenções de manutenção preventiva, podendo vir a reduzir perdas de produção devido à paradas de máquina programadas ou não, e também a minimizar custos da manutenção enquanto função estratégica da produção.

Diante da tratativa proposta, com a previsão sendo baseada em dados históricos, os resultados mostraram que as balanças estão recebendo vistorias em excesso, periodicidade mensal enquanto o estudo aponta para manutenção programada à cada 64,9 dias, ao passo que a periodicidade das intervenções junto aos elevadores está próximo ao valor teórico obtido, os elevadores de carga atingiram valores próximos, 54,3 dias, comparado a prática atual de 60 dias.

Na literatura, conforme apresenta Birolini (2010) e Assis (2010), o planejamento de manutenção deve ser feito mediante a análise econômica de ativos físicos, levando em consideração a sua vida útil (lei de vida) e aspectos econômico-financeiros de depreciação. Este estudo trás uma abordagem complementar, pois se debruça sobre os equipamentos críticos, aqueles cuja falha traria enormes perdas ao processo produtivo como um todo

A delimitação da pesquisa não leva em consideração as restrições orçamentárias, uma vez que foi desenvolvido apenas para os equipamentos extremamente críticos do terminal de açúcar. Como perspectiva para estudos futuros, idealiza-se a realização de um estudo com aplicação dos conceitos de programação linear para apoio à Gestão da Manutenção ao introduzir restrições orçamentárias na tomada de decisão da manutenção para extrapolar a análise para os demais sistemas reparáveis, não apenas os críticos.

6. Referências

- Assis, Rui.** Apoio à decisão em Manutenção na Gestão de Activos Físicos. Lisboa: Lidel, 2010.
- Barabadi, Abbas.** Reliability model selection and validation using Weibull probability plot: A case study. *Journal Electric Power Systems Research* (pg 96–101), 2013.
- Birolini, Alessandro.** Reliability Engineer. Springer Science, 2010.
- Dale, B. G. Ireland, F.** A study of total productive maintenance implementation. Manchester School of Management. P. 183. Manchester, UK:2011.
- Fernández, Juan F. G., Marquez, Adolfo C.** Maintenance Management in Network Utilities : Framework and Practical Implementation. Springer Series in Reliability Engineering. ISSN 1614-7839. UK: London, 2012.
- Fogliatto, F. S.; Ribeiro, J. L. D.** Confiabilidade e manutenção industrial. São Paulo: Campus - Elsevier, 2009.
- Lobo, Bernardo S B.** Gestão de Manutenção. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. Portugal: Porto, 2013.
- Kjolle ,G.H., Utne I.B., Gjerde ,O.** Risk analysis of critical infrastructures emphasizing electricity supply and interdependencies, *Reliability Engineering & System Safety* 105, 2012.

Lazzaroni, M., Cristaldi, I., Rinaldi, P., Catelani, M., Peretto, I. Reliability Engineering - Basic concepts and Applications in ICT. Índia: Chennai, Inc., 2011

Manzini, R, Regattieri A, Pham H. e Ferrari, S. Maintenance for Industrial Systems. Springer Series in Reliability Engineering. ISSN 1614-7839. UK: London, 2010.

Marquez, Adolfo C. The maintenance management framework: models and methods for complex systems maintenance. Springer Series in Reliability Engineering series, ISSN 1614-7839. UK: London, 2007

Mendes, Angélica Alebrant; Ribeiro, José Luis Duarte. Um estudo do suporte quantitativo necessário para a operacionalização da MCC. Prod., São Paulo, v. 21, n. 4, 2011. Available from <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-65132011000400004&lng=en&nr_m=iso>. access on 07 Mar. 2014. Epub June 17, 2011. <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-65132011005000032>.

Moayed, F.A., Shell, R.L. Comparison and evaluation of maintenance operations in lean versus non-lean production systems. Journal of Quality in Maintenance Engineering, v. 15, n.3, p. 285-296, 2009.

Moubray, John. Reliability-centered maintenance. New York: Industrial Press, 1997. Revisão da 2ª Edição de 2001

Nasa. Reliability Centered Maintenance: Guide for facilities and collateral equipment. Washington, EUA: 2000

Nicholas, J., and Young, R. Keith. “Predictive Maintenance Management”, Maintenance Quality Systems LLC, 1st Edition, ISBN 0-9719801-3-6. 2003.

Rigoni, Emerson. Metodologia para implementação da manutenção centrada em confiabilidade: Uma abordagem fundamentada em Sistemas Baseados em Conhecimento e Lógica Fuzzy. Tese de doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica da Universidade federal de Santa Catarina, 2008.

SAE – JA1012. A guide to the reliability centered maintenance (RCM) standard. Society of Automotive Engineers, 2002. Revisão em 2011.

Smith, Anthony M. Reliability-Centered Maintenance. USA: McGraw-Hill, Inc., 1993.