

DO TRATAMENTO DE PERDAS À CONTABILIZAÇÃO DOS GANHOS: A GESTÃO DA CONFIABILIDADE SOB UMA ÓTICA HOLÍSTICA

Prof. Me André Luís de Campos Covello

Professor do curso de Engenharia da Faculdade Praia Grande (FPG), Praia Grande, São Paulo, Brasil

Resumo: De uma forma geral, as aplicações da engenharia da confiabilidade ao redor do mundo são relativamente recentes. Devido a isto, não se pode dizer que há atualmente um fluxo de trabalho consagrado para se obter os melhores resultados. O presente trabalho pretende demonstrar uma proposta para o processo de gestão da confiabilidade sob uma visão holística, iniciando pela gestão de perdas, passando pelas etapas de análise de falhas, análise de dados de vida, análise RAM, análise de viabilidade econômica, análise de crescimento da confiabilidade e contabilização dos ganhos reais para a companhia. Para ilustrar esta visão, é apresentado o caso do soprador B-6605, instalado no complexo industrial 1 da Yara Fertilizantes em Cubatão - SP, que apresentava uma quantidade expressiva de falhas no sistema de transmissão. Estas falhas foram analisadas e a proposição de melhorias no equipamento foi suportada por meio de análises de dados de vida e análise RAM, onde foi possível projetar o seu *payback*, calculado em 1,45 anos. Por fim, passado aproximadamente um ano e meio da implementação das melhorias propostas, foi realizada uma análise de crescimento da confiabilidade, indicando um incremento no MTBF em 338,5 dias devido ao modo de falha analisado e então os ganhos reais foram contabilizados, apresentando redução de 88% do custo médio anual gerado pelo equipamento.

Palavras-Chave: Engenharia de Confiabilidade; Análise RAM; Análise de Crescimento da Confiabilidade

Abstract: In a general way, the applications of the reliability engineering around the world are relatively recent. Because of this, we can not say that there is a definitive workflow to obtain the best results. This work aim to show a propose to the flow of management of the reliability under a holistic view, beginning by the loss accounting, going through the failure analysis step, life data analysis, RAM analysis, economic feasibility, reliability growth analysis and the accounting of the real gains for the company. To illustrate this vision, it is showed the business case of the blower B-6605, installed on the industrial complex 1 of Yara Fertilizers in Cubatão – SP. This blower had a expressive quantity of failures on its transmission system. These failures were analyzed and some improvements were recommended, using life data analysis and RAM analysis. So, it was possible to project the payback, stipulated in 1,45 years. To sum up, past approximately 1,5 years of the implementation of the proposed improvements, a reliability growth analysis was done, indicating an increment on MTBF of about 333,5 days because of the failure mode analyzed, so, the real gains were accounted, showing 88% of reduction on the average annual cost of this equipment.

Keywords: Reliability Engineering; RAM Analysis; Reliability Growth Analysis

INTRODUÇÃO

O conceito de confiabilidade é relativamente recente. A primeira utilização do termo “confiabilidade” que se conhece, foi cunhada pelo poeta Samuel Taylor Coleridge, em 1816. Anteriormente à segunda guerra mundial, a palavra “confiabilidade” era atribuída ao conceito de repetibilidade. O conceito moderno foi atribuído pelas forças armadas dos Estados Unidos da América na década de 40, como sendo “a probabilidade de um item executar, sem falhas, uma certa missão, sob certas condições, durante um determinado período de tempo” (DUEK, et al., 2003).

Uma das primeiras aplicações da confiabilidade está relacionada ao telégrafo. Este equipamento era alimentado por baterias com um sistema simples de transmissores e receptores conectados por cabo e os seus principais modos de falha eram cabo quebrado ou tensão insuficiente. Não houve muitas aplicações relacionadas a equipamentos eletrônicos desde a invenção da lâmpada, do telefone e da geração e distribuição de corrente alternada até que surgiu a invenção dos rádios valvulados, por volta de 1915. Os automóveis começaram a se tornar mais populares por volta de 1920, trazendo consigo aplicações de confiabilidade para componentes mecânicos. Ainda nos anos 20, o Dr. Walter A. Shewhart, americano conhecido como o pai do controle estatístico de qualidade, realizou melhorias de produto baseado em controle estatístico nos laboratórios Bell (ASQ, 2018).

No Brasil, nota-se que há aplicações mais expressivas da engenharia da confiabilidade após o ano 2000, com aplicações em projetos, desenvolvimento de produto, manutenção, processos entre outros.

O presente trabalho pretende demonstrar uma abordagem do processo de gestão da confiabilidade aplicada ao processo produtivo sob uma visão holística, iniciando pela gestão de perdas, passando pelos processos de análise de causa raiz, análise de dados de vida, análise RAM, análise de viabilidade econômica,

análise de crescimento da confiabilidade e contabilização dos ganhos reais para a companhia.

Para ilustrar esta visão, é apresentado o caso de um soprador axial de ar, instalado no complexo industrial 1 da Yara Fertilizantes, em Cubatão – SP, que apresentava uma quantidade expressiva de falhas no sistema de transmissão. Estas falhas foram analisadas e a proposição de melhorias no equipamento foi suportada por meio de análises de dados de vida e análise RAM, onde foi possível projetar o seu *payback*, calculado em 1,45 anos. Por fim, passado aproximadamente um ano e meio da implementação das melhorias propostas, foi realizada uma análise de crescimento da confiabilidade, indicando um incremento no MTBF em 221 dias devido ao modo de falha analisado e então os ganhos reais foram contabilizados, apresentando redução de 88% do custo médio anual gerado pelo equipamento.

ENGENHARIA DA CONFIABILIDADE

A necessidade de produzir produtos engenheirados para que sejam confiáveis é indiscutível. O consumidor comum sofre com problemas de confiabilidade em TVs, automóveis e aparelhos domésticos. Organizações sofrem com custos da falta de confiabilidade de seus ativos físicos industriais. Empresas de manufatura pagam caro pelas falhas de seus produtos antes do período de garantia.

A visão mais simplista nos leva a realizar vistorias nos produtos, confrontando uma série de requisitos de projeto, que muitas vezes dizem respeito à requisitos de desempenho que independem do tempo. A partir do momento em que o consumidor aceita o produto, aceita também que o item pode falhar em algum momento futuro (O'CONNOR, et al., 2012).

A definição de se as falhas irão acontecer e quando irão ocorrer é raramente determinada de forma precisa, portanto diz-se que a confiabilidade é uma área da engenharia da incerteza. Se um item irá desempenhar a sua função por um determinado período é uma questão que pode ser respondida em termos de probabilidade, através da seguinte definição de confiabilidade (DUEK, et al., 2003; O'CONNOR, et al., 2012):

“A probabilidade de um item executar, sem falhas, uma certa missão, sob certas condições, durante um determinado período de tempo”

As principais atribuições da engenharia da confiabilidade são, em ordem de importância (O'CONNOR, et al., 2012):

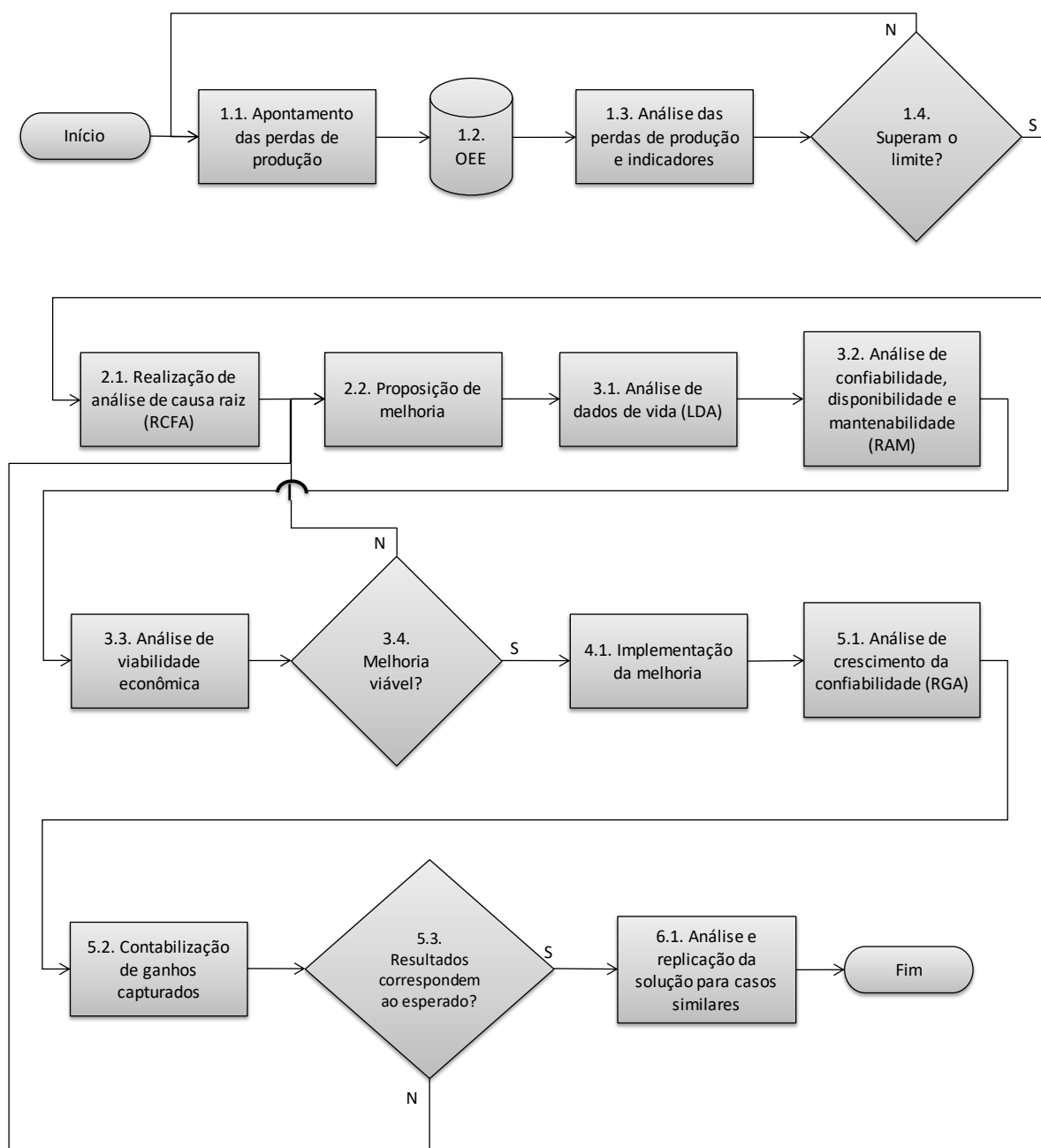
1. Aplicar o conhecimento de engenharia e técnicas especializadas para prevenir ou reduzir a probabilidade ou a frequência de falhas.
2. Identificar e corrigir as causas de falhas que ocorrem, apesar dos esforços para preveni-las.
3. Determinar maneiras de lidar com falhas que ocorrem, se as suas causas não foram corrigidas.
4. Aplicar métodos para estimar a confiabilidade provável de novos projetos e analisar dados de vida.

Como se pode observar, a falta de confiabilidade gera grandes problemas, tanto ao consumidor comum, quanto para empresas de diversos portes.

O processo de gestão da confiabilidade demonstrado na figura 1, propõe-se a cobrir principalmente as atribuições 1, 2 e 4 propostas por O'CONNOR, et al., 2012.

As etapas deste processo foram separadas por grupos identificados pelo início da sua numeração, em que:

Figura 1 – Processo de gestão da confiabilidade



1. Gestão de perdas produtivas;
2. Análise de causa raiz;
3. Análise da viabilidade;
4. Implementação;
5. Medição e análise dos resultados;
6. Replicação.

GESTÃO DAS PERDAS PRODUTIVAS

Nesta etapa, são realizados os levantamentos das perdas ocorridas no processo produtivo, o que geralmente é realizado pelo operador. Estas perdas devem ser classificadas de acordo com a sua natureza (Ex. Parada programada para manutenção, parada por falha de equipamento, parada por baixa demanda de mercado, etc.).

As perdas ocorridas irão gerar as frações do indicador de eficiência global dos equipamentos, conhecido mundialmente por OEE – Overall Efficiency Equipment, que são (VORNE, 2018):

- Disponibilidade;
- Desempenho;
- Qualidade.

Tanto o OEE, quanto as suas frações e os valores singulares de perdas de produção devem ser analisados de forma a se obter parâmetros para definir quais perdas possuem maior relevância e devem ser tratadas com maior prioridade.

Os valores de perda de produção acima de um determinado limite, por exemplo, devem ser tratados e quando houver mais de uma perda que ultrapassou este limite, utiliza-se como critério de desempate, a falha que gerou maior indisponibilidade ou falhas que ocorrem de forma sistêmica.

ANÁLISE DE CAUSA RAIZ

Após ter definido quais eventos de perda de produção deverão ser tratados, inicia-se a etapa de definição da causa raiz de cada perda. Desta forma, as ocorrências com maiores impactos devem ser reduzidas gerando um ciclo de melhoria contínua no processo de gestão da confiabilidade.

Atualmente existem diversos métodos que são utilizados para realizar análises de falha, sendo que o PROACT é o principal, desenvolvido para uma abordagem sistemática de solução de problemas e prevenção de riscos, porém pode-se utilizar outros métodos, como MASP, FTA, Ishikawa, etc., contanto que a causa das falhas sejam determinadas da maneira mais precisa possível, evitando a sua recorrência (Reliability Center Inc., 2018).

Uma das etapas de maior importância da etapa de análise de causa raiz é a proposição de melhorias. Nesta etapa são definidas as medidas que serão tomadas para evitar que a perda de produção volte a ocorrer pelo mesmo modo de falha. Esta etapa deve ser elaborada de forma minuciosa, envolvendo profissionais de diversas áreas, de forma a garantir que as medidas serão definidas de forma madura e com exequibilidade.

ANÁLISE DA VIABILIDADE

Nesta etapa do processo, ocorre a verificação da viabilidade técnica e econômica das melhorias propostas. Para isto, inicia-se realizando as análises de dados de vida (Life Data Analysis – LDA), tanto do item atualmente utilizado quanto do item proposto na melhoria. Os dados de vida do item proposto podem ser obtidos com o fornecedor do item, através de ensaios quantitativos acelerados ou ainda podem ser estimados baseados em normas.

As LDAs servirão como base para realizar as simulações de confiabilidade, disponibilidade e manutenibilidade (RAM – Reliability, Availability and Maintainability). Através das simulações da análise RAM, é possível definir o melhor leiaute da instalação do novo item proposto, de forma a maximizar a confiabilidade do sistema. Como resultado, obter-se-á a previsão de custos futuros do sistema, que serve como base para determinação do valor presente líquido, fluxo de caixa e análise de *payback*.

Após a realização destas análises, é possível determinar se as melhorias propostas são ou não viáveis. Caso haja viabilidade, parte-se para a implementação, caso não haja, volta-se a propor novas melhorias.

IMPLEMENTAÇÃO

A implementação das melhorias propostas deve ocorrer seguindo os requisitos definidos nas etapas 2.2 à 3.4. É importante que, dentre estes requisitos, esteja especificada a confiabilidade requerida do item a ser melhorado, trazendo assim maior segurança de que os ganhos projetados serão alcançados.

MEDIÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Esta etapa consiste em inicialmente realizar a análise do crescimento da confiabilidade (RGA – Reliability Growth Analysis), de forma a verificar se houve aumento ou queda no tempo médio entre falhas do item indicando se houve melhoria (HBM Prensia Inc., 2018).

Esta análise geralmente é realizada de duas formas: A primeira consiste em utilizar apenas dados do modo de falha e do item que foi alterado, a segunda consiste em uma análise global, considerando todos os modos de falha e itens do equipamento afetado. Desta forma pode-se verificar se o impacto da alteração realizada resultou em uma melhoria significativa dentre todos os modos de falha do equipamento.

Por último, pode-se fazer uma análise dos custos reais, comparando-se com o período anterior à implementação da melhoria proposta. A redução de custos real deve estar coerente com a redução projetada.

Vale aqui ressaltar que, para que haja maturidade suficiente dos resultados, é preciso aguardar um determinado tempo após a implementação da mudança. Não é possível estipular um prazo fixo para que ocorra esta maturação dos dados, pois este prazo depende da natureza da alteração proposta. Enquanto algumas melhorias podem trazer resultados em curto prazo, outras conseguem gerar o retorno em médio ou longo prazo. Este prazo pode ser definido durante a etapa de análise de viabilidade.

REPLICAÇÃO

Para os casos em que os resultados projetados foram obtidos ou superados, deve-se neste momento realizar a análise para replicação em casos com problemas similares, quando for aplicável.

CASO DO SOPRADOR AXIAL DE AR E RESULTADOS

De forma a ilustrar a visão demonstrada no fluxograma da figura 1, será apresentado o caso do soprador axial de ar, B-6605, instalado no complexo industrial 1 de Cubatão – SP da Yara Fertilizantes (Figura 2).

Figura 2 – Soprador axial de ar B-6605

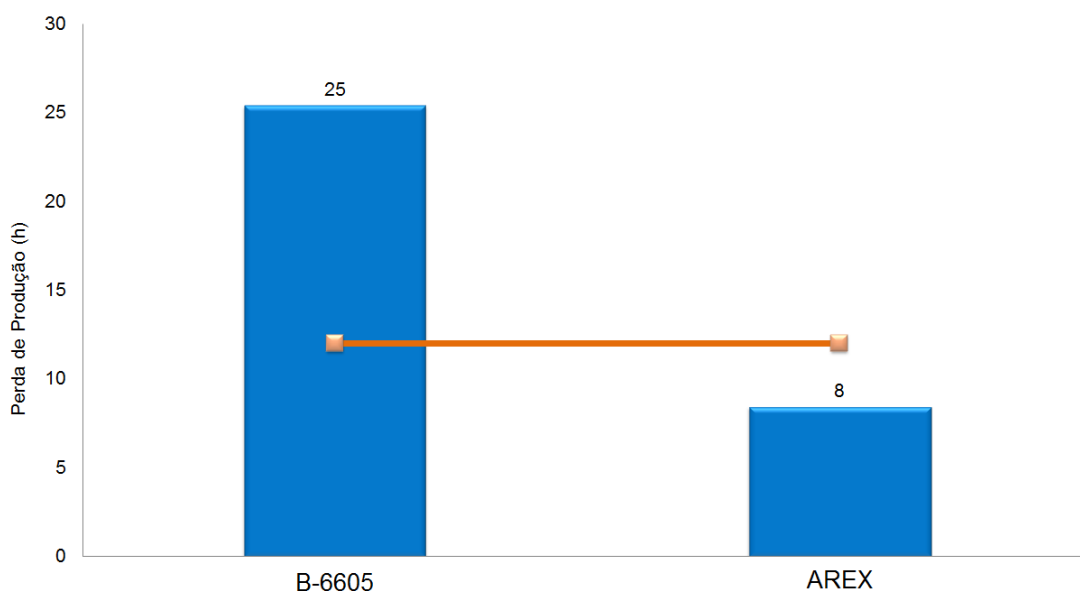


Neste complexo industrial, os dados de perda de produção são reportados diariamente e mensalmente são analisados por uma equipe multidisciplinar para se tomar a decisão sobre quais estudos priorizar. Em maio de 2014, o perfil de perdas de produção de uma determinada unidade de produção foi o demonstrado na figura 3.

Neste gráfico, as colunas azuis representam as perdas de produção reais da unidade, enquanto a linha laranja representa o limite admissível de perdas de

produção. Desta forma, no mês de maio de 2014, foi priorizado realizar a análise de causa raiz do evento de perda ocasionado pelo soprador B-6605.

Figura 3 – Perfil de perdas da unidade de produção de nitrato de amônio em maio de 2014



A análise de falha foi realizada através da metodologia PROACT, em que é elaborada uma árvore lógica de falhas e todas as hipóteses são verificadas para validação.

A figura 4 demonstra a árvore lógica elaborada para a análise de causa raiz do evento ocorrido com o soprador, que teve como modo de falha “ruptura das correias de transmissão”.

Pode-se notar que as causas prováveis que levaram à ocorrência da falha são:

1. Projeto inadequado da transmissão;
2. Desgaste acentuado nas polias.

As melhorias propostas para eliminar estas causas, estão descritas na tabela 1. No momento da proposição das melhorias, foi realizada a análise de viabilidade técnica, por uma equipe multidisciplinar.

Figura 4 – Árvore lógica de falhas

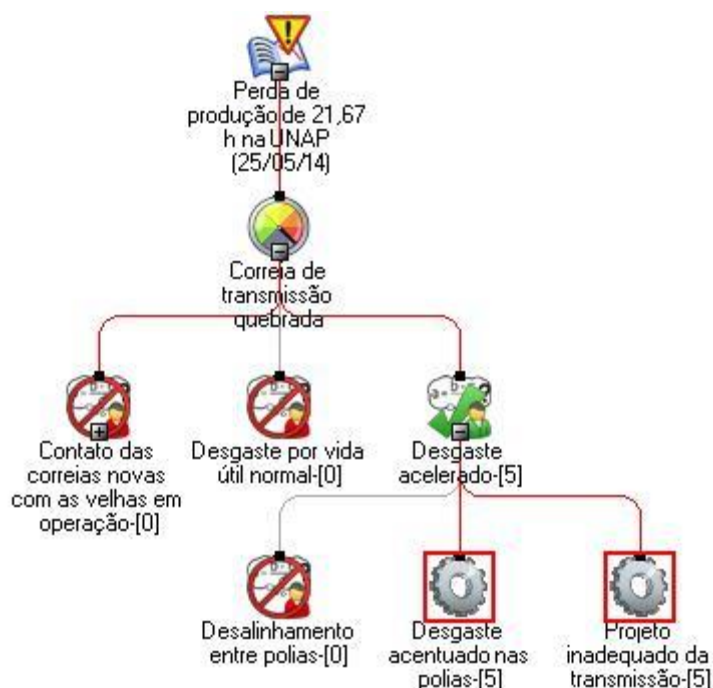


Tabela 1 - Plano de ações recomendadas

Causa	Recomendação	Prazo
Desgaste acentuado nas polias	Substituir as polias da transmissão do soprador B-6605.	31/12/2014
Projeto inadequado da transmissão	Redimensionar e cadastrar as polias de transmissão do soprador B-6605 de forma a possuírem 5 canais.	30/11/2014
Projeto inadequado da transmissão	Adquirir e instalar os componentes do sistema de transmissão conforme estudo realizado para adequação.	30/03/2015

O histórico de manutenção do equipamento foi analisado no período de 01/01/2000 à 31/05/2014, de forma a separar todos os dados de falha por componente e por modo de falha. Com estes dados, foi possível gerar as curvas de probabilidade de falha do soprador, conforme demonstra o exemplo da figura 5, através do método de LDA. Estas curvas foram geradas para todos os modos de falha que possuem histórico de ocorrência.

As curvas de probabilidade de falha foram então utilizadas para realizar as simulações de confiabilidade, disponibilidade e manutenibilidade (RAM). As figuras 6 e 7 demonstram os diagramas de blocos de confiabilidade utilizados

para simular o conjunto motor-soprador, o seu subsistema e o estoque de nitrato de amônio.

Os riscos atribuídos a este sistema foram inseridos em dois diferentes cenários, o primeiro contém os dados obtidos através das curvas de confiabilidade e manutenibilidade modeladas com os dados de falha utilizando os componentes originais. O segundo cenário foi elaborado considerando dados de falha do sistema de transmissão proposto a ser modificado. Estes dados foram obtidos através de contato com o fornecedor dos componentes do sistema.

Figura 5 – Probabilidade de falha devido a ruptura das correias do soprador com limite de confiança bilateral de 90%

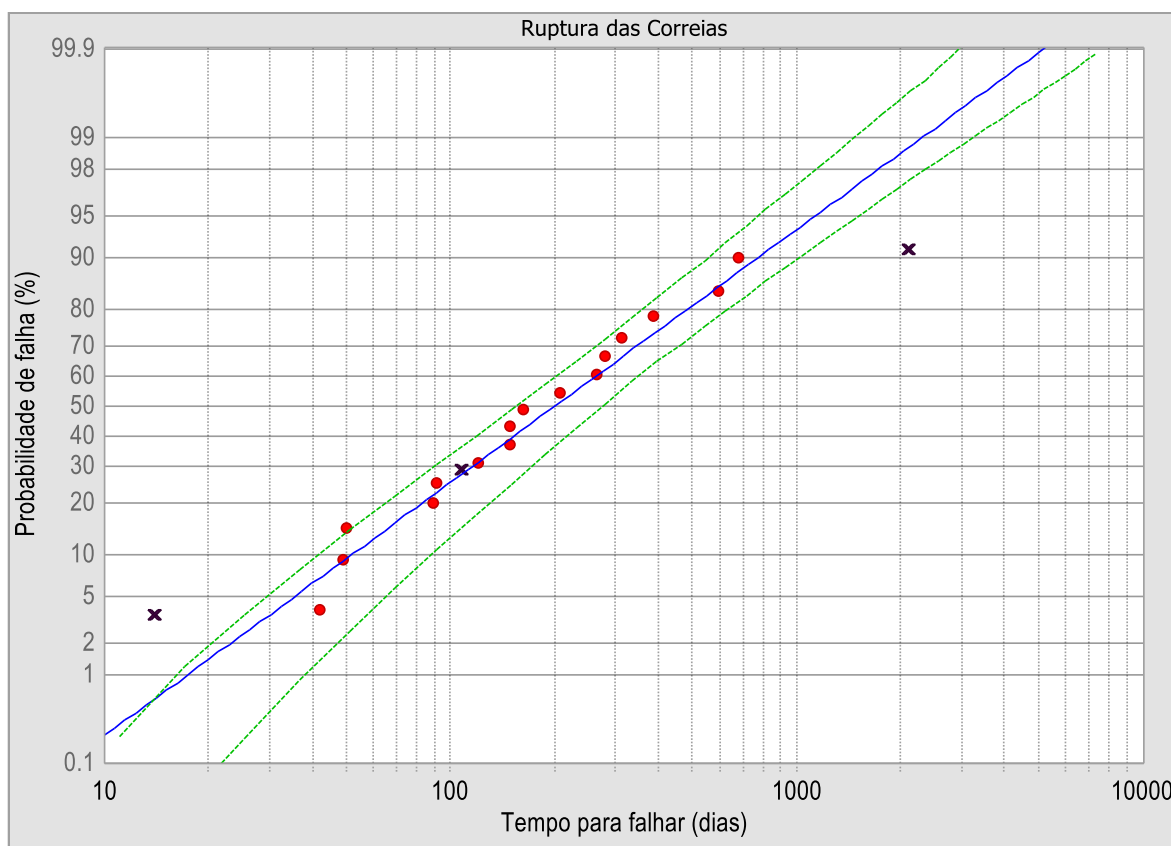


Figura 6 – Diagrama de blocos do soprador B-6605

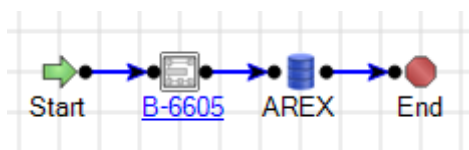
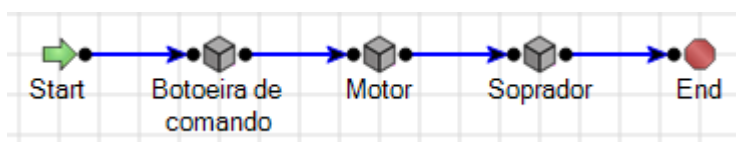
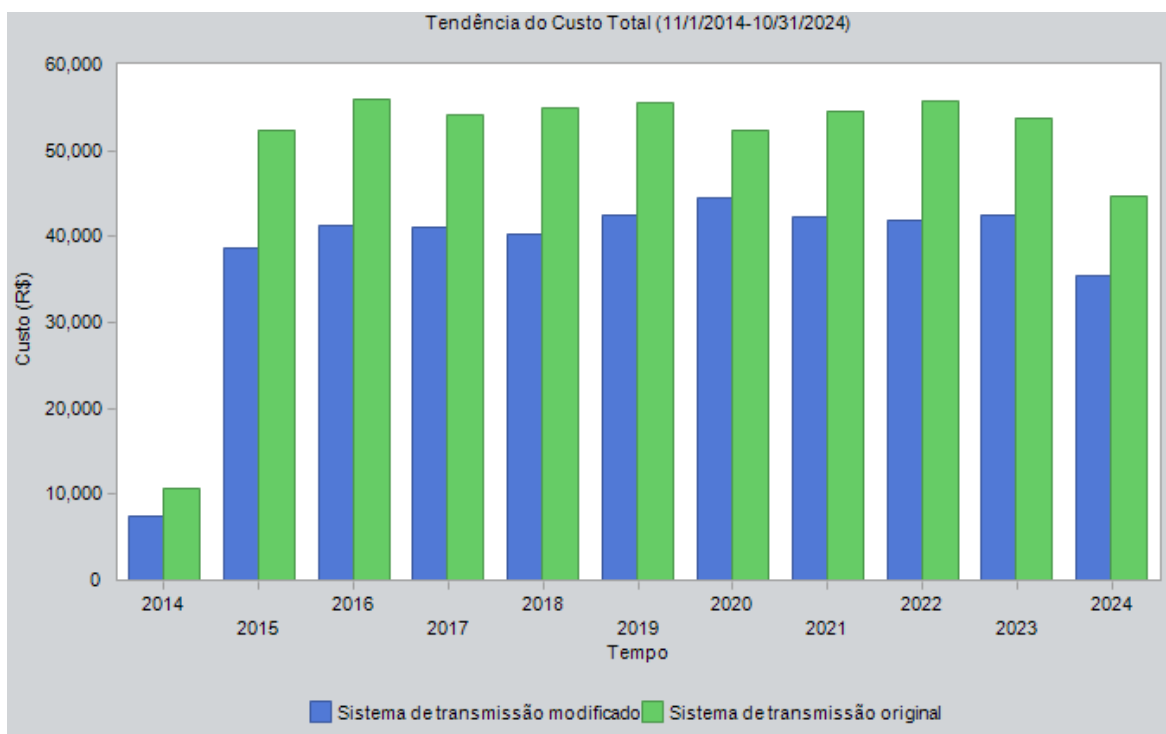


Figura 7 – Diagrama de blocos do subsistema do soprador B-6605



Como principal resultado da análise RAM, foi possível obter os custos previstos para cada cenário, por ano em uma visão de 10 anos, conforme demonstra a figura 8. É importante ressaltar que nesta visão de custo total, está englobado tanto o custo de manutenção quanto o custo da perda de produção, considerando os estoques disponíveis.

Figura 8 – Custo total por ano



Através do custo total previsto por ano e dos parâmetros indicados na tabela 2, foi possível determinar o fluxo de caixa para a proposta de melhoria do sistema de transmissão do soprador.

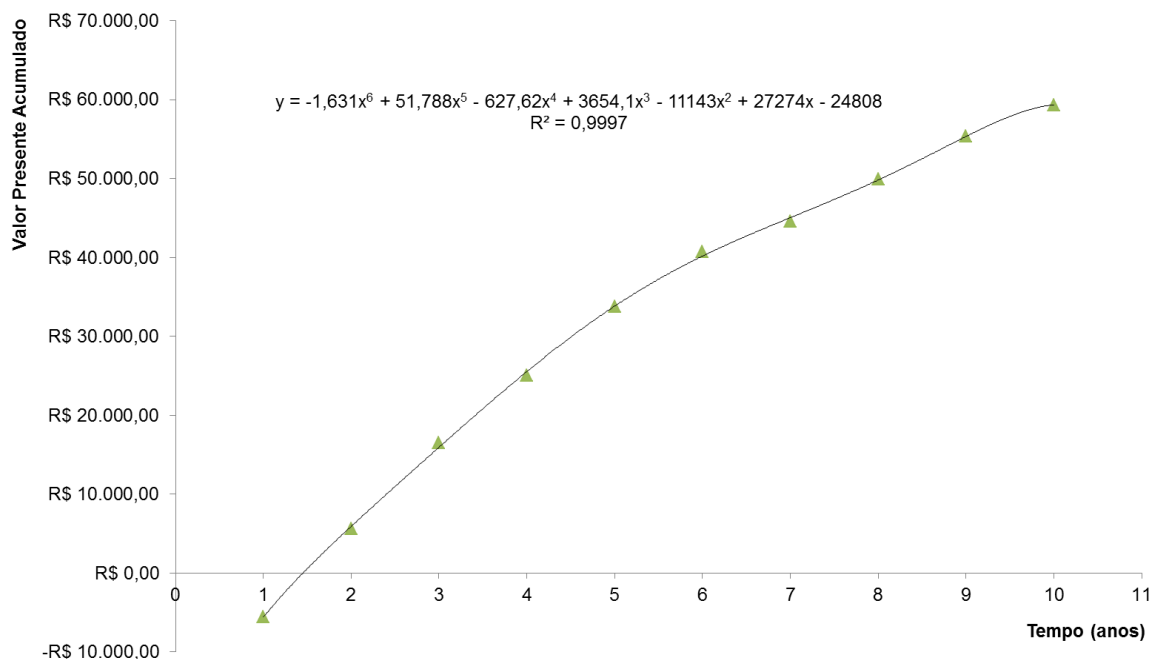
Tabela 2 – Parâmetros adotados para análise de viabilidade do investimento

Parâmetro	Valor
Taxa mínima de atratividade	11%
Polia trapezoidal 5 canais 120 mm	R\$ 315,47
Polia trapezoidal 5 canais 160 mm	R\$ 266,89
5 correias de transmissão 3V750	R\$ 90,60
Mão de obra para instalação	R\$ 7.949,00

A equação demonstrada no gráfico da figura 9, representa o valor presente acumulado em Reais em função do tempo em anos, com coeficiente de determinação (R^2) igual a 0,9997, demonstrando o bom ajuste do modelo matemático. Segundo SHIMAKURA, 2006, quanto mais próximo de 1 for o coeficiente de determinação, melhor o modelo representa os dados experimentais.

Através deste modelo matemático, é possível determinar o tempo de *payback*, determinando a raiz da equação.

Figura 9 – Fluxo de caixa devido a alteração no sistema de transmissão do B-6605



Desta forma, o *payback* previsto para esta melhoria é em torno de 1,45 anos e foi considerada viável para ser implementada.

Em 2016, as novas polias e correias foram instaladas no equipamento, conforme o estudo realizado. Em 2018 foi realizada a análise de crescimento da confiabilidade (RGA) para verificar se as mudanças realizadas no equipamento acarretaram em melhorias.

A figura 10 demonstra a probabilidade de falha em função do tempo, considerando todos os modos de falha do soprador desde janeiro de 2000 à janeiro de 2018. A figura 11 demonstra a tendência do MTBF considerando estes mesmos dados. Pode-se notar que há uma tendência de crescimento do MTBF, indicando que há também um aumento na confiabilidade do equipamento. Em 2016 o MTBF do equipamento estava em torno de 88 dias, enquanto atualmente encontra-se em torno de 92 dias.

As figuras 12 e 13 demonstram os mesmos gráficos, porém com dados restritos aos modos de falha ruptura e desgaste das correias de transmissão e polias. Através destas figuras, pode-se notar a nítida melhora do MTBF, e consequente confiabilidade, a partir de 2016, ano de implementação da mudança no sistema de transmissão. Observando especificamente os modos de falha relacionados ao sistema de transmissão, o MTBF em 2016 encontrava-se em 49,5 dias e atualmente encontra-se em torno de 388 dias, o que representa um aumento de 338,5 dias, ou 684%.

Figura 10 – Probabilidade de falha em função do tempo para todos os modos de falha do soprador

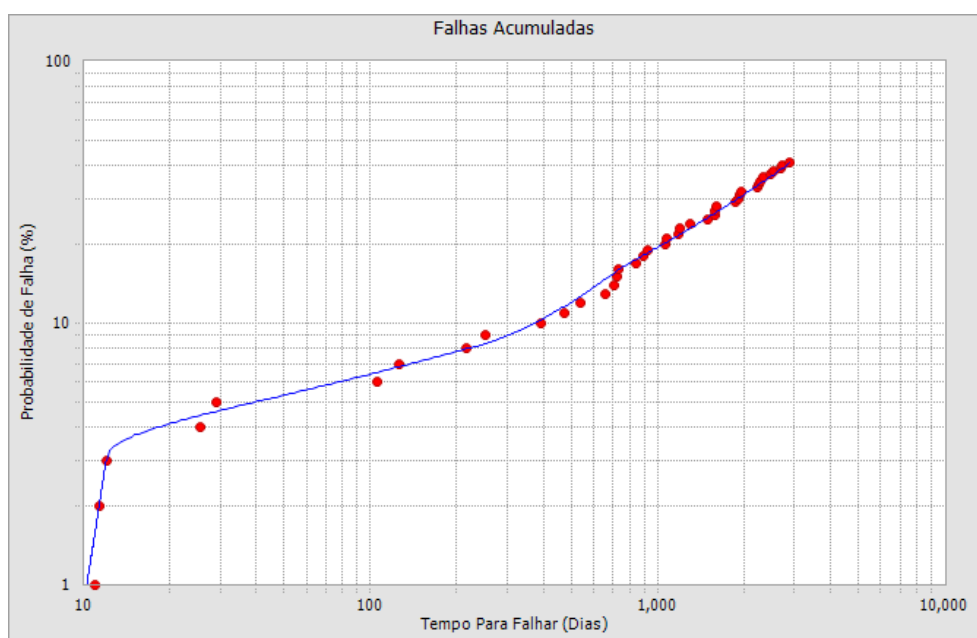
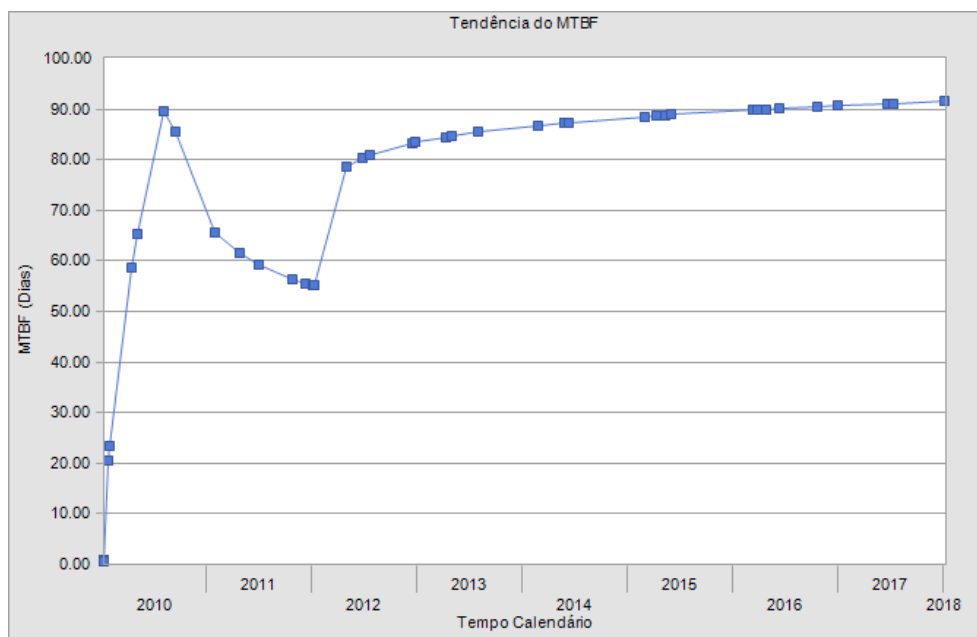


Figura 11 – Tendência do MTBF para todos os modos de falha do soprador



O custo médio anual antes e após as melhorias realizadas foram capturados através dos sistemas ERP e de gestão de perdas produtivas da companhia e representam uma redução anual de custos de 88%, em média. Esta redução comprova que a melhoria planejada foi realizada com êxito na prática.

Atualmente este projeto está sendo replicado para os demais sopradores da unidade produtiva em questão.

Figura 12– Probabilidade de falha em função do tempo para os modos de falha ruptura e desgaste excessivo das correias de transmissão e polias

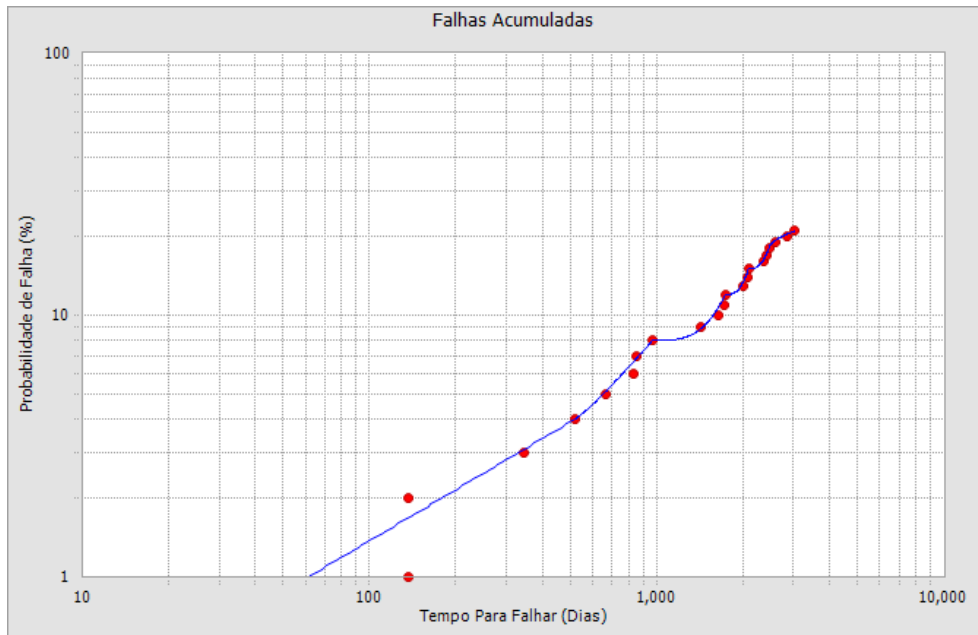
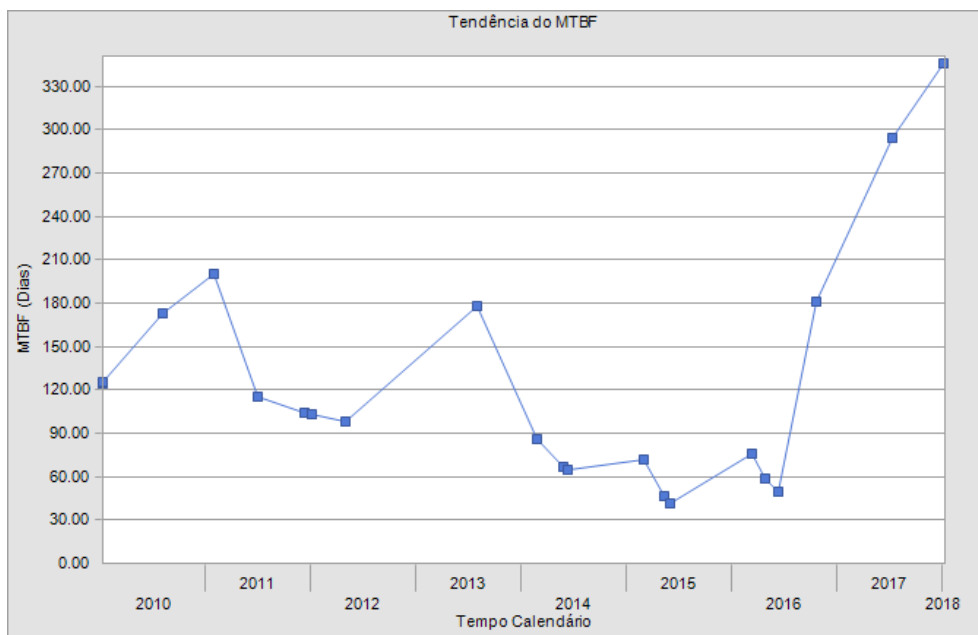


Figura 13 – Tendência do MTBF para os modos de falha ruptura e desgaste excessivo das correias de transmissão e polias



CONCLUSÃO

Foi apresentado um processo de gestão da confiabilidade de ativos físicos industriais que garante a gestão sob uma ótica holística, iniciando pela detecção das oportunidades e ameaças que devem ser priorizadas, passando pela detecção da causa raiz dos modos de falha mais relevantes, realizando a análise de viabilidade técnica-econômica, implementação, medição e análise dos resultados e por fim a replicação quando aplicável.

O caso demonstrado, do soprador axial B-6605 ilustra esta visão, demonstrando como este processo de gestão pode trazer bons resultados. Dois anos após as melhorias detectadas na análise de causa raiz terem sido implementadas, a análise de crescimento da confiabilidade demonstrou que o MTBF está com tendência crescente, demonstrando aumento da confiabilidade. Observando o crescimento da confiabilidade de todos os modos de falha, houve um aumento de 88 para 92 dias, enquanto que para a análise dos modos de falha relacionados ao sistema de transmissão apenas, o aumento foi de 49,5 para 388 dias.

REFERÊNCIAS

ASQ. 2018. **History Of Reliability Engineering**. ASQ - Reliability & Risk Division - The Global Voice Of Quality. [Online] ASQ, 2018. [Citado em: 12 de Junho de 2018.] <https://www.asqrd.org/home/history-of-reliability/>.

DUEK, Carlos e ROSA, Leandro Cantorski. 2003. **Engenharia da confiabilidade aplicada à aviação: uma abordagem, do projeto à operação**. 2003.

HBM PRENSCIA INC. 2018. **Reliability Growth Analysis An Overview of Basic Concepts**. Weibull.com. [Online] Weibull.com, 2018. [Citado em: 15 de Junho de 2018.] <http://www.weibull.com/basics/growth.htm>.

O'CONNOR, Patrick D. T. e KLEYNER, Andre. 2012. **Practical Reliability Engineering**. Chichester : John Wiley & Sons, Ltd., 2012. ISBN 978-0-470-97982-2.

RELIABILITY CENTER INC. 2018. **Learn Root Cause Analysis from the Leaders in RCA Technology**. Reliability Center Inc. PROACT Root Cause Analysis. [Online] Reliability Center Inc., 2018. [Citado em: 14 de Junho de 2018.] <https://www.reliability.com/>.

SHIMAKURA, Silvia E. 2006. **Coeficiente de Determinação, R²**. UFPR. [Online] UFPR, 30 de Agosto de 2006. [Citado em: 18 de Junho de 2018.] <http://leg.ufpr.br/~silvia/CE003/node76.html>.

VORNE. 2018. **What is Overall Equipment Effectiveness?** OEE.com. [Online] VORNE, 2018. [Citado em: 14 de Junho de 2018.] <https://www.oee.com/>.