

# APLICAÇÃO DA ENGENHARIA DE CONFIABILIDADE NA ANÁLISE DO CUSTO DO CICLO DE VIDA DE UM SISTEMA AUTOMÁTICO DE TRANSPORTE DE BOBINAS\*

Bruno Brunoro Grecco

## Resumo

A Análise de Custo do Ciclo de Vida, Life Cycle Cost Analysis (LCCA), não é uma prática extensamente difundida nas empresas como forma de suportar a tomada de decisão para maximizar a vida econômica de seus ativos, reduzindo custos e aumentando a disponibilidade. No Brasil, o custo com manutenção vem aumentando, o LCCA torna-se uma ferramenta extremamente viável para gestão de ativos. Neste contexto, é proposta a utilização de LCCA, para estudo da vida econômica de ativos de um sistema de transporte de bobinas, com objetivo de maximizá-la e propor estratégias alternativas. A metodologia adotada aborda a utilização da engenharia econômica e LCCA, com a engenharia de confiabilidade, por meio de Análise de Dados de Vida (LDA – Life Data Analysis), Análise de Sistemas Reparáveis (RSA – Repairable System Analysis) e utilização da modelagem de Diagrama de Blocos de Confiabilidade (RBD – Reliability Block Diagram). Como resultado foi possível determinar a vida econômica, minimizando o custo total ao longo de sua vida esperada, indicando o melhor ano para substituição, determinar componentes críticos, simular cenários e propor estratégias de manutenção que auxiliam a empresa da redução de custo e aumento de competitividade.

**Palavras-chave:** Análise do Custo do Ciclo de Vida; Análise Dados de Vida; Confiabilidade.

## APPLICATION OF RELIABILITY ENGINEERING IN THE LIFE CYCLE COST ANALYSIS IN AN AUTOMATIC COIL TRANSPORT SYSTEM

### Abstract

Life Cycle Cost Analysis (LCCA) is not widely practiced in companies as a way of supporting decision making to maximize the economic life of their assets, reducing costs and increasing availability. Specifically in Brazil, the cost with its maintenance is increased, the LCCA becomes an extremely viable tool for asset management. In this context, the present work proposes the use of LCCA methodology to study the economic life of assets of a coil transport system, with the objective of maximizing it and proposing alternative strategies meeting the requirements of the company's maintenance sector. The methodology adopted addresses the use of economic engineering and LCCA, with reliability engineering, through Life Data Analysis (LDA), Repairable System Analysis (RSA) and modeling of the Reliability Block Diagram (RBD). As a result, it was possible to determine the economic life of the coil transport system by minimizing the total cost to the logo of its expected life, indicating the best year for replacement, determining critical components, simulating scenarios and proposing maintenance strategies to help the company reduce costs and increased competitiveness.

**Keywords:** Life Cycle Cost Analysis; Life Data Analysis; Reliability.

<sup>1</sup> *Especialista em engenharia de confiabilidade pela UTPRF e engenheiro de produção pela UVV, especialista de confiabilidade na gerencia de produção de bobinas, ArcelorMittal Tubarão, Serra, ES, Brasil.*

## 1 INTRODUÇÃO

Com o surgimento da economia globalizada, aumentou-se o processo de competição entre as empresas ao redor do mundo, aumentando a demanda por melhores produtos e serviços forçando essas empresas a melhorar seu desempenho e buscar custos competitivos (FOGLIATTO, 2009).

A redução dos custos de aquisição e compra são largamente utilizadas pelas empresas como a forma primária, se não a única, para aumentar sua competitividade e reduzir custo. Neste caso, torna-se um critério de seleção de equipamentos e sistemas, particularmente os mais caros, baseado apenas nos custos iniciais e de investimento quando se deveriam avaliar também os outros custos ao longo de seu ciclo de vida. Segundo Ryan, citado por Dhillon (2010, p1), mostram que estes custos podem variar de 10 a 100 vezes maiores do que os custos de aquisição.

É neste contexto que as empresas iniciaram, ainda de forma tímida, a utilizar a metodologia de análise do Custo do Ciclo de Vida, traduzido literalmente do termo em inglês Life Cycle Cost (LCC), como método de justificar e seleção de equipamentos e sistemas não mais se baseando apenas nos custos de aquisição inicial, mais sim nos custos totais em toda sua vida útil, e assim proporcionando aumento de competitividade das empresas (BARRINGER, 1996).

A última pesquisa elaborada pela ABRAMAN, de 2013, denominada Documento Nacional, mostra que no Brasil a parcela do custo total da manutenção no faturamento total das empresas, tem alcançando o percentual de 4,69%. Considerando que PIB do Brasil no mesmo período, o custo de total de manutenção correspondeu à cifra de 206,5 Bilhões de reais. Ainda existem setores industriais em que o percentual do custo de manutenção no faturamento bruto é ainda maior, podendo alcançar quase 10%, (ABRAMAN, 2009).

Desta forma, a manutenção mostra-se como uma parcela estratégica do aumento de competitividade das empresas, não só por sua parcela de custo, mas também pelo grande potencial de redução de custos e aumento de confiabilidade. A utilização do LCC vem crescendo nos setores industriais ao redor do mundo como uma das várias formas de tomada de decisão e contribuindo para uma tendência de aumento da competição, aumento de custos operacionais e de manutenção, aumento de competitividade de custos, e podendo ser utilizado em um grande número de áreas, principalmente decidindo a troca equipamentos, determinando fatores de custos, selecionando estratégias de aquisição e manutenção entre outras (Dhillon 2010).

## 2 DESENVOLVIMENTO

No cenário atual, a gestão estratégica da manutenção deve existir para que não haja manutenção. A produtividade como fator importante para aumento da competitividade das empresas faz com que a busca por estratégias de manutenção onde ao mesmo tempo aumentem a confiabilidade reduzam os custos de manutenção (KARDEC, 2009). Muitas estratégias de manutenção ainda estão baseadas em conceitos das primeiras gerações da manutenção e baseados em dados qualitativos utilizando-se da experiência dos profissionais de manutenção para elaboração desta estratégia, que muitas vezes prioriza a maior disponibilidade a qualquer custo.

O LCC tem sido utilizado e ajuda as empresas a mudar suas perspectivas de negócios com ênfase em aumento de competitividade econômica no melhor custo

total de longo prazo do ativo. Frequentemente as empresas buscam reduzir custos de aquisição do ativo, tornando essa, muitas vezes a única estratégia de redução de custos, porém não consideram custos de manutenção do ativo que podem ser de 2 até 20 vezes maiores (BARRINGER, 1997).

Realizar um estudo do Custo do Ciclo de Vida de um Sistema de Transporte de Bobinas e determinar a melhor estratégia de manutenção que minimizando os custos totais de manutenção e operação ao longo dos anos de operação e atendendo aos requisitos de confiabilidade da planta exige.

## 2.1 Contexto Operacional

O Sistema de movimentação de bobinas do Laminador de Tiras a Quente (LTQ) é composto por no máximo 12 carros autônomos de transporte que circulam sobre trilhos ferroviários, alimentado por barramento elétrico de 440V, em um circuito fechado de aproximadamente 1017 metros, descarrega bobinas em três transportadores de bobinas seguintes, retornando vazio e aguardando novo carregamento. Atualmente, 11 carros operam e 1 fica fora da linha como reserva para utilização em caso de necessidade, seja por manutenção corretiva seja por manutenção. Cada carro tem capacidade de transportar uma bobina de até 40 t com velocidade de até 1,8 m/s.

O histórico mostra que a soma do tempo de falhas dos carros de transporte de bobina somaram 3530 min, de janeiro de 2015 a setembro de 2017, período do estudo. Essa porção de tempo tem um impacto significativo em termos de produção, correspondendo aproximadamente 3 dias de produção.

Tendo em vista o volume de perdas de produção relativo às falhas no sistema de transporte de bobina, é possível concluir seu grau de importância tanto frente ao processo produtivo quanto também ao negócio da empresa. Além deste fato, considerando os dados de modos de falhas expostos, existe um potencial elevado para estudo a fim de reduzir as paradas por falhas dos equipamentos.

## 2.2 Referencial Teórico

### 2.2.1 Análise do Custo do Ciclo de Vida

A análise do custo do ciclo de vida é mais conhecida do termo em inglês *Life Cycle Cost Analysis* LCCA, que surgiu pela primeira vez em 1965 em um relatório do *Logistics Management Institute* de Washington DC intitulado “*Life Cycle Cost in Equipment Procurement*” a pedido do *U.S. Department of Defense*. (DHILLON, 2010). LCC é definido pela SAE (1999) como o custo total de propriedade do equipamento ou máquina (ativos), incluindo seus custos de aquisição, operação, manutenção, conversão e desativação. Ou seja, considera todos os custos envolvidos em todas as fases da vida útil do ativo.

A análise de LCC tem como objetivo analisar a melhor alternativa em uma abordagem de menor custo total efetivo de um ativo, de uma série de alternativas, ao longo do tempo considerando todas as parcelas, possíveis, de custos, desde aquisição até sua disposição final até o fim de sua vida útil, utilizando modelo econômico. Usualmente os custos totais do ativo durante sua vida útil excedem cerca de 2 a 20 vezes seu custo de compra ou aquisição, para sistemas de engenharia há estudos que indicam que estes custos podem alcançar até 100 vezes

esse valor (BARRINGER, 1997). A melhor alternativa de custos é alcançada quando o LCC é minimizado. A Figura 1 abaixo exemplifica isso.

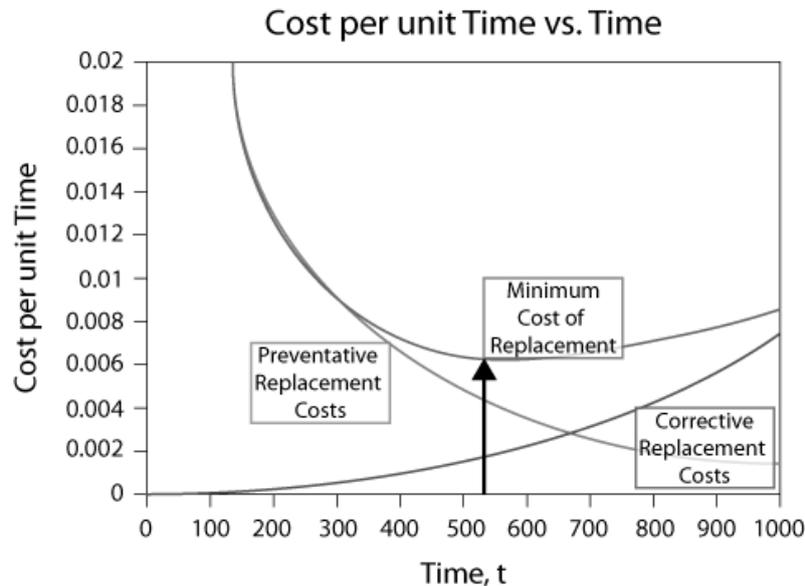


Figura 1 – Melhor situação de menor custo total. Fonte: Reliasoft Corporation (2015b).

Existem vários tipos de custos que podem ser apropriadamente incluídos dentro da análise, o mais apropriado depende de cada caso específico e de cada situação. A árvore básica para LCC considera os custos de aquisição e os custos de manutenção. As árvores típicas de custos de aquisição e manutenção são indicadas na Figura 2. Entretanto existem modelos mais completos, como o oriundo do setor automobilístico exposto na SAE M-110.2 (1999) destinado diretamente para custos de manufatura, onde considera os custos de quebras imprevistas.

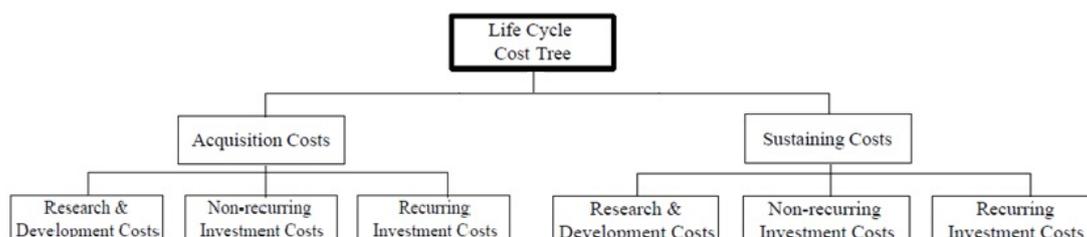


Figura 2 – Árvore de LCC, Fonte: Barringer (1996).

Um dos grandes problemas envolvidos em uma análise de LCC está relacionado com a dificuldade de obtenção de todos os custos envolvidos durante ciclo de vida, principalmente quando a análise é realizada ainda com o ativo dentro de sua vida útil e por esse motivo devem ser estimados, ou seja, são custos probabilísticos, como por exemplo, os custos de manutenção, custos de falhas, custos de paradas de equipamentos, etc. A maioria destes custos estão diretamente ligados às características de confiabilidade e manutenibilidade do ativo. A estimação destes custos é um desafio no aspecto da LCC, neste caso a utilização da engenharia de confiabilidade se faz necessária com técnicas, muitas delas computacionais, de análise de dados de vida (*Life Data Analysis – LDA*) e análise de confiabilidade sistemas (*System Reliability Analysis SRA*) entre outras (RELIASOFT, 2015a). Uma

abordagem probabilística usando modelos de distribuições para obter uma previsão dos dados dos custos que ainda virão a ocorrer, baseados no histórico até o momento da análise, abordagem de custos probabilísticos (NRCC-46774, 2004).

## 2.2.2 Engenharia Econômica

Na análise de custo do ciclo de vida, a disciplina de economia tem um papel fundamental, pois é uma das bases para do cálculo e da análise, levando em consideração do valor do dinheiro no tempo, bem como os indicadores, taxas. Os custos futuros, como os custos de operação e de manutenção devem ser descontado para os valores presentes antes adicionar itens de aquisição. O entendimento de alguns termos é importante, como:

- Taxa Mínima de Atratividade - TMA é uma taxa de juros que representa o mínimo que um investidor se propõe a ganhar quando faz um investimento. A TMA é a taxa a partir da qual o investidor considera que está obtendo ganhos financeiros.
- Valor Presente Líquido determina o valor presente de pagamentos futuros descontados a uma taxa de juros apropriada (TMA), menos o custo do investimento inicial.
- Valor Anual Equivalente - determina o quanto um investimento lucraria, anualmente, a mais que uma determinada aplicação financeira ou TMA. Representa a parcela periódica e constante necessária ao pagamento de uma quantia igual ao VPL da opção de investimento em análise, ao longo de sua vida útil.
- Custo Anual Equivalente (CAE) – É uma variante do VAE (Valor anual equivalente). O CAE apresenta um custo anual ao invés de receita anual. Por se tratar de custo, é interpretado como um gasto, Para a definição do tempo ótimo de substituição do ativo, o CAE será o principal indicador para a tomada de decisão, ou seja, o período/ano de operação que possuir o menor CAE, será o período ótimo para a sua substituição.

É importante o entendimento que o dinheiro sobre depreciação ao longo do tempo e estão expostos a variáveis macroeconômicas. Além disso, na matemática financeira existem algumas métricas para avaliação, analisar e mensurar a vida de um ativo ou projeto. Muitos desses têm sido desenvolvidos ao longo dos anos, porém algumas são usuais e indispensáveis para o LCCA.

## 2.2.3 Engenharia Confiabilidade

### 2.2.3.1 Análise Dados de Vida

O termo vem do inglês, LDA – *Life Data Analysis* é uma metodologia da engenharia de confiabilidade que se baseia em dados de vida de produtos para determinar um melhor modelo probabilístico que predizer a sua vida ao longo do tempo.

Os dados para análise podem ser desde tempo que o produto opera com sucesso até o tempo que o produto opera até uma falha, podendo ser medidas em tempo, unidades de comprimento, ciclos etc.

Uma vez realizada a análise de dados de vida, praticante tenta-se fazer previsões sobre a vida de todos os produtos na população, ajustando-se à distribuição estatística (modelo) aos dados da vida de uma amostra representativa de unidades.

A distribuição parametrizada para o conjunto de dados pode então ser usada para estimar características de vida importantes do produto, como confiabilidade ou probabilidade de falha em um momento específico, a média vida e taxa de falhas. A análise de dados de vida exige que o praticante: reúna dados de vida para o produto, selecione uma distribuição de vida que corresponda aos dados e modelar a vida útil do produto, estimar os parâmetros que irão ajustar a distribuição aos dados; gerar gráficos e resultados que estimem as características de vida do produto, como confiabilidade ou vida média.

### 2.2.3.2 Diagramas de Blocos de Confiabilidade

O diagrama de blocos de confiabilidade representa de forma gráfica os componentes de um sistema e como estão relacionados à confiabilidade, utilizando para isso a técnica de diagrama de blocos, como utilizada em outras áreas da engenharia. É também conhecido pela sigla do termo em inglês, RBD – *Reliability Block Diagram*. Os RBDs são normalmente representados por bloco conectados entre si com linhas de direção indicando a relação de confiabilidade entre eles, podendo ser diferente inclusive do arranjo físico do sistema.

Para construção de uma RBD, além dos dados de distribuição e vida de cada componente é importante determinar a configuração de dependência e interligação entre os blocos, pois isso afetará a forma com que a análise de confiabilidade será conduzida. Com isso surgem as configurações em Série e em Paralelo. Na configuração em Série a falha de um dos componentes resulta na falha de todo o sistema. Já na configuração em Paralelo, para o sistema falhar deve ocorrer falha em todos os componentes da configuração, ou seja, para o sistema não falhar basta que no mínimo um componente tenha sucesso.

### 2.2.3.2 Distribuição de Vida e Distribuição de Probabilidades

O termo distribuição de vida é utilizado para descrever as distribuições de probabilidades estatísticas que são usadas na engenharia de confiabilidade e na análise de dados de vida. As distribuições são descritas pelas suas respectivas funções densidade de probabilidade (pdf).

Existem inúmeras distribuições estatísticas que foram formuladas por matemáticos, estatísticos e engenheiros para representar certos comportamentos, algumas tendem a representar melhor o comportamento de dados de vida. As distribuições mais conhecidas na engenharia de confiabilidade pela sua funcionalidade em descrever dados de vida as distribuições Log-Normal, Weibull, Exponencial, Gama, Gama Generalizada; Gumbel, Logística, Log-Logística, Gauss (Normal);

Cada uma tem uma característica e um comportamento específico e podem aderir melhor a determinado tipo de análise de dados de vida. Dentre estas destacamos algumas principais abaixo.

A distribuição exponencial é normalmente utilizada para descrever sistemas ou componentes com taxa de falha constante (LAFRAIA, 2001). É amplamente utilizada pela sua simplicidade, aplicações comuns sistemas complexos não redundantes, Sistemas complexos com taxa de falhas independentes, Sistemas com dados de falhas mostrando causas muito heterogêneas, Sistemas de vários componentes, com substituição antes da falha (manutenção preventiva).

A distribuição Weibull é a mais conhecida e largamente utilizada na engenharia de confiabilidade pela ter um propósito geral para modelar equipamentos eletrônicos,

mecânicos, equipamentos e outros sistemas. Um dos motivos que esta distribuição é largamente utilizada é sua adaptabilidade em função da variação do comportamento da função taxa de falhas com o valor o parâmetro de forma  $\beta$ . Se  $\beta < 1$  Taxa de falha crescente com o tempo – falhas prematuras,  $\beta = 1$  Taxa de falha constante – falhas aleatórias e  $\beta > 1$  Taxa de falha crescente com o tempo

## 2.3 Análise

### 2.3.1 Coleta de Dados

A coleta de dados dos registros de falhas corretivas do Sistema de Transporte de bobinas de janeiro de 2015 a setembro de 2017, buscando alcançar até o nível de menor componente substituível, foi realizada através de sistemas informatização da empresa, tanto o sistema Acompanhamento da Produção, quanto o sistema informatização de manutenção, CMMS (*Centralized Management Maintenance System*) da empresa. Os valores de tarifas de custo das equipes de manutenção corretiva e dos principais componentes foram extraídos do SAP, baseado nos valores históricos de suas últimas apropriações.

### 2.3.2 Modelo de Confiabilidade e Manutenibilidade dos componentes

Os modelos foram obtidos através dos registros de falhas com a aplicação dos fundamentos da Análise de Dados de Vida (LDA - *Life Data Analysis*), para cada um dos principais componente do sistema.

Para os dados de análise de Confiabilidade, foram extraídos os Tempos até a Falha, (TTF do termo em inglês *Time to Failure*), de todos os componentes similares de cada carro. Os tempos dos componentes que não falharam em função do termino da coleta de dados para este estudo foram considerados como suspensão. Os dados de análise de Manutenibilidade foram extraídos dos tempos de duração de cada falha (TTR do tempo em inglês *Time to Repair*). Os modelos das LDAs foram obtidos através da modelagem dos dados via software Weibull++®.

### 2.3.2 Modelagem e Simulação

A modelagem do sistema foi realizada baseada em Diagrama de Blocos de Confiabilidade (RBDs, do termo em inglês *Reliability Block Diagrams*), e com a utilização do software BlockSim®.

Foi desenvolvido um RBD para um carro genérico, onde cada bloco representava o componente de menor nível, atribuído os modelos de confiabilidade, manutenibilidade, parâmetros de custos e premissas adotadas. Foram incluídos no diagrama dois blocos adicionais, com confiabilidade 1 (não falham) de custos de manutenção, relacionados com manutenções preventivas (MP), executadas com frequências preestabelecidas. Posteriormente cada bloco foi repetido, como sub-diagrama, para formar o RBD do Sistema como um todo, com os 11 carros, conforme Figura 3.

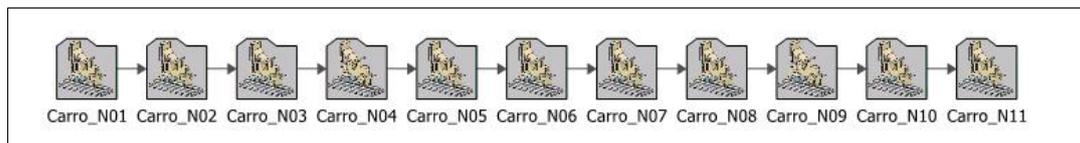


Figura 3 – RBD do Sistema de Transporte de Bobinas em sub-diagramas Fonte: o autor (2017).

Após a etapa de modelagem foi realizada a etapa de simulação do modelo a fim de obter os dados de Confiabilidade, Mantenabilidade e Disponibilidade do sistema. A simulação foi realizada para a vida útil esperada do carro, considerada neste estudo de 20 anos. A visão geral da simulação do sistema pode ser visto na Tabela 1, onde indica o custo total em 20 anos para o sistema (11 carros). Com o resultado, foram obtidos os dados probabilísticos de comportamento do sistema futuro, extraindo os custos por categorias ano-a-ano, principalmente os dados de custo com manutenção, além dos custos de lucro cessante, possibilitando a geração do fluxo de caixa para análise futura de LCC.

Tabela 1 - Visão Geral do Sistema via simulação. Fonte: o autor (2017).

Visão Geral do Sistema	
Disponibilidade Média (Todos os Eventos):	98,96%
Desvio Padrão (Disponibilidade Média):	0,02%
Tempo Disponível (h):	173374,7191
Tempo Indisponível Total (h):	1825,280868
MTBF (Tempo Total) (h):	30,581627
MTTR (h):	0,272025
Quantidade Esperada de Falhas:	5728,93
<b>Custo Total do Sistema:</b>	<b>R\$65.595.410,59</b>

Adicionamento foi possível avaliar os componentes de maior criticidade (componentes críticos) e responsáveis por maior quantidade de falhas no sistema esperadas. Nota-se que o componente escova é o que tem maior representatividade no sistema, correspondendo à maior quantidade de tempo indisponível, conforme Figura 4a. Uma análise mais criteriosa é possível observar que o componente apresenta taxa de falha decrescente diferente da taxa de falhas típica para esse tipo de componentes que deveria ter taxa de falhas crescentes por representar um componente de desgaste. Esse comportamento indica falhas prematuras ou também chamadas de mortalidade infantil, ou seja, o componente apresenta falhas muito frequentes no início do seu período de operação, conforme mostrado na Figura 4b. Uma análise mais aprofundada deste item mostra uma deficiência do projeto de montagem das escovas, que pode comprovar a prematuridade de suas falhas, pois a posição das escovas com relação ao barramento deveria ser na vertical ao invés de horizontal, para circuitos que operam sobre influência de intempéries, como é o caso da empresa estudada.

Outros componentes também apresentam falhas prematuras, diferentemente do que se é esperado para o tipo de componente, como: sensores indutivos, sensores magnéticos, roletes guias e PLC, conforme podem ser verificados nos Figura 5 e respectivamente.

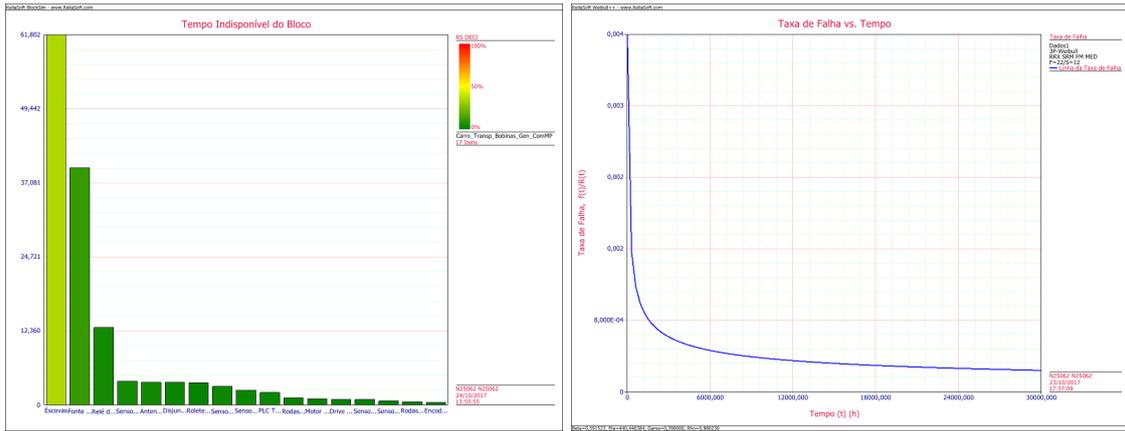


Figura 4 – (a) Tempo Indisponível por Bloco. (b) Comportamento  $\lambda$  da escova. Fonte: o autor (2017).

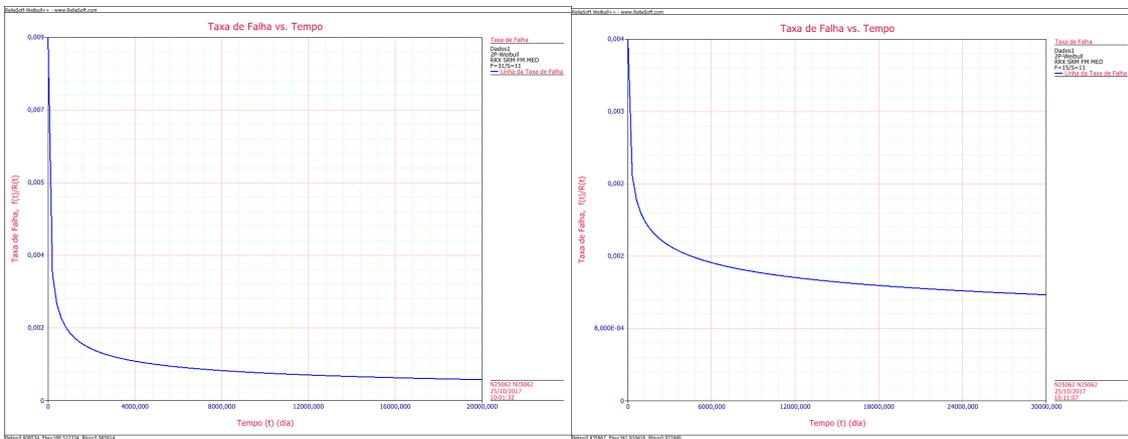


Figura 5 – Comportamento  $\lambda$  no tempo sensores (a) indutivo. (b) magnético.

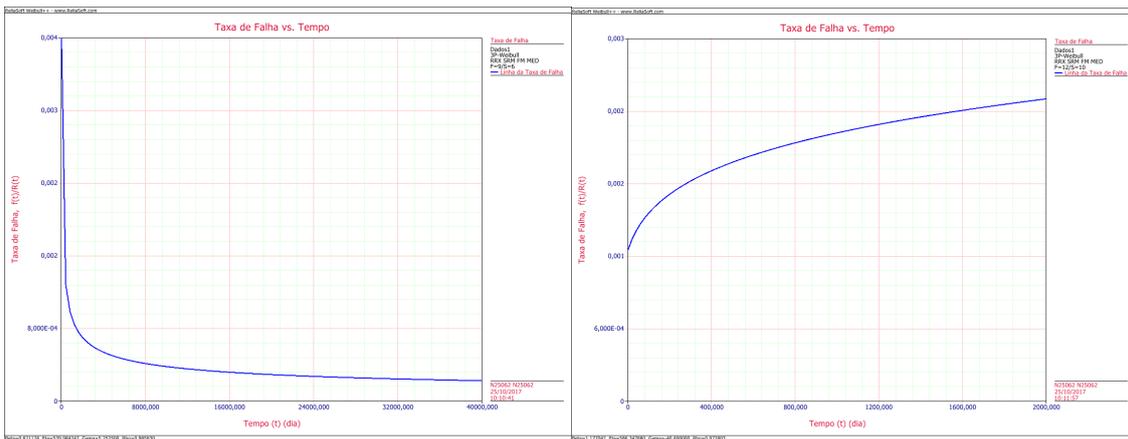


Figura 6 – Comportamento  $\lambda$  no tempo (a) roletes guia (b) PLC.

Na análise aprofundada das possíveis causas do comportamento destes componentes, nota-se uma prematuridade de falhas no início do tempo de operação, que no caso dos sensores pode ser explicado pela montagem e ajuste incorretos. No caso do PLC, onde o comportamento é o inverso, pode ser explicado pela avaliação do sistema de vedação do painel.

### 2.3.4 LCC e Determinação da Vida Econômica do Ativo

Foram utilizados os dados oriundos da simulação, como entrada para o fluxo de caixa e análise da vida econômica do sistema além dos dados das variáveis econômicas utilizadas como premissas, conforme Tabela 6, oriundos de históricos de fornecimentos, experiência da equipe envolvida e premissa já utilizada pela empresa em questão. Assim, foi possível elaborar o fluxo de caixa para o período de 20 anos, descontado a inflação. Os valores foram trazidos s Valor Presente Líquido (VPL), ano-a-ano. A partir de então foi calculado o Custo Anual Equivalente (CAE) para cada ano de operação, para determinar o ano que corresponde ao menor CAE, que indica o ano de menor custo de substituição do ativo, conforme Tabela 2.

Tabela 2 – Variáveis utilizadas para análise de LCC. Fonte: o autor (2017).

Variável	Valor
<b>Investimento por carro:</b> histórico aquisição do preço baseado em dólar	R\$ 608.856
<b>Vida útil estimada (anos):</b>	20
<b>Taxa de Inflação pelo IPCA (aa):</b> acumulada dos out/16 à set/17	2,54%
<b>Taxa Média de Atratividade:</b> premissa utilizada pela empresa em projetos	15%
<b>Tx depreciação 1º ano:</b>	25%
<b>Tx depreciação demais anos:</b>	10%
<b>Lucro cessante:</b> margem de contribuição da BQ em relação à Placa	R\$ 43,97/t

O menor custo anual equivalente se dá após 11 anos de operação dos carros de transporte de bobinas. Como premissa do CAE os valores de saída do fluxo de caixa são positivos e de entrada negativa, O Figura 7 indica o ponto de menor CAE na região de inflexão do gráfico.

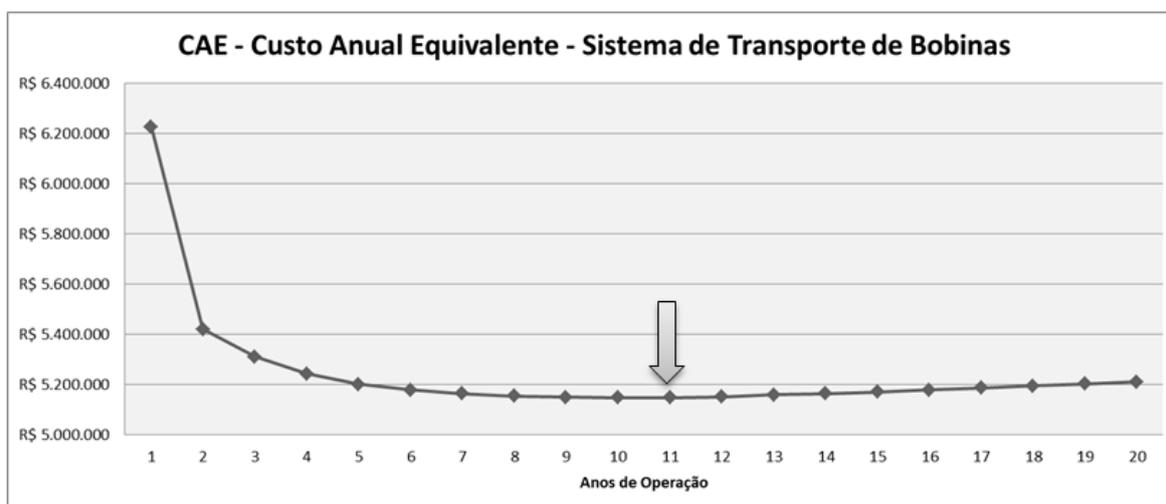


Figura 7 – CAE - Sistema de Transporte de Bobinas. Fonte: o autor (2017).

Ao analisar a perda anual com relação ao tempo decorrido após o atingimento do período de vida econômica, mostra uma pequena variação em relação à ordem de grandeza do montante, percentualmente indica perdas máximas da ordem de 1,2%, considerando que a empresa desejasse a substituição de todos os carros do sistema conforme Tabela 3. A análise por carro deixa ainda menor a diferença da perda. Pode avaliar que essa pequena variação corresponde à baixa inclinação do gráfico.

Tabela 3 – Análise de Sensibilidade da perda quanto à vida econômica. Fonte: o autor (2017).

<b>Análise de Sensibilidade</b>					
<b>Tempo (anos)</b>	<b>%</b>	<b>Perda Anual</b>	<b>Tempo (anos)</b>	<b>%</b>	<b>Perda Anual</b>
1	20,94%	R\$ 1.078.134	<b>11</b>	<b>0,00%</b>	<b>R\$ 0</b>
2	5,30%	R\$ 272.734	12	0,06%	R\$ 3.170
3	3,16%	R\$ 162.862	13	0,22%	R\$ 11.146
4	1,83%	R\$ 94.447	14	0,32%	R\$ 16.537
5	1,04%	R\$ 53.682	15	0,44%	R\$ 22.732
6	0,59%	R\$ 30.484	16	0,59%	R\$ 30.459
7	0,32%	R\$ 16.477	17	0,75%	R\$ 38.486
8	0,12%	R\$ 6.129	18	0,90%	R\$ 46.267
9	0,04%	R\$ 1.884	19	1,07%	R\$ 54.851
10	0,00%	R\$ 119	20	1,23%	R\$ 63.151

Como o sistema opera em serie com 11 carros, a possibilidade de redução da quantidade de carros impactaria positivamente para a confiabilidade, disponibilidade e manutenibilidade do sistema, reduzindo conseqüentemente custos para a empresa. Essa alternativa foi avaliada e mostrou que o aumento de disponibilidade proporcionaria uma redução de 139 horas do tempo indisponível do sistema, Apesar do aumento da disponibilidade ter sido proporcionalmente pequeno, os custos totais do sistema para 20 anos de operação reduziu em aproximadamente R\$ 5,8 milhões, o que representa um ganho expressivo em termos financeiros para empresa. Estes dados gerais do sistema e a análise dos VPL de ambas as configurações podem ser visto na Tabela 4, indica uma redução de 10% correspondendo a quase R\$ 2 milhões.

Tabela 4 – Comparação geral do sistema com 11 carros e 10 carros. Fonte: o autor (2017)

<b>Visão Geral do Sistema</b>	<b>11 Carros</b>	<b>10 Carros</b>	<b>Delta</b>
Disponibilidade Média (Todos os Eventos):	98,96%	99,04%	0,08%
Tempo Indisponível Total (h):	1825,280868	1686,317967	-138,962901
MTBF (Tempo Total) (h):	30,581627	33,609834	3,028207
MTTM (h):	0,305653	0,309097	0,003444
MTTR (h):	0,272025	0,272298	0,000273
Quantidade Esperada de Falhas:	5728,93	5212,76	-516,17
<b>Resumo de Custo</b>			<b>0</b>
Custo Total do Sistema:	R\$65.595.410	R\$59.738.525,38	-R\$5.856.885
CAE:	11 anos	10 anos	-R\$5.856.885
VPL	-R\$ 19.267.236	-R\$ 17.337.924	0- 10%

Com a utilização das técnicas de LCC juntamente com a análise de sistemas de confiabilidade foi possível extrair diversas informações importantes tanto do sistema de transporte de bobinas, como também de cada componente individualmente, possibilitando vislumbrar opções de otimização. que ajudarão na definição de melhor abordagem de análise e na estratégia de manutenção, tanto no que tange os custos como também a confiabilidade, além de nortear trabalhos futuros.

### 3 CONCLUSÃO

Os resultados apresentados permitiram a obtenção e determinação da vida econômica para os carros do sistema de transporte de bobinas, ou seja, seu melhor ciclo de vida para o ativo analisado possibilitando redução do custo total para empresa ao longo dos anos de sua vida esperada. Além disso, mostrou ganhos

ainda maiores em alternativas de redução do número de carros na linha em operação, e proporcionou dados iniciais de vida de componentes que possibilitam determinar melhores estratégias de abordagem de manutenção para redução de falhas e aumento de disponibilidade, e conseqüentemente redução de custo total.

Através dos dados da modelagem e simulação do sistema de transporte de bobinas, foi possível determinar os custos dos eventos de falha indesejada durante a vida esperada do carro, concluindo que:

- Vida econômica para os carros de transporte de bobinas, que se mostrou melhor no 11º ano de operação, onde determinou o melhor ciclo de vida.
- Postergação da substituição do ativo pode gerar um aumento de 6% nos custos anuais.
- A estratégia de redução de um carro do sistema gera potencial de ganhos anuais R\$ 5.856.000,00 no final de 20 anos
- Potencial de aumento de produção de 97.000 t de bobinas.

Uma nova estratégia de manutenção pode ser proposta, estratégia esta, baseada na análise dos componentes críticos do carro após simulação, onde foram ranqueados por impacto na disponibilidade do sistema e pela posterior análise dos dados de vida de cada um. Foi possível identificar, por meio da análise das curvas de taxas de falhas, componentes com comportamento de falhas prematuras. A estratégia de foco em análise mais profundadas nestes componentes podem gerar ganhos significativos e com baixo custo de implantação. O componente com maior potencial são as escovas, que mostraram vida muito baixa e falhas prematuras.

Assim sendo, o estudo mostrou grandes benefícios tanto viés financeiro quanto no viés de confiabilidade, além de ter aberto frentes para nossos estudos similares em outros equipamentos da empresa.

## REFERÊNCIAS

- 1 Associação Brasileira de Manutenção e Gestão de Ativos. Documento Nacional 2009: situação da manutenção no Brasil. 2009
- 2 Associação Brasileira de Manutenção e Gestão de Ativos. Documento Nacional 2013: situação da manutenção no Brasil. In: 5º Congresso mundial de manutenção e gestão de ativos. Salvador: Bahia, 2013
- 3 Barringer, H. Paul; David P. Weber. Life Cycle Cost Tutorial. In: Fifth International Conference on Process Plant Reliability. Houston: TX, 1996.
- 4 Barringer, H. Paul; Life Cycle Cost & Reliability for Process Equipment. In: 8th Annual Energy Week Conference & Exhibition Houston: TX, 1997,
- 5 Dhillon, B.S. Life Cycle Costing for Engineers. Boca Raton: FL, 2010.
- 6 Kardec, Alan; NASCIF, Júlio. Manutenção: função estratégica. 3ª ed. Rio de Janeiro: Editora Qualimark, Petrobras, 2009;
- 7 Lafraia, João Ricardo Barusso. Manual de confiabilidade, manutenibilidade e disponibilidade. Rio de Janeiro: Qualitymark: Petrobras, 2001.
- 8 Nacional Research Concil Canada. NRCC-46774: Life cycle cost analysis as a decision support tool for managing municipal infrastructure. Toronto 2004
- 9 Reliasoft Corporation. Life Data Analysis Reference. Tucson: Arizona, 2015a.
- 10 Reliasoft Corporation. System Analysis Reference: reliability, availability and optimization. Tucson: Arizona, 2015b
- 11 Society of Automotive Engineers. SAE M-110.2: Reliability and Maintainability Guideline for Manufacturing Machinery and Equipment. Warrendale: PA, 1999.