



CENTRO UNIVERSITÁRIO SENAI CIMATEC
BACHARELADO EM ENGENHARIA MECÂNICA

DANIEL OLIVEIRA DE ANDRADE
ERICK COSTA DE SOUZA
GABRIELA VIEIRA FERNANDEZ ECHEGARAY
ÍCARO COPELLO DE MORAIS SOUZA
MARCELO CABRAL LIBERATO DE MATTOS FILHO

**ANÁLISE DA VIABILIDADE ECONÔMICA DE SUBSTITUIÇÃO DE MOTORES
ELÉTRICOS EM UMA INDÚSTRIA DE COBRE**

SALVADOR
2019

DANIEL OLIVEIRA DE ANDRADE
ERICK COSTA DE SOUZA
GABRIELA VIEIRA FERNANDEZ ECHEGARAY
ÍCARO COPELLO DE MORAIS SOUZA
MARCELO CABRAL LIBERATO DE MATTOS FILHO

**ANÁLISE DA VIABILIDADE ECONÔMICA DE SUBSTITUIÇÃO DE MOTORES
ELÉTRICOS EM UMA INDÚSTRIA DE COBRE**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Centro Universitário SENAI CIMATEC como requisito parcial para a obtenção do título de bacharel em Engenharia Mecânica.

SALVADOR
2019

Daniel Oliveira de Andrade

Erick Costa de Souza

Gabriela Vieira Fernandez Echegaray

Ícaro Copello de Moraes Souza

Marcelo Cabral Liberato de Mattos Filho

ANÁLISE DA VIABILIDADE ECONÔMICA DE SUBSTITUIÇÃO DE MOTORES ELÉTRICOS EM UMA INDÚSTRIA DE COBRE

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Centro Universitário SENAI CIMATEC como requisito parcial para a obtenção do título de bacharel em Engenharia Mecânica.

Orientador: Prof. Ubatan Almeida Miranda

Aprovado em

Banca Examinadora

João Lucas da Hora. Gestor do Projeto Theoprax. Especialista em Gestão de Projetos pelo Centro Universitário SENAI CIMATEC, Brasil, 2016.

Ubatan Almeida Miranda. Mestre em Engenharia Mecânica pela Universidade Estadual de Campinas, Brasil, 2002.

Guilherme Oliveira de Souza. Coordenador do curso de Engenharia Mecânica. Doutor em Engenharia Aeronáutica e Mecânica pelo Instituto Tecnológico de Aeronáutica, Brasil, 2011.

RESUMO

O gerenciamento do ciclo de vida de equipamentos incluindo seus custos é hoje grande problema nas indústrias no Brasil. Dentro deste segmento, a engenharia financeira, a exemplo da que está disposta neste relatório e suas ferramentas para superação desses obstáculos ainda possuem pouca abrangência no país. O presente trabalho, desenvolvido através da metodologia TheoPrax é resultado da aplicação da ferramenta, *Life Cycle Costing Analysis* (LCCA), ou Análise do Custo do Ciclo de Vida, para trazer uma análise da viabilidade econômica sobre uma proposta de substituição de motores elétricos de corrente contínua por novos motores elétricos de corrente alternada no sistema de exaustão dos fornos conversores de cobre em uma indústria localizada em Dias D'Ávila – BA. Hoje, a LCCA não é uma ferramenta usual, possivelmente pela falta de uma metodologia prática, por conta da dificuldade de aquisição de dados históricos confiáveis dos equipamentos e de projeções de ciclo de vida de operação mais fidedignas. Os resultados encontrados mostram que a aplicação de tal ferramenta apresenta uma oportunidade de melhoria para o cliente, com redução dos custos envolvidos e com breve retorno do investimento.

Palavras-chaves: Análise de Custo do Ciclo de Vida. Viabilidade Econômica. *Payback*. Motores Elétricos.

ABSTRACT

The management of the life cycle of equipment including its costs is today a major problem in industries in Brazil. Within this segment, financial engineering, such as that set forth in this report, and its tools for overcoming these obstacles still have little scope in the country. The present work, developed through the TheoPrax methodology is the result of the application of the tool, Life Cycle Costing Analysis (LCCA), to bring an analysis of the economic feasibility of a proposal to replace DC electric motors with new AC electric motors in the exhaust system of copper converters in an industry located in Dias D'Ávila - BA. Today, LCCA is not a usual tool, possibly due to the lack of a practical methodology, due to the difficulty of acquiring reliable historical data from the equipment and more reliable operation life cycle projections. The results found show that the application of such a tool presents an opportunity for improvement for the client, with a reduction in the costs involved and a brief return on investment.

Keywords: *Life-Cycle Cost Analysis. Economic Viability. Payback. Electric Motors.*

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Logomarca TheoPrax

Figura 2 - Foto Aérea da Planta da Indústria em Dias d'Ávila

Figura 3 - Etapas Gerais do Processo de Fabricação

Figura 4 - O Universo Tecnológico de Motores Elétricos

Figura 5 - Curvas características típicas de motor elétrico

Figura 6 - Site BNDES

Figura 7 - Dados técnicos motores

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Dados técnicos do sistema de exaustão

Tabela 2 - Custo Operacional dos Motores VN 07/08

Tabela 3 - Custo de Manutenção Externa Geral

Tabela 4 - Custo de Manutenção Externa dos Motores VN 07/08

Tabela 5 - Custos de lubrificação

Tabela 6 - Custos de manutenção corretiva

Tabela 7 - Custo de manutenção corretiva planejada

Tabela 8 - Custos de manutenção preventiva

Tabela 9 - Custos de manutenção preditiva

Tabela 10 - Custo total manutenção interna por motor

Tabela 11 - Custo total de mão de obra por motor

Tabela 12 - Custo recorrente total por motor

Tabela 13 - Custo não recorrente total por motor

Tabela 14 - Custo do ciclo de vida

Tabela 15 - Custo de operação

Tabela 16 - Dados para simulação de compra do motor

Tabela 17 - Resultado da simulação

Tabela 18 - Valores para cálculo do LCCA

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AOtotal - Custo de Operação Total

BACEN - Banco Central do Brasil

BCB - Banco Central do Brasil

BNDES - Banco Nacional do Desenvolvimento

CA - Corrente Alternada

CC - Corrente Contínua

CMA - Custo Médio Anual

CMM - Custo Médio Mensal

CRanual - Custo Recorrente Total Anual

CRAtotal - Custo Recorrente Atual Total

CRPtotal - Custo Recorrente Proposto Total

CV - Cavalo Vapor

FGV - Fundação Getúlio Vargas

FIEB - Federação das Indústrias da Bahia

FINAME - Financiamento de Máquinas e Equipamentos

H/H - Hora Homem

HP - Horse Power

ICA - International Copper Association

IEEE - Instituto de Engenheiros Elétricos e Eletrônicos

IGP-DI - Índice Geral de Preços - Disponibilidade Interna

IGP-M - Índice Geral de Preços do Mercado

INCC - Índice Nacional da Construção Civil

IPA - Índice de Preço de Atacado

IPC - Índice de Preços ao Consumidor

kW - Quilowatt

LCC - Life Cycle Cost

LCCA - Life Cycle Costing Analysis

MMM - Média Mensal do custo entre os Motores

NRC - Custo Não Recorrente

PCM - Planejamento e Controle de Manutenção

Rad/s - Radianos por segundo

RC - Custo Recorrente

RPM - Rotações Por Minuto

Selic - Sistema Especial de Liquidação e de Custódia

SENAI - Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial

TLP - Taxa de Longo Prazo

VN - Ventilador

VPL - Valor Presente Líquido

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	12
1.1.	Motivação	Erro! Indicador não definido.
1.1.1.	Objetivos	14
1.1.2.	Objetivos Específicos	14
1.2.	Organização do Trabalho	14
2.	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	16
2.1.	Análise do Ciclo do Custo de Vida	16
2.2.	Fundamentos do LCCA	18
	2.2.1. Necessidades e informações necessárias para o cálculo do custo do ciclo de vida	18
	2.2.2. Informações, Fontes de Informações e Feedback	20
	2.2.3. Valor Presente	21
	2.2.4. Análise de Incerteza e Sensibilidade	22
2.3.	Gestão de Ativos	23
2.4.	Evolução da Manutenção	25
	2.4.1. Primeira Geração	25
	2.4.2. Segunda Geração	25
	2.4.3. Terceira Geração	26
2.5.	Visão Geral dos Motores Elétricos	26
3.	METODOLOGIA	30
3.1.	Motores Elétricos Atuais	30
	3.1.1. Custos Recorrentes	31
	3.1.2. Custos Não Recorrentes	37
3.2.	Motores Elétricos Propostos	40
	3.2.1. Vida Útil Esperada	40

3.2.2.	Taxa de Falha Esperada	41
3.2.3.	Custo de Falha	41
3.2.4.	Taxa de Juros Anual	41
3.2.5.	Cálculo do LCCA	42
3.3.	Cálculo do prazo de recuperação do capital investido (<i>Payback</i>)	43
4.	ANÁLISE E RESULTADOS	46
4.1.	Motores Elétricos Atuais	46
4.1.1.	Custos Recorrentes	46
4.1.2.	Custos Não Recorrentes	58
4.2.	Motores Elétricos Propostos	60
4.2.1.	Custo de Aquisição	60
4.2.2.	Vida Útil Esperada	61
4.2.3.	Taxa de Falha Anual	61
4.2.4.	Custo de Falha	62
4.2.5.	Taxa de Juros Anual	64
4.2.6.	Cálculo do Custo de Operação Anual	65
4.3.	Cálculo do prazo de recuperação do capital investido (<i>Payback</i>)	69
4.3.1.	Motores Atuais	70
4.3.2.	Motores Propostos	71
5.	CONCLUSÃO E TRABALHOS FUTUROS	73
5.1.	Análise de resultados	73

1. INTRODUÇÃO

A empresa do trabalho em questão atua na fundição, refino de cobre primário e na produção de semimanufaturados de cobre e suas ligas. É, assim, a única indústria a transformar o cobre mineral em metal no Brasil. As atividades da companhia abrangem grande parte da cadeia industrial do material, seguindo até a fabricação e a venda de produtos e coprodutos, como vergalhões, fios trefilados, laminados, barras, tubos, conexões, entre outros (Site da empresa, 2018). A matriz onde encontra-se o equipamento a ser estudado pela equipe fica localizada em Dias d'Ávila, no estado da Bahia (vista da unidade na Figura 1).

Figura 1 - Foto Aérea da Planta da Indústria em Dias d'Ávila

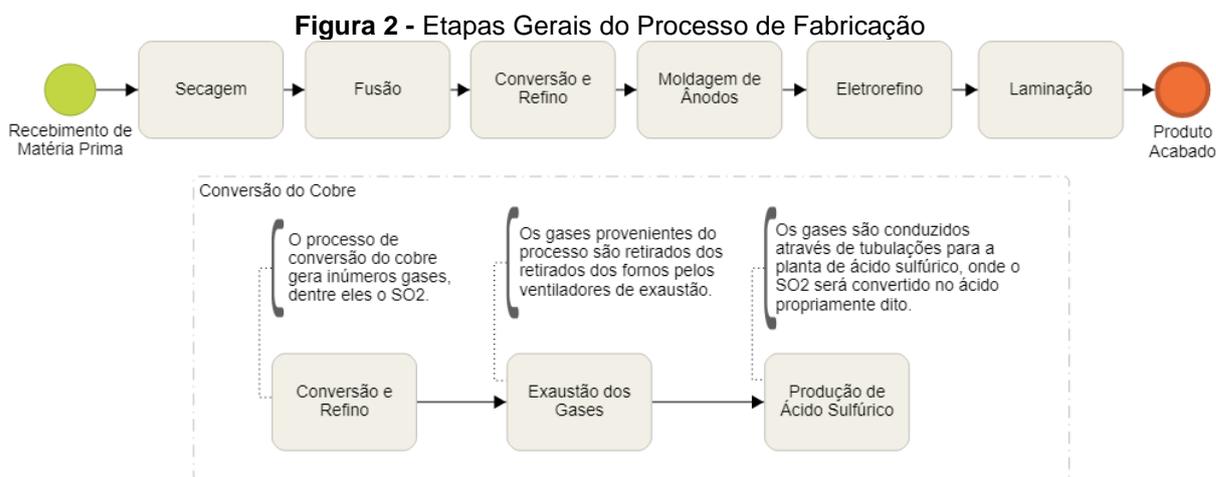


Fonte: Revista Mineração e Sustentabilidade, 2018.

A matriz da empresa onde foi desenvolvido o estudo em questão atua como uma unidade de beneficiamento de cobre primário, com atividades ligadas à fundição e refino de cobre eletrolítico e na metalurgia de semielaborados de cobre. A planta, localizada no Pólo Industrial de Camaçari (BA), possui terreno de 568.032 m², sendo 90.342 m² de área construída. A planta produz cátodos, vergalhões, fios trefilados, ácido sulfúrico, oleum, silicato de ferro e lama anódica, de onde são extraídos metais preciosos (Paranapanema, 2018).

1.1. Contexto

O processo de fabricação do cobre é composto por diversas etapas, como pode ser visualizado através da Figura 2.



Fonte: Própria.

Entre as etapas do processo, um ponto muito importante se encontra no momento de Conversão e Refino onde são gerados gases de natureza tóxica, que são necessários ser exauridos. O trabalho em questão será voltado para a etapa de Conversão e Refino do produto, uma vez que a empresa tem enfrentado dificuldades na realização da manutenção do atual sistema de controle de velocidade dos motores responsáveis pela exaustão dos gases provenientes do processo de conversão química do cobre no forno flash presente na planta.

O sistema atual é composto por motores e sistemas de controle em corrente contínua. Este sistema foi implantado em 2003 e na época, segundo a empresa, esta era a tecnologia disponível mais avançada para controle de velocidades em motores elétricos. No entanto, com o decorrer do uso deste sistema, ficou evidente que o mesmo vem se tornando obsoleto e se tornando sensível a variações de velocidade, pois seu sistema de controle é demasiadamente antigo. Além disso existe a situação da redução de oferta por peças sobressalentes para manutenção deste equipamento, que resulta na dificuldade de reparo e aumento dos custos de manutenção. De acordo com a empresa, o sistema de controle já se encontra obsoleto, aumentando a dificuldade de peças sobressalentes, o que dificulta as ações de manutenção. Diante de tal dificuldade, o setor de manutenção da empresa realizou um estudo e verificou

que o sistema elétrico dos componentes VN-545-07 e VN-545-08, compostos de motor, sistema de controle e sistema de proteção, foram responsáveis pelo atraso na entrega de 845,39 t de cobre entre os anos de 2014 a 2017. Por consequência, gerou uma perda da ordem de R\$ 21.000.000,00, valor este que representa 0,6% de toda a receita líquida apresentada pela empresa em 2017.

Diante da conjuntura da empresa, é notória a necessidade de minimizar os atrasos de entrega de produção e reduzir os custos de manutenção envolvidos. Surge assim a proposta de se analisar a viabilidade econômica de manter o sistema atual, em contrapartida a renovar tal sistema, atualizando para motores de corrente alternada, sistema de controle mais atual.

1.1.1. Objetivos

Este projeto tem como objetivo geral analisar a viabilidade econômica de se substituir os motores elétricos de corrente contínua do sistema de exaustão dos fornos conversores de cobre da Paranapanema, por novos motores elétricos de corrente alternada, utilizando-se a ferramenta Análise do Custo de Ciclo de Vida (LCCA).

1.1.2. Objetivos Específicos

Os objetivos específicos deste trabalho são listados abaixo:

- I. Aplicar a ferramenta LCCA a cada um dos motores elétricos de corrente contínua do sistema de exaustão para avaliação de todos os custos envolvidos durante a sua vida útil;
- II. Aplicar a ferramenta LCCA a cada um dos motores elétricos de corrente alternada a serem implementados ao sistema de exaustão, para estimativa de todos os custos envolvidos durante a sua vida útil;
- III. Realizar uma comparação acerca dos custos envolvidos aos atuais motores elétricos de corrente contínua e aos novos motores elétricos de corrente alternada do sistema de exaustão dos fornos conversores de cobre da planta.

1.2. Organização do Trabalho

Esse trabalho está estruturado em cinco capítulos:

O Capítulo 1 introduz o contexto do Theoprax, discorre sobre a empresa envolvida, justifica o trabalho e determina os seus objetivos.

O Capítulo 2 apresenta o embasamento teórico dos temas envolvidos no trabalho. Trata da ferramenta LCCA, define o conceito de Gestão de Ativos, resalta o impacto dos custos no setor de manutenção industrial e expõe uma visão geral sobre motores elétricos.

O Capítulo 3 consiste na metodologia, onde o método selecionado para a aplicação do LCCA é detalhado tanto para os atuais motores elétricos de corrente contínua, como para os novos motores elétricos de corrente alternada.

O Capítulo 4 trata dos resultados, ou seja, da metodologia aplicada aos motores elétricos atuais e aos novos, além da comparação entre esses dois cenários.

O Capítulo 5 aponta as considerações finais, as limitações do estudo, as recomendações para trabalhos futuros e as conclusões.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Segundo Cortizo Neto (2018), para todo bem adquirido, seja pessoal ou dentro de uma empresa, entende-se que há um ciclo de vida útil, tempo em que o produto estará em funcionamento até não mais conseguir desempenhar suas funções requeridas, seja devido ao desgaste, alto custo para mantê-lo ou usá-lo, ou mesmo por obsolescência tecnológica, esse que se torna cada vez mais comum nos dias atuais. Muito se percebe que as pessoas comuns não possuem o hábito de verificar tais custos, baseando assim, sua decisão de compra ou descarte ao seu livre-arbítrio. Para o caso de uma indústria, em que os ativos possuem alto valor agregado, não é indicado agir da mesma forma, o que leva a uma necessidade de acompanhar o ciclo de vida econômico dos equipamentos. Para isso se utiliza a Análise do Custo do Ciclo de Vida, ou *Life Cycle Cost Analysis* (LCCA),

2.1. Análise do Ciclo do Custo de Vida

Griffith (1978) já havia notado, na década de 70, que um ambiente de negócios cada vez mais competitivo, aliado a recursos cada vez menores, requisitava que todos os recursos disponíveis fossem utilizados de forma aprimorada.

A LCCA é uma ferramenta empregada para análise de equipamentos e sistemas que permite ao gestor identificar a abordagem econômica mais viável, a longo prazo. Para tal, consideram-se diferentes tipos de custos, dos quais pode ser citado o custo de planejamento e projeto para obtenção do ativo até o seu estágio de descarte (CORTIZO NETO, 2019).

No momento atual, biênio 2018-2019, tem-se no âmbito das indústrias a combinação do aumento de inflação, redução do poder de compra, limitações orçamentais e outros fatores que estão fielmente atrelados a custos dentro das empresas, o que traz o fortalecimento à cultura dos gestores de monitorar os gastos com os equipamentos em suas plantas. Devido a isso, cada vez mais se discute a utilização da metodologia LCCA. Assim, ao longo dos anos, grandes empresas verificaram que as decisões ligadas à aquisição de muitos dos seus ativos, principalmente aqueles com valores mais altos, não deveriam ser tomadas somente

com base nos custos iniciais de aquisição, mas sim contabilizando os custos de todo seu ciclo de vida útil (CORTIZO NETO, 2019).

Dhillon (2010) reitera esse argumento citando que experiências anteriores indicam que os equipamentos de engenharia adquiridos por um custo mais baixo podem não ser necessariamente aqueles que também custam menos para manter ao longo de sua vida útil. Mais especificamente, o custo de propriedade do equipamento pode ser bastante significativo e, frequentemente, excede o custo de aquisição. Surgindo como uma das principais alternativas para se mudar esse cenário, tem-se a ferramenta LCCA, a qual é utilizada neste trabalho para análise da viabilidade econômica de uma possível troca dos motores VN07 e VN08.

Assim, com o crescimento da ferramenta LCCA, as decisões de aquisição de muitos sistemas de engenharia, particularmente as de valor mais elevado, passaram a não ser tomadas com base nos custos iniciais de aquisição, mas sim de acordo com seus custos de ciclo de vida. De acordo com os estudos realizados por Akselsson e Burstrom (1994), o custo de propriedade do sistema de engenharia (isto é, custo logístico e operacional) poderiam variar de 10 a 100 vezes o custo de aquisição original.

Segundo Dhillon (2010), o LCCA de um sistema pode ser definido como a soma de todos os custos incorridos durante sua vida útil. O termo “análise do custo de ciclo de vida” foi utilizado de maneira oficial pela primeira vez em 1965, em um relatório intitulado “Custo do Ciclo de Vida na Aquisição de Equipamentos”. Este relatório foi elaborado pelo Logistics Management Institute, em Washington, DC, para o subsecretário de defesa responsável pelo setor de instalações e logística do Departamento de Defesa dos EUA.

Ainda de acordo com o autor, como resultado deste documento, o Departamento de Defesa publicou uma série de três guias para aquisições através do custo do ciclo de vida, intituladas de “Life Cycle Costing Procurement Guide”, “Life Cycle Costing in Equipment Procurement – Casebook”, e por fim o “Life Cycle Costing Guide for System Acquisitions”. Em 1971, o Departamento de Defesa Americano emitiu a Diretriz 5000.1, intitulada “Acquisition of Major Defense Systems”, se preocupando em solicitar uma análise dos custos do ciclo de vida para realizar a aquisição dos principais sistemas de defesa.

Dhillon (2010) afirma que em 1974 o conceito de LCCA foi formalmente adotado pelo estado da Flórida e posteriormente, em 1975, o Departamento de Saúde, Educação e Bem-Estar dos EUA iniciaram um projeto chamado “Life Cycle Budgeting and Costing as an Aid in Decision Making”, onde o levantamento de orçamentos aliados ao LCCA auxiliavam nas tomadas de decisão antes de se realizar a aquisição de equipamentos.

Segundo Lamar (1981), desde 1974, estados como Novo México, Alasca, Maryland, Carolina do Norte e Texas aprovaram leis que tornam a análise de custo do ciclo de vida obrigatória no planejamento, projeto e construção de todos os edifícios do estado.

Quatro anos depois, em 1978, o congresso dos EUA aprovou a Lei Nacional de política de conservação de energia, que tornou obrigatório que cada novo edifício federal tivesse um custo de ciclo de vida eficaz.

Ainda segundo o autor, em 1981, um artigo postado num jornal apresentou uma lista abrangente de publicações sobre o custeio do ciclo de vida.

Dhillon (2010) ressalta que, desde o princípio, a eficácia do LCCA, como técnica, depende da qualidade e quantidade de informações registradas pela organização responsável pelo estudo. Essas informações precisam ser coletadas antes, durante e após o ciclo de vida útil do ativo. O sistema de captação de dados e o feedback de informação será o fator determinante no sucesso ou fracasso da aplicação do LCCA.

2.2. Fundamentos do LCCA

Em diferentes literaturas, é possível encontrar bases para a fundamentação do LCCA que de modo geral se complementam, assim como pode-se encontrar em Dhillon (2010), onde os mesmos são descritos neste tópico.

2.2.1. Necessidades e informações necessárias para o cálculo do custo do ciclo de vida

De acordo com Dhillon (2010), a análise do custo do ciclo de vida vem sendo cada vez mais utilizada no contexto industrial para realizar as mais diversas tomadas de decisões. As principais razões para este crescimento são:

- Concorrência;
- Custos crescentes de operação e manutenção;
- Limitações orçamentárias;
- Produtos ou sistemas dispendiosos (por exemplo, sistemas militares, sistemas espaciais, aeronaves);
- Aumento da inflação;
- Maior conscientização da relação custo-benefício entre usuários de produtos, equipamentos e sistemas.

Vários tipos de informações são necessários para a realização dos estudos de custo de ciclo de vida. Estas incluem o custo de aquisição do item, a vida útil operacional em anos, o custo de manutenção anual, custos de transporte e instalação do item, taxas de desconto e escalonamento, o custo operacional anual do item, impostos (benefícios fiscais de depreciação e crédito de imposto de investimento) e o valor residual, ou custo de alienação do item (DHILLON, 2010).

Em qualquer caso, antes de iniciar um estudo de custeio do ciclo de vida, é importante buscar respostas sobre os seguintes tópicos (DHILLON, 2010):

- Definir meta da estimativa;
- Definir suposições e regras básicas a serem utilizadas;
- Tratamento de incertezas;
- Dados requeridos;
- Detalhes necessários das restrições relacionadas à análise e análise;
- Pessoal envolvido e a responsabilidade do analista de custos;
- Controlar e auditar o processo de custeio do ciclo de vida pela administração do vendedor e do comprador;
- Estimar os procedimentos a serem seguidos;
- Definir os usuários de análise de custo do ciclo de vida;
- Definir o formato da análise do custo do ciclo de vida;
- Cronograma de custos de ciclo de vida;
- Definir a precisão necessária a análise;
- Limitações de fundos.

Muitas atividades estão associadas ao custeio do ciclo de vida. Algumas delas incluem:

- Definir o ciclo de vida de um item ou de um produto;
- Identificar todos os direcionadores de custos;
- Estabelecer custos de ciclo de vida escalonados e descontados;
- Desenvolver uma estrutura analítica contábil;
- Estabelecer relações de estimativa de custos para cada um dos componentes da estrutura analítica de custos do ciclo de vida;
- Desenvolvimento de perfis constantes de custo do dólar;
- Definir atividades que geram a propriedade de um item ou de um produto custos;
- Realização de análise de sensibilidade apropriada;
- Identificar relações de causa e efeito.

2.2.2. Informações, Fontes de Informações e Feedback

Um banco de dados de custos de ciclo de vida deve incorporar informações como registros de padrão do usuário, registros descritivos (hardware e site), registros de custos e registros de procedimentos (operação e manutenção). Embora os dados da análise de custos do ciclo de vida possam ser obtidos de muitas fontes, sua quantidade e qualidade podem variar consideravelmente. Portanto, antes de iniciar um estudo de custo de ciclo de vida, é importante examinar cuidadosamente fatores como viés de dados, aplicabilidade de dados, disponibilidade de dados, comparabilidade de dados com outros dados existentes, orientação de dados para o problema em consideração e coordenação de dados com outras informações (ABRAHAM, 2003).

A captura de informação, feedback, análise e uso dentro de uma organização é multidisciplinar, mas o papel principal é tomado, necessariamente, pelos contadores da organização, uma vez que a maioria das informações é expressa em termos monetários. As informações solicitadas pela LCC envolverão dados financeiros, relacionados a tempo e de qualidade, associados aos custos de aquisição e custos operacionais subsequentes do ativo. É mais provável que as dificuldades estejam

associadas à obtenção e previsão dos elementos operacionais e de manutenção do ciclo de vida do ativo, identificados como:

- Taxa de falha e previsão de tempo de inatividade;
- Previsão de requisitos de reposição;
- Requisitos de manutenção;
- Previsão anual de custos de manutenção, por exemplo, como uma porcentagem dos custos de reposição.

Os dados e, portanto, as informações também precisam ser coletadas durante o ciclo de vida do ativo para facilitar o monitoramento do desempenho do ativo em operação e fornecer uma fonte de inteligência na qual basear as futuras decisões. É o sistema de feedback de captura de dados e informação que fecha o ciclo de controle e que, em termos práticos, será o fator que governará o sucesso ou falha do elemento LCC (ABRAHAM, 2003).

2.2.3. Valor Presente

O Valor Presente Líquido (VPL) é uma fórmula de matemática-financeira que tem como objetivo calcular o valor presente de uma série de custos futuros descontando uma taxa de custo de capital estipulada, ou índice. Dessa forma pode-se estimar custos que serão trabalhados no futuro em valores presentes. (BORGES, 2013)

Parte importante desse processo é a escolha do índice, onde faz-se necessário entender a atuação na economia e como o mesmo é calculado e constituído. Um exemplo de índice é IGP-M, que tem como finalidade medir o comportamento de preços em geral da economia brasileira, esse é calculado através de uma média aritmética ponderada de outros índices. O IGP-M é calculado pela FGV a cada trinta dias e é comparado a um termômetro de inflação, sendo usado como referência para correções de preços e valores contratuais (REIS, 2018).

Segundo o BCB o IGP-M é composto pelos seguintes índices:

- IPA que são os índices de preços no atacado representando 60% do IGP-M;

- IPC que é o índice de preços ao consumidor e mede a variação de preços entre as famílias que recebem renda de 1 a 33 salários mínimos nas cidades de São Paulo e Rio de Janeiro. O IPC pondera em 30% o IGP-M;
- INCC que é o Índice Nacional da Construção Civil, que mede a variação de preços no setor da construção civil, considerando no caso tanto materiais como também a mão de obra empregada no setor. O INCC pondera em 10% o IGP-M;
- IGP-DI ou Disponibilidade Interna é a consideração de variações de preços que afetam diretamente as atividades econômicas localizadas em território brasileiro. Não se considera as variações de preços dos produtos exportados;
- IGP-10 mede a variação entre os dias 11 de um mês ao dia 10 (inclusive) do mês subsequente. Porém não é válido como índice mensal por englobar cálculos de dois meses. É mais aplicado para estudos econômicos e outras atividades correlatas.

Desta forma este índice, apresenta-se como um índice geral da economia que leva em consideração diversos aspectos e por conta disso se mostra como o mais adequado para tal aplicação.

2.2.4. Análise de Incerteza e Sensibilidade

O LCC é altamente dependente das suposições e estimativas feitas durante a coleta de dados. Embora seja possível melhorar a qualidade dessas estimativas com o auxílio de dados históricos e métodos estatísticos, há sempre um elemento de incerteza associado a essas estimativas e premissas (ABRAHAM, 2003).

Macedo *et al* () identificaram as cinco principais fontes de incerteza a seguir:

- Diferenças entre o desempenho real e esperado dos subsistemas do sistema podem afetar os custos futuros de operação e manutenção;
- Mudanças nas premissas operacionais decorrentes de modificações nas atividades dos usuários;
- Futuros avanços tecnológicos que poderiam fornecer alternativas de menor custo e, assim, encurtar a vida econômica de qualquer um dos sistemas propostos;

- Mudanças nos níveis de preços de um recurso importante, como energia ou mão-de-obra, em relação a outros recursos podem afetar os custos futuros de alteração;
- Erros na estimativa de relacionamentos, taxas de preços para recursos específicos e a taxa de inflação nos custos gerais desde o momento da estimativa até a disponibilidade do ativo.

2.3. Gestão de Ativos

A gestão de ativos marca o início de uma nova era na administração, ela representa uma mudança cultural no planejamento estratégico das empresas que adicionam à tradicional visão sobre produtos e clientes a visão dos ativos e do valor que estes são capazes de gerar ao negócio. (ABRAMAN, 2019)

Segundo ABRAMAN (2019), a gestão de ativos materializou-se em 2009, quando em Zurich, na Suíça, foi criado o Global Forum on Maintenance & Asset Management. Esse fórum reuniu todas as associações de Gestão de Ativos do mundo e criou o procedimento técnico denominado PAS-55, que estabelece 28 pontos norteadores para as empresas de modo a aperfeiçoar o sistema de gerenciamento para todos os tipos de ativos físicos. Após uma revisão do documento, o comitê instituído para normatizações decidiu criar uma norma ISO para a Gestão de Ativos. A norma ISO-55000 foi então publicada em 2014 e amplia os conceitos da sua antecessora PAS-55, uma vez que inclui no seu escopo a possibilidade de gerenciamento de ativos intangíveis, como por exemplo a marca, os recursos humanos e a reputação da empresa.

Segundo a ISO 55000-1 (2014), um ativo é um item, coisa ou entidade que tem potencial ou valor real para uma organização. O valor deverá variar entre diferentes organizações e para as suas partes interessadas, podendo ser tangível ou intangível, financeiros ou não financeiro. O período desde a criação de um ativo até o final de sua vida é a vida útil. A vida de um ativo não coincide, necessariamente, com o período em que uma qualquer organização o tem sob sua responsabilidade.

Gestão de ativos é a atividade coordenada de uma organização para obter valor a partir dos ativos, o que envolve um equilíbrio entre custos, riscos e desempenho. Um sistema de gestão para a gestão de ativos tem a função de estabelecer a política

e os objetivos da gestão de ativos, ou seja, o sistema de gestão de ativos é um subconjunto da gestão de ativos (ISO 55000-1, 2014).

Em 2015 a International Copper Association (ICA) apontou que as normas trazem uma inovação quanto à vida do ativo físico, não mais limitada entre a aquisição e o descarte, mas sim entre a especificação e as responsabilidades remanescentes após o descarte. Desta maneira, tem-se uma política clara de renovação de ativos que devem ser substituídos não somente quando estão irremediavelmente danificados, mas quando:

- Os custos operacionais e de manutenção durante a vida restante do ativo excede o custo de substituição;
- Há risco iminente de falha do ativo;
- O impacto de uma provável falha supera o custo de substituição;
- Uma provável falha pode comprometer a confiabilidade e a segurança do sistema e de pessoas;
- Os ativos tornaram-se obsoletos e ineficientes para operar e manter o negócio;
- Os ganhos com a substituição implicam em melhoria de indicadores relativos à segurança de pessoas, do meio ambiente e desempenho da empresa.

A tomada de decisão para a substituição antecipada de ativos deve ser feita com base em informações precisas sobre as condições destes, garantindo através de análises e diagnósticos o melhor retorno do capital investido, a melhor performance operacional e o menor risco para a organização. Para que os objetivos estratégicos sejam alcançados, os planos de manutenção, reforma e renovação dos ativos devem fazer parte do planejamento anual (ICA, 2015).

De acordo com Davis (2016), a gestão de ativos é importante uma vez que traz como benefícios a redução dos custos totais de exploração e dos custos de capital de investimento base dos ativos; a melhoria do desempenho operacional dos ativos; a redução do potencial impacto sobre os riscos de segurança decorrentes da operação dos ativos; a minimização do impacto ambiental decorrente da operação dos ativos; a melhoria da reputação e do desempenho regulamentar da empresa; e a redução dos riscos legais associados à operação dos ativos. A chave para uma boa gestão de

ativos é otimizar os benefícios descritos, ou seja, atingir o melhor equilíbrio para todos esses itens e para o benefício da organização.

2.4. Evolução da Manutenção

Diante a evolução industrial e por consequência o aumento do nível de complexidade de instalações e equipamentos, aumentou-se as responsabilidades e os objetivos da manutenção. Atualmente existe uma crescente conscientização de quanto uma falha é prejudicial ao meio ambiente e a sociedade, e a relação direta de manutenção com a qualidade do produto. Portanto a elevação de cobranças para entregar sempre alta disponibilidade de equipamentos, redução de custos, elevação da confiabilidade são elementos que confeccionam novas expectativas sobre as equipes de manutenção.

A evolução da manutenção é estudada através de 3 gerações conforme Moubay (2000).

2.4.1. Primeira Geração

Neste período a indústria é caracterizada pelo seu baixo nível de mecanização, logo era extremamente dependente do fator humano, onde as recuperações de falha não tinham grande atenção. Este período se estende até a 2ª Guerra Mundial, onde os equipamentos em maioria eram simples e superdimensionados, com fácil manutenção e as atividades de manutenção consistem em limpeza e lubrificação (MOUBRAY, 2000).

2.4.2. Segunda Geração

Diante a 2ª Guerra Mundial houve incentivos para fabricação de bens de todos os tipos, aumentando a pressão de demanda e ainda com a baixa oferta de mão de obra. Diante desse cenário pouco favorável, deu-se início ao processo de mecanização dos equipamentos, e aumentou-se a preocupação de tempo de parada de máquina (*downtimes*). Portanto, essa situação deu início a uma cultura da

manutenção que consta na distanciação de falhas, desenvolvendo o conceito de manutenção preventiva (MOUBRAY, 2000).

Por consequência, foi necessária a criação de sistema de planejamento e controle de manutenção (PCM), devido a maior quantidade de equipamentos, maior investimento em ativos, interesse no acréscimo de vida útil, aumentando também os custos de manutenção (MOUBRAY, 2000).

2.4.3. Terceira Geração

Na terceira geração, as expectativas circundantes à manutenção cresceram conforme a listagem abaixo:

- Maior vida útil dos equipamentos;
- Ausência de danos ao meio ambiente;
- Maior disponibilidade e confiabilidade;
- Maior segurança;
- Melhor qualidade dos produtos.

Com os aspectos de produção puxada pelos consumidores, redução de estoques as paradas de equipamentos são questões chave no ponto de vista produtivo. O acréscimo drástico de normas de segurança, padrões ambientais e seu cumprimento se tornou pré-requisito por parte do cliente. Os ativos por conta da mecanização e automação representam maior custo de operação e com intuito de garantir maior retorno de investimentos, eles precisam funcionar eficientemente pelo tempo esperado (MOUBRAY, 2000).

Conforme situação descrita, as empresas buscam desenvolver atividades de manutenção com curto tempo de parada, com boa confiabilidade na entrega do serviço, com a otimização de mão de obra, reduzindo os custos de manutenção e produção, agregando elevados padrões de qualidade, segurança e meio ambiente. Esse esforço é representado por indicadores chave de manutenção e estudo de confiabilidade.

2.5. Visão Geral dos Motores Elétricos

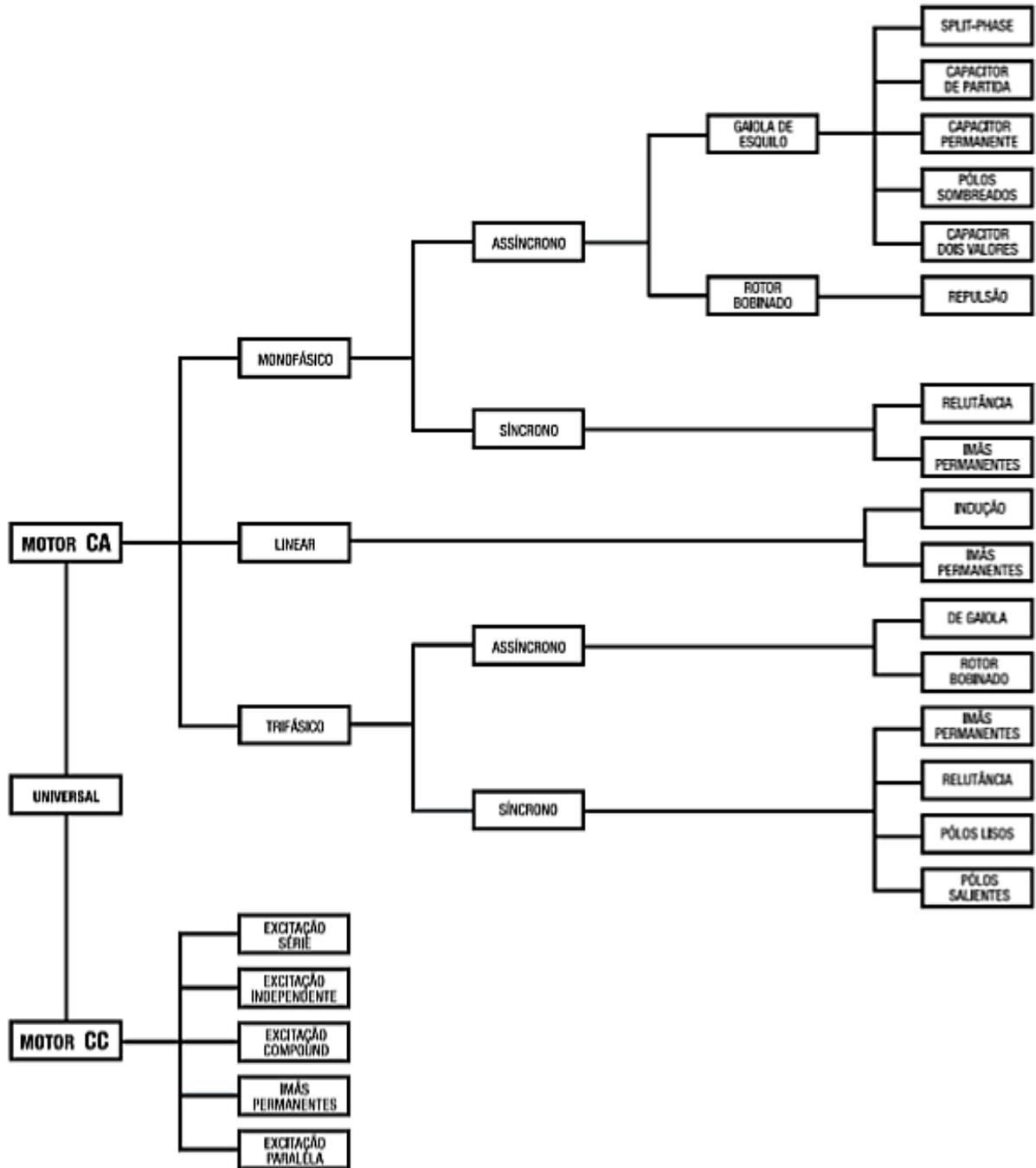
O motor elétrico é uma máquina destinada a transformar energia elétrica em energia mecânica que está presente em praticamente todas as instalações industriais, comerciais e residenciais devido à sua tecnologia simples e eficiente.

Estima-se que mais de 40% de toda a potência elétrica consumida no país é destinada ao acionamento de motores elétricos em geral. No setor industrial como um todo, pouco mais da metade da potência elétrica é consumida por motores (FILIPPO, 2000).

Existem diversos tipos de motores elétricos, os quais são divididos em três grandes famílias. A primeira é a família dos motores acionados por corrente contínua (motores CC), a segunda é a dos motores acionados por corrente alternada (motores CA) e, por último se tem a família dos motores universais, que podem ser acionados tanto por corrente contínua, como por corrente alternada.

Na Figura 04, mostra-se um diagrama simplificado do universo tecnológico de motores elétricos, no qual se obtém uma noção da ampla variedade de projetos elétricos nas três famílias citadas acima.

Figura 3 - O Universo Tecnológico de Motores Elétricos.



Fonte: WEG, 2017.

Os motores CC são de custo mais elevado e precisam de uma fonte de corrente contínua ou de um dispositivo que converta a corrente alternada comum em contínua. Podem funcionar com velocidade ajustável entre amplos limites e se prestam a controles de grande flexibilidade e precisão. Seu uso é restrito a casos especiais em

que estas exigências compensam o custo muito mais alto da instalação e da manutenção (WEG, 2017).

Os motores de corrente alternada são os mais utilizados, uma vez que a distribuição de energia elétrica é feita normalmente em corrente alternada. Seus principais tipos são o motor síncrono, que funciona com velocidade fixa e que é utilizado normalmente para grandes potências, e o motor de indução, que funciona normalmente com uma velocidade constante e que, devido a sua grande simplicidade, robustez e baixo custo, é o motor mais utilizado de todos (WEG, 2017).

3. METODOLOGIA

Ao longo dos anos, para que se tornasse possível a avaliação do custo de ciclo de vida, muitos modelos, gerais e específicos, surgiram. No entanto, nenhum modelo de custo de ciclo de vida foi aceito como modelo padrão no setor industrial. Dentre outras razões para que este fato ocorresse se exemplificam: as preferências dos usuários, a natureza do problema, a existência de muitos sistemas diferentes de coleta de dados de custos e muitos tipos diferentes de equipamentos, dispositivos ou sistemas. (DHILLON, 2010)

Para o desenvolvimento deste trabalho a equipe optou por utilizar dois modelos apresentados por Dhillon (2010) em seu livro *Life Cycle Costing for Engineers* (Custeio de Ciclo de Vida para Engenheiros). Para os motores elétricos em operação atualmente, foi adotado o modelo geral de custo do ciclo de vida I (DHILLON, 2010, p. 44-45.). Já para os motores novos, ou seja, aqueles cuja aquisição estava sendo considerada no momento da elaboração deste trabalho, optou-se por utilizar o método para cálculo do LCCA de equipamentos novos (DHILLON, 2010, p. 34-40.).

3.1. Motores Elétricos Atuais

O modelo geral de custo do ciclo de vida I (DHILLON, 2010) determina que o custo de ciclo de vida de um equipamento como sendo dividido em duas partes principais: custo recorrente e custo não recorrente. Assim, o custo do ciclo de vida é expresso pela **Erro! Fonte de referência não encontrada.** a seguir:

$$LCC = RC + NRC \quad (1)$$

em que LCC , RC e NRC são respectivamente o custo do ciclo de vida do equipamento, o custo recorrente e o custo não recorrente.

Para realizar estudos de custo de ciclo de vida muitas informações se fazem necessárias. Estes incluem o custo de aquisição do item, a vida operacional útil do item em anos, o custo de manutenção anual do item, custos de transporte (entrega) e instalação do item, taxas de desconto e escalonamento, o custo operacional anual do

item, impostos (por exemplo, benefícios fiscais de depreciação, crédito de imposto de investimento) e o valor residual ou o custo de alienação do item.

Todos os valores descritos acima, que se fazem necessários para a aplicação do LCCA realizado neste estudo, estão presentes na **Erro! Fonte de referência não encontrada.**, através dos custos recorrentes (RC) e dos custos não recorrentes (NRC). A seguir, pode-se visualizar através das Equações **Erro! Fonte de referência não encontrada.** e **Erro! Fonte de referência não encontrada.** a composição dos custos recorrentes e não recorrentes.

$$RC = OC + IC + SC + MC + MTC \quad (2)$$

Onde OC , IC , SC , MC e MTC são respectivamente Custo Operacional, Custo de Estoque, Custo de Suporte, Custo de Mão de Obra e Custo de Manutenção.

$$NRC = C_p + C_i + C_q + C_r + C_t + C_{rm} + C_s \quad (3)$$

Onde C_p , C_i , C_q , C_r , C_t , C_{rm} e C_s são respectivamente Custo de Aquisição, Custo de Instalação, Custo de Aprovação da Qualificação, Custo de Pesquisa e Desenvolvimento, Custo de Treinamento, Custo de Melhoria de Confiabilidade e Manutenção e Custo de Suporte.

3.1.1. Custos Recorrentes

Os custos recorrentes são aqueles ligados a despesas contínuas, ou seja, que têm uma periodicidade em sua aplicação. Podem ser citados como exemplos: o custo com energia de uma casa, onde sua periodicidade é mensal e o custo com emplacamento de um carro, sendo esse anual (OLIVEIRA, 2000).

Para compor o custo recorrente, foram considerados:

- Custo Operacional;
- Custo de Estoque;
- Custo de Suporte;
- Custo de Manutenção;
- Custo de Mão de Obra.

Estes fatores serão abordados nos itens a seguir:

Custo Operacional

Sabe-se que motores elétricos apresentam bom rendimento e versatilidade de aplicação e, por conta disso, são intensamente utilizados na indústria, onde, conseqüentemente, são responsáveis por uma grande parte do consumo geral de energia elétrica (WEG, 2019).

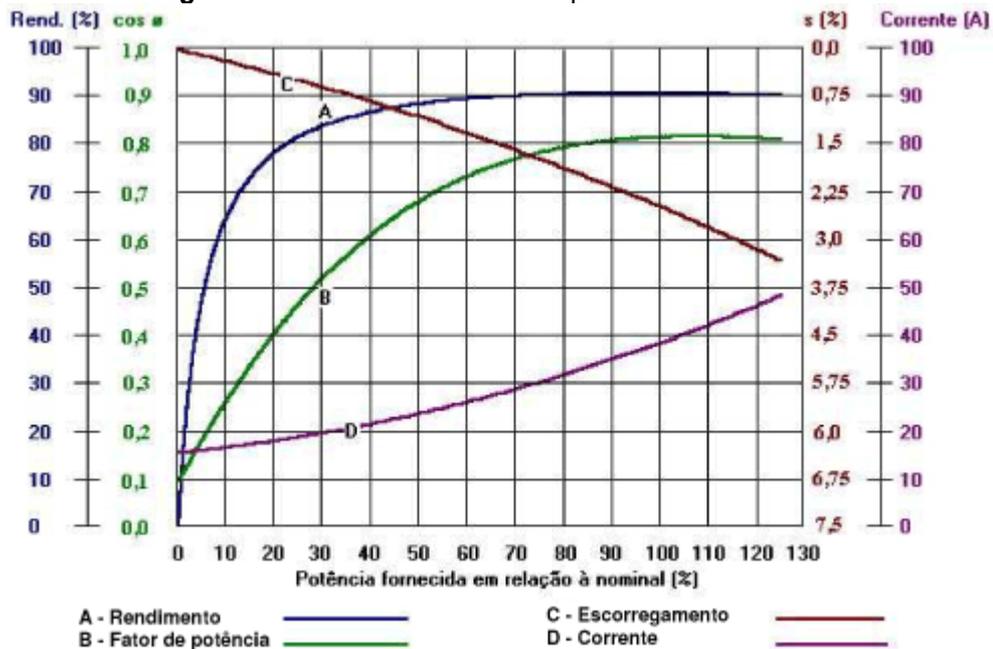
Segundo WEG (2017), a potência mecânica que deve ser desempenhada por um motor em um sistema pode ser calculada utilizando a **Erro! Fonte de referência não encontrada.** abaixo:

$$P_{mo} = T * \omega \quad (4)$$

Onde P_{mo} , T e ω são respectivamente potência mecânica do motor em quilowatts (kW), torque ou momento em Newton metro (Nm), velocidade angular em radianos por segundo (rad/s).

Para todo motor elétrico existe uma curva característica de rendimento ou eficiência. Sabe-se que, para cada regime de operação, existe uma eficiência condizente, a qual depende do modelo do motor aplicado, fabricante do equipamento e suas características técnicas. O gráfico ilustrado na Figura 5 retrata uma curva característica genérica de motores elétricos.

Figura 4 - Curvas características típicas de motor elétrico



O cliente possui 2 motores operando simultaneamente, um em regime de 100% da capacidade rotacional e o outro a 20%. O motor que opera em capacidade mais baixa é classificado pela empresa como um equipamento *de backup* do sistema.

Como não foram disponibilizados os valores, e nem as curvas características de eficiência para ambos motores a 20%, foram adotadas as curvas genéricas presentes na figura 5 para efeito de cálculo.

Segundo a WEG (2017), a potência pode ser classificada como a “velocidade” com que a energia é aplicada ou consumida. Desta forma, deve ser avaliada a velocidade com que a energia é consumida pelos dois motores (atual e proposto), em um mesmo sistema mecânico.

Os equipamentos VN 07 e 08 são compostos de ventilador (exaustor), mecanismo de acoplamento (motor-ventilador), e do motor elétrico (objeto de estudo). Sabe-se que o sistema de ventilação necessita de uma potência mínima para ser movimentado a uma correspondente velocidade.

Assim, utilizando a Equação 4, encontra-se o torque necessário para movimentar o motor na velocidade especificada, o qual será comum para ambos motores (atual e proposto).

Feito isso, é calculado o torque do sistema, e então relaciona-se este resultado com a velocidade de rotação de cada motor (atual e proposto), encontrando, por fim, a potência mecânica consumida.

A potência mecânica encontrada é aplicada na Equação 5 a seguir, para calcular o custo operacional, onde C_{op} , P_{mo} , C_e e t são, respectivamente, custo operacional anual do motor, em reais, potência consumida do motor, em Watts, custo da energia, em reais por quilowatt hora (R\$/kWh), e tempo, em horas correspondente a um ano.

$$C_{op} = \frac{P_{mo}}{EFF} * C_e * t \quad (5)$$

Custo de Estoque

Todos os valores referentes aos gastos com a manutenção dos itens do armazém, assim como a aquisição dos mesmos, todos os custos relacionados com o material enquanto componente do armazém têm que ser somados e assim gerando o custo de estoque. Vale ressaltar que dentre estes valores que serão somados não entra logística de saída dos materiais, desde que este ao sair do local armazenado não é mais componente do mesmo. São exemplos de valores dos custos de estoque: custo de pedido e custo de manutenção de estoque (LIMA, 2010).

Custo de Suporte

O custo de suporte, entendido como uma atividade recorrente, pode ser considerado como um valor adicional desembolsado regularmente para amparar uma atividade, função ou equipamento. Por exemplo, para a revisão de garantia anual de um guindaste da empresa, faz-se necessário encaminhá-la à concessionária onde a mesma foi adquirida. Como esse veículo não pode trafegar em vias urbanas, o mesmo necessita ser transportado com o auxílio de um veículo específico, fretado pela empresa. O valor referente ao transporte do equipamento para a concessionária pode ser considerado como um custo de suporte recorrente, visto que o mesmo irá acontecer com uma frequência anual (MARTINS, 2015).

Custo de Manutenção

A manutenção é definida como a combinação de todas as ações técnicas, administrativas e gerenciais durante o ciclo de vida de um item, destinado a ser retido ou restaurado, no qual ele pode executar sua função pretendida (BRADLEY, 2002). Ela está presente durante todo o ciclo de vida de um ativo, e é um fator importante de forma econômica, não só para o ativo, mas para toda a estratégia econômica da empresa.

Para o cálculo do LCCA o custo de manutenção será dividido em duas partes: serviços externos e internos.

Os serviços externos são aqueles executados fora dos limites da fábrica quando se faz necessária a retirada do equipamento e o seu transporte até a empresa terceirizada. A empresa em estudo optou por terceirizar a manutenção dos motores. Para isso, os mesmos devem ser desacoplados, preparados para transporte e transportados até a empresa realizadora do serviço (CHAN, et al., 2008).

Por sua vez, os custos de serviços internos são aqueles executados dentro das intermediações da fábrica e com mão de obra interna. Nesse trabalho foram considerados como serviços internos os seguintes procedimentos: Lubrificação; Manutenção Corretiva; Manutenção Preventiva; Manutenção Preditiva.

I. Lubrificação

A lubrificação é uma forma de se diminuir as dificuldades apresentadas pelas características do atrito, a mesma consiste em introduzir uma substância adequada entre superfícies sólidas que estejam mantendo contato e executando movimentos relativos. Essa substância apropriada costuma ser um óleo ou graxa que impede o contato direto entre as superfícies sólidas (CHAN, et al., 2008).

De acordo com o Manual geral de instalação, operação e manutenção de motores elétricos da WEG 2019, a correta lubrificação é de vital importância para o bom funcionamento do motor. Para isso é essencial utilizar o tipo e quantidade de graxa ou óleo especificados e seguir os intervalos de lubrificação recomendados para os mancais.

II. Manutenção Corretiva:

A manutenção corretiva é definida como sendo qualquer manutenção realizada com o objetivo de restaurar as condições iniciais e ideais de operação de máquinas e

equipamentos, eliminando as fontes de falhas que possam existir. Dependendo do contexto, a manutenção corretiva pode ocorrer em duas situações distintas: devido a uma avaria inesperada e não planejada que tenha ocorrido, manutenção corretiva não planejada, ou, em segundo caso, devido ao relato de problema identificado através de um programa de monitoramento das condições do equipamento, manutenção corretiva planejada (C. SHEUT & L. J. KRAJEWSKI, 1994)

Desta forma temos a seguinte descrição para os métodos de manutenção corretiva planejada e não planejada:

Manutenção Corretiva Não Planejada:

Otani e Machado (2008) descrevem a manutenção corretiva não planejada como a correção da falha ou do desempenho abaixo do esperado. É realizada sempre após a ocorrência do fato, sem acompanhamento ou planejamento anterior, aleatoriamente. Implica em altos custos e baixa confiabilidade de produção, já que gera ociosidade e danos maiores aos equipamentos, muitas vezes irreversíveis.

Manutenção Corretiva Planejada:

É a correção que se faz em função de um acompanhamento preditivo, detectivo, ou mesmo pela decisão gerencial de se operar até a falha do equipamento. Vale ressaltar que esse tipo de manutenção é deliberada. Ocorre, por exemplo, pela decisão gerencial de operar até a falha ou em função de um acompanhamento preditivo.

De maneira geral, esse tipo de manutenção, apesar de simples, pode levar a custos elevados, associados a: estoque de peças sobressalentes, trabalho extra, custo ociosidade de máquina e baixa disponibilidade de produção (ALMEIDA, 2000).

III. Manutenção Preventiva

A Manutenção preventiva visa eliminar ou reduzir a probabilidade de falhas por manutenção (limpeza, substituição e verificação) das instalações em intervalos de tempo pré-planejados.

Esse tipo de manutenção tem de ser fundamentada com boa análise de previsão, fiabilidade e financeira, no sentido de avaliar o benefício da sua utilização. Pressupõe um vasto conhecimento dos equipamentos ou itens alvos de manutenção e disponibilidade em termos de mão-de-obra para a sua execução (PEREIRA, 2009).

IV. Manutenção Preditiva

A manutenção preditiva tem como base o acompanhamento da condição de máquinas e equipamentos através do monitoramento regular do valor de grandezas físicas indicativas de falhas críticas. Este monitoramento é feito através da coleta e análise de dados, por instrumentação específica, e permitem ao especialista realizar o diagnóstico de falhas presentes na máquina bem como inferir sobre o prognóstico de uma possível falha funcional. Desta forma, é entendida como uma aliada importante às ações de gerenciamento da manutenção.

A manutenção preditiva pode ser descrita também como a execução da manutenção no momento adequado, antes que o equipamento apresente falha, e tem a finalidade de evitar a falha funcional ou evitar as consequências desta (MOUBRAY, 2000).

Custo de Mão de Obra

Segundo ROCHA (1992), o custo de mão de obra compreende todos os gastos relacionados à alocação desse em serviços de manutenção.

Na empresa do estudo em questão, os funcionários são alocados em atividades de manutenção, as quais possuem um determinado custo interno para a empresa, o que é avaliado através do indicador homem-hora, ou H/H, que se refere ao valor da hora de um trabalhador (VENTURIN, 2019).

3.1.2. Custos Não Recorrentes

Uma vez que os custos recorrentes são aqueles ligados a despesas contínuas, os custos não recorrentes são aqueles que não têm uma periodicidade definida, ou seja, podem surgir a qualquer momento, e somente uma vez ou mais (DHILLON, 2010).

O custo não recorrente leva em consideração os seguintes fatores:

- Custo de Aquisição;
- Custo de Instalação;
- Custo de Aprovação da Qualificação;
- Custo de Pesquisa e Desenvolvimento;
- Custo de Treinamento;

- Custo de Melhoria de Confiabilidade e Manutenção;
- Custo de Suporte.

Estes fatores serão calculados nos itens a seguir:

Custo de Aquisição

No momento da aquisição de equipamentos, com exceção dos tributos recuperáveis, todos os custos envolvidos são tratados como custo de aquisição, exemplos desses, transporte do equipamento e impostos envolvidos nesse processo, podendo ser eles nacionais ou internacionais (PECHT, 1995).

Custo de Instalação

Custo de instalação envolve todas as despesas para realizar a implementação do equipamento, preparando para funcionamento. Envolvendo custos de alocação de pessoal qualificado para partida do equipamento, despesas com materiais básicos, equipamentos para testes antes de partida, dentre outros custos que se tornam específicos para cada situação existente (PECHT, 1995).

Custo de Aprovação da Qualificação

A maioria dos equipamentos que são utilizados em processos industriais, necessitam de certificação para estar comprovada a segurança do seu uso. Essa despesa com recursos humanos que por vezes para além de certificar deve realizar qualificações no equipamento são consideradas o custo de aprovação da qualificação (SAE, 1993).

Custo de Pesquisa e Desenvolvimento

O custo de pesquisa e desenvolvimento está relacionado a atividades de longo prazo, alocando os recursos humanos e financeiros para desenvolvimento de tecnologia e ciência, entregando benefícios em questões de eficiência, viabilidade econômica, originalidade, dentre outros aspectos (SAE, 1993).

Custo de Treinamento

Os custos de treinamento referem-se a todo e qualquer tipo de ação que está envolvida com a capacitação dos funcionários da empresa, a qual têm como principal

objetivo ampliar os conhecimentos específicos acerca de uma operação ou tarefa (KECECIOGLU, 1995).

Para o emprego da mão de obra em determinadas atividades específicas, por vezes é necessária capacitação para desempenho destas tarefas, este processo exige investimento por parte da empresa, seja disponibilizando o curso de forma interna, ou com o envio do funcionário para curso externo a fim de obter-se conhecimento e certificado para o desempenho das atividades específicas. (KECECIOGLU, 1995)

O treinamento pode ser fornecido de forma introdutória, quando o funcionário nunca teve contato com aquela determinada operação ou tarefa, e também pode ser fornecido como forma de reciclagem, de maneira que o funcionário irá relembrar os procedimentos e métodos mais adequados para a realização da tarefa, lembrando a importância de se evitar alguns vícios cotidianos (KECECIOGLU, 1995).

Custo de Melhoria de Confiabilidade e Manutenção

O custo de melhoria de confiabilidade e manutenção está relacionado a todo investimento em *retrofits* do equipamento, buscando facilitar a manutenção do equipamento, a sua acessibilidade que podem resultar na redução do tempo da manobra de manutenção, aplicação de novos sistemas para monitoramento de falhas e suas correções, compra de sistemas auxiliares que aumentam o tempo de funcionamento do equipamento de forma segura, são custos deste tópico (KECECIOGLU, 1995).

Custo de Suporte

O custo de suporte pode ser considerado como um valor adicional utilizado para amparar uma atividade, função ou equipamento. Por exemplo, na aquisição de motores elétricos de grande porte, se faz necessária a compra e a instalação de um inversor com o objetivo de reduzir a rotação dos mesmos para um valor adequado ao processo. O custo para implementação desse sistema, incluindo o aluguel de equipamentos como empilhadeiras, guindastes, manilhas e outros, são considerados custos de suporte (KECECIOGLU, 1995).

Custo Comparativo de Equipamentos

Após fazer o levantamento de todos os custos e aplicação do LCCA, será realizado o cálculo do custo médio anual (CMA), o custo médio mensal (CMM) e a média de custo entre os dois equipamentos (média mensal por motor, MMM). Desta forma, torna-se mais fácil avaliar e comparar o LCCA desenvolvido para os dois modelos de motor, atualmente utilizados e equipamentos propostos, feito conforme a **Erro! Fonte de referência não encontrada.**

$$CMA = \frac{LCC}{15} \quad (6)$$

Ao calcular o CMA deve ser feito também o custo médio mensal (CMM) com o mesmo intuito, conforme a **Erro! Fonte de referência não encontrada.**

$$CMM = \frac{CMA}{12} \quad (7)$$

Para efeito comparativo entre os motores (atualmente utilizado e equipamento proposto) e melhor visualização dos valores calculados de custo médio mensal, será calculada a média mensal do custo entre os dois motores, conforme **Erro! Fonte de referência não encontrada.** abaixo:

$$MMM_{médio} = \frac{CMM_{VN07} + CMM_{VN08}}{2} \quad (8)$$

3.2. Motores Elétricos Propostos

Conforme afirmado anteriormente, o LCCA busca desenvolver e entregar o custo total durante o ciclo de vida esperado do equipamento. O mesmo pode ser aplicado não somente para equipamentos já em operação quanto para sistemas que se deseje adquirir. Para isso os custos envolvidos no cálculo devem ser fornecidos pelo fabricante do equipamento e pelas instituições envolvidas no processo de compra, desta forma é possível estimar o montante total do custo de ciclo de vida de um equipamento que ainda nem foi utilizado e que não possui dados disponíveis para construção de uma análise. Portanto, o LCCA apresenta-se como uma eficiente ferramenta já que se aplica a ambas situações.

Para o desenvolvimento da análise LCCA dos motores elétricos de corrente alternada a serem implementados ao sistema de exaustão, optou-se por utilizar o método apresentado por Dhillon (2010) para cálculo do LCCA de equipamentos novos. Este método leva em consideração os seguintes itens: Custo de Aquisição; Vida Útil Esperada; Taxa de Falha Anual; Custo de Falha; Taxa de Juros Anual; Custo de Operação Anual.

O Custo de Aquisição e o Custo de Operação Anual foram definidos anteriormente no tópico 3.1.1 e serão utilizados para a análise em questão. Os demais itens serão definidos nos tópicos a seguir.

3.2.1. Vida Útil Esperada

A vida útil esperada é o tempo em anos que se acredita que o sistema desempenhe seu papel com o mesmo nível de eficiência de quando foi fornecido. Este tempo deve ser disponibilizado pelo fabricante ou o cliente deve determinar por quanto tempo ele espera que o equipamento funcione (FABRYCKY; BLANCHARD, 1991).

3.2.2. Taxa de Falha Esperada

A taxa de falha diz respeito ao índice de falhas num determinado intervalo de tempo. Pode ser resultado de um acompanhamento durante a vida do equipamento, descrevendo curvas de falhas de sistemas eletromecânicos, que é o caso aqui desenvolvido. Este índice pode ser calculado, no caso de um equipamento já em funcionamento e com histórico de falhas registrado, ou ser encontrado em livros ou projeto de desenvolvimento que correlacionem condições de operação, potência do equipamento e tamanho da planta no qual é aplicado (FABRYCKY e BLANCHARD, 1991).

3.2.3. Custo de Falha

O custo de falha corresponde ao valor médio que se gasta em uma única falha para reposição da funcionalidade do equipamento (DHILLON, 2010).

3.2.4. Taxa de Juros Anual

Para aquisição do equipamento industrial o cliente utiliza financiamento junto a algum órgão credor. Neste caso a empresa opta pelo financiamento através do FINAME que é um programa de financiamento do BNDES, empresa pública federal, com o objetivo de prover financiamento em longo prazo e apoio em investimentos em todos os segmentos da economia.

De acordo com o BNDES (2019), a utilização deste tipo de crédito leva em conta o encargo tributário da taxa de juros anual, que neste tópico é contabilizada para efeitos de cálculo de LCCA. O tributo é uma composição do Custo Financeiro que pode vir através da TLP (Taxa de Longo Prazo) ou Selic, a taxa do BNDES que é informada pela própria instituição sendo 9,31% ao ano (a.a.). A taxa do agente financeiro que é o responsável pela intermediação entre a instituição financeira e o cliente é de 1,5% ao ano (a.a.), conforme informação do cliente.

3.2.5. Cálculo do LCCA

Após coleta das informações relacionadas com os custos descritos acima, calcula-se o LCCA a partir da **Erro! Fonte de referência não encontrada..**

$$LCCA = PC_a + PV_{af} + PV_{ao} \quad (9)$$

Onde $LCCA$, PC_a , PV_{af} e PV_{ao} são respectivamente Análise do Custo do Ciclo de Vida do Equipamento, Custo de Aquisição, Custo de Falha e Custo de Operação.

Para determinação do valor presente do custo de falha (PV_{af}) é necessário calcular o custo esperado de falhas por ano (C_{fa}), que é dado pela **Erro! Fonte de referência não encontrada..**

$$C_{fa} = \text{Custo de falha} * \text{Taxa de falha anual} \quad (10)$$

Após calcular o custo anual de falhas (C_{fa}), é calculado o valor presente do custo de falha em um ciclo de vida, que segue a **Erro! Fonte de referência não encontrada..**

$$PV_{af} = C_{fa} \left[\frac{1 - (1 + i)^{-k}}{i} \right] \quad (11)$$

Onde i e k são respectivamente Taxa de Juros Anual e Tempo de Vida Útil do equipamento em anos.

Para cálculo do valor presente do custo operacional do ciclo de vida (PV_{ao}) é similar ao cálculo do valor presente de falha e leva em consideração o custo de operação do equipamento (C_{mo}), desta forma tem-se:

$$PV_{ao} = C_{op} \left[\frac{1 - (1 + i)^{-k}}{i} \right] \quad (12)$$

Após calculado o LCCA é necessário ser desenvolvido o custo médio anual (CMA), custo médio mensal (CMM) e a média mensal do custo entre os dois motores (MMM) conforme apresentado anteriormente.

3.3. Cálculo do prazo de recuperação do capital investido

Uma tática compartilhada entre grandes empresas e também pequenos e médios investidores antes da realização da aquisição de qualquer tipo de produto ou serviço, é a análise de payback.

Segundo a Rockcontent (2018), esta análise permite avaliar quanto tempo irá levar para que se recupere o valor inicialmente investido.

Nos tópicos a seguir, serão mostradas as equações utilizadas para obtenção da análise, a qual será calculada nos tópicos posteriores.

Motores Atuais:

Conforme os cálculos realizados para o desenvolvimento do LCCA, serão utilizados os resultados referentes aos custos recorrentes dos equipamentos atualmente utilizados dentro do período de uso e dispostos na Tabela 12.

O Custo Recorrente Atual Total (CRA_{total}), será calculado a partir da soma dos custos recorrentes de toda a vida útil dos dois motores atualmente utilizados, conforme Equação 13:

$$CR_{tot} = CR_{VN07} + CR_{VN08} \quad (13)$$

Para efeito de cálculo do *payback* em anos, o valor acima será dividido pelo tempo de vida útil dos motores, resultando em Custo Recorrente Total Anual (CR_{anual}), conforme Equação 14:

$$CR_{anual} = \frac{CR_{tot}}{Vida \text{ Útil}} \quad (14)$$

Motores Propostos:

A partir dos cálculos realizados para o desenvolvimento do LCCA, pode-se constatar que os custos recorrentes dos motores elétricos propostos são: Custo de Falha e Custo de Operação.

A partir do resultado do Custo de Falha que será obtido na Equação 14, é possível duplicar esse valor e encontrar o montante referente a este custo para os dois motores propostos. Portanto, tem-se o Custo de Falha Total (AF_{total}), conforme Equação 15 abaixo:

$$AF_{total} = PV_{af} * 2 \quad (15)$$

Os resultados do Custo de Operação para cada um dos motores propostos serão obtidos na Equação 15, é possível somar esses valores e encontrar o montante total referente a este custo. Portanto, tem-se o Custo de Operação Total (AO_{total}), conforme Equação 16 abaixo:

$$AO_{total} = PV_{ao1} + PV_{ao2} \quad (16)$$

O Custo Recorrente Proposto Total (CRP_{total}), será calculado a partir da soma do Custo de Falha Total e do Custo de Operação Total, conforme Equação 17 abaixo:

$$CRP_{tot} = AF_{anual} + PV_{total} \quad (17)$$

Para efeito de cálculo do *payback* em anos, o valor acima será dividido pelo tempo de vida útil pretendido, resultando em Custo Recorrente Total Anual (CR_{anual}), conforme Equação 18 abaixo:

$$CR_{anual} = \frac{CR_{tot}}{Vida \text{ Útil}} \quad (18)$$

Análise Payback:

A economia anual (Eco_{anual}) é a diferença dos custos recorrentes anuais entre os motores atualmente utilizados e os motores propostos para substituição, conforme Equação 19 abaixo:

$$Eco_{anual} = (CRA_{anual} - CRP_{anual}) \quad (19)$$

Para o cálculo, deve ser utilizado o capital total investido na compra dos dois motores elétricos propostos, e a partir disso desenvolver a Equação 20 abaixo. Desta forma o *payback* será calculado e o seu valor será representado em anos:

$$Payback = \frac{Investimento \text{ Inicial}}{Eco_{anual}} \quad (20)$$

4. RESULTADOS E ANÁLISE

4.1. Motores Elétricos Atuais

No item 3, foram conceituados cada um dos custos que foram levados em consideração para a realização do LCCA nos motores elétricos (VN 07 e 08), tornando possível a compreensão dos dados que serão descritos no presente tópico.

De acordo com o que foi informado pela empresa, os motores foram adquiridos no ano de 2003. Sendo assim, para efeito de cálculos, foi considerado como período de análise dos motores de 2003 até 2018, uma vez que o estudo está sendo realizado em 2019.

Será dado seguimento ao trabalho através de uma descrição detalhada de como foram calculados os custos recorrentes e não recorrentes. Todos os dados que serão descritos a seguir foram coletados ou calculados de acordo com as informações cedidas pela empresa contratante, onde a mesma as avaliou e validou.

4.1.1. Custos Recorrentes

Conforme exposto no subcapítulo 3.1.1, os custos recorrentes são constituídos por: custo operacional; custo de estoque; custo de suporte; custo de manutenção e custo de mão de obra.

A seguir, são apresentados a análise e os resultados dos mesmos através dos dados que foram disponibilizados à equipe:

Custo Operacional

O custo operacional levou em consideração o consumo de energia elétrica de cada um dos motores.

Para realização do cálculo deste custo, foram adotadas as seguintes considerações:

- O período de operação admitido foi de abril de 2003 até dezembro de 2018, totalizando 16 anos;
- O valor pago por kW de eletricidade é de R\$0,20;

- Os motores funcionam em regimes rotacionais diferentes, onde um motor está sempre operando a 100% de sua velocidade rotacional (930 RPM), enquanto o outro opera a apenas 20% (186 RPM);
- Cada motor possui potência de 450 kW, o que equivale a 603,46 HP;
- Conforme informação da ficha técnica do motor, seu rendimento é de 95,1% a 100% da velocidade rotacional;
- Utilizando o gráfico da Figura 5, o rendimento adotado para o motor a 20% da capacidade rotacional é de 78%;
- Com relação ao regime de funcionamento dos motores, a empresa informou que ambos funcionam sempre 24 horas por dia e 7 dias na semana.

Na Tabela 1 a seguir, encontram-se as características técnicas do sistema de exaustão.

Tabela 1 - Dados técnicos do sistema de exaustão

Dados	Valores
Velocidade de rotação	810 rpm
Eficiência total do ventilador incluindo seus acessórios	85,90%
Perda na entrada	20,00 mmCE
Perda na saída	15,00 mmCE
Pressão de cálculo do comprimento nulo do ventilador do difusor	304 mmCE
Área de saída do difusor	2,1520 m ²
Potência aérea absorvida (350 °C)	334 HP
Potência aérea absorvida com poeira (350 °C)	334 HP

Fonte: Paranapanema, 2018.

Diante os dados acima é necessário calcular primeiramente o Torque mínimo (T), que se refere ao torque mínimo que ambos os motores (atualmente utilizado e motores propostos) devem possuir para movimentar o sistema de exaustão. Para tal, utilizam-se os dados do sistema de exaustão, conforme a tabela 1 e aplica-se na equação de potência de um motor de acordo com a mecânica clássica. Segue abaixo a **Erro! Fonte de referência não encontrada.**:

$$P_{mo} = T * \omega$$

Sendo (P_{mo}) a potência mínima que o motor deve ter para movimentar o sistema de exaustão em quilowatts, (ω) a velocidade angular mínima necessária para

movimentar o ventilador em radianos por segundo e (T) o valor mínimo do torque o motor deve disponibilizar para movimentar este sistema em Newtons metro, sendo esse último o valor desejado.

Os dados retratam que o sistema de exaustão para desempenhar seu papel necessita de um motor que gire no mínimo a 810 revoluções por minuto (RPM) e potência de 334 HP.

Desenvolvendo a equação para efeito de cálculo, tem-se:

$$T = \frac{P_{mo}}{\omega}$$

Para continuidade do cálculo os valores coletados na tabela 1 em RPM (Rotações por minuto) e HP devem ser convertidos para radianos por segundo e quilowatt, respectivamente. Portanto, tem-se:

- 1 RPM é equivalente a aproximadamente a 0,10472 rad/s, portanto 810 RPM são 84,82 rad/s;
- 1 HP é equivalente a aproximadamente a 0,74570 kW, portanto 334 HP são 249,064 kW.

Aplicando os valores convertidos, será obtido o torque necessário conforme a equação abaixo:

$$T = \frac{249,064 \text{ kW}}{84,82 \frac{\text{rad}}{\text{s}}}$$
$$T = 2,936 \text{ kN} * m$$

Portanto o torque necessário para movimentar o sistema de ventilação é de 2,936 $kN * m$. Seguindo a metodologia, esse valor será aplicado para encontrar a potência consumida pelo motor atual.

Utilizando novamente a **Erro! Fonte de referência não encontrada.** para a velocidade de rotação do motor atual a 100% (930 RPM), tem-se:

$$P_{mo} = T * \omega$$
$$P_{mo} = 2,936 \text{ kN} * 97,39 \text{ rad/s}$$
$$P_{mo} = 285,94 \text{ kW}$$

Em sequência, aplicando a **Erro! Fonte de referência não encontrada.** para obter o custo operacional anual tem-se:

$$C_{op} = \frac{P_{mo}}{EFF} * C_e * t$$
$$C_{op} = \frac{285,94 \text{ kW}}{0,951} * 0,20 \frac{\text{R\$}}{\text{kWh}} * 8760 \text{ h}$$
$$C_{op} = \text{R\$ } 526.779,05$$

O mesmo pode ser feito para cálculo do custo operacional anual do motor que opera a 20% da capacidade rotacional, conforme a seguir:

$$P_{mo} = T * 0,2\omega$$
$$P_{mo} = 2,936 \text{ kN} * 0,2 * 97,39$$
$$P_{mo} = 57,19 \text{ kW}$$

Em sequência, aplicando a **Erro! Fonte de referência não encontrada.** tem-se:

$$C_{op} = \frac{57,19 \text{ kW}}{0,78} * 0,20 \frac{\text{R\$}}{\text{kWh}} * 8760 \text{ h}$$
$$C_{op} = \text{R\$ } 128.457,54$$

De acordo com os cálculos, tem-se que o motor VN 07, o qual foi considerado em funcionamento 24 horas por dia, 7 dias por semana a 100% da potência, consome anualmente o montante equivalente a R\$ 526.779,05.

O motor VN 08, o qual foi considerado no mesmo regime de funcionamento que o VN 07, porém a 20% da capacidade rotacional, consome, em um ano, o montante equivalente a R\$ 128.457,54.

Sendo assim, se multiplicarmos o consumo anual de cada motor por 16 anos, temos que o montante total para os motores VN 07 e VN 08 são, respectivamente, R\$ 8.428.464,80 e R\$ 2.055.320,64, como pode ser visto na Tabela 2. Estes valores já estão corrigidos para valores atuais, uma vez que o custo de energia utilizado no seu cálculo representa o valor atualmente pago pela empresa.

Tabela 2 - Custo Operacional dos Motores VN 07/08

Custo Operacional	
VN 07	VN 08
R\$ 8.428.464,80	R\$ 2.055.320,64

Fonte: Própria.

Custo de Estoque

A empresa contratante informou que não possui peças sobressalentes dos motores VN 07 e 08, uma vez que, as peças para reposição podem ser facilmente encontradas e o acesso a uma empresa terceirizada de manutenção para os motores é rápido e eficaz.

Para o cálculo de LCCA os valores de custo com estoque serão desconsiderados, uma vez que a empresa não possui peças sobressalentes dos motores VN 07 e 08.

Custo de Suporte

Para o atual projeto desenvolvido nos motores VN 07 e 08, não foram observados e definidos equipamentos ou processos de suporte que se aplicassem aos motores. Portanto para o presente cálculo de LCCA os valores relacionados ao custo de suporte não serão considerados.

Custo de Manutenção

Para o cálculo do LCCA, o custo de manutenção será dividido em duas partes: serviços externos e internos.

As tabelas que serão dispostas para cada tópico seguiram a seguinte formatação: Aquelas intituladas de “Custo” possuem o custo total do ano em questão e a direita, onde se encontra descrito “Valor Presente” será encontrado o valor corrigido para o ano de 2019, seguindo a metodologia do Banco Central Brasileiro utilizando o índice IGP-M.

Vale ressaltar que a análise LCCA em questão deve ser realizada com base na vida útil do motor de 15 anos, considerando a instalação dos motores na planta em 2003. Como a contratante não possui um registro completo das manutenções executadas durante todo o período necessário para a análise, foi necessário definir

um modo para estabelecer todos os custos requeridos. Na tentativa de criar um modelo de previsão de comportamento para os períodos anteriores, foram realizados testes a partir dos modelos de regressão linear, logarítmica, exponencial e polinomial. Como não foi identificado um poder de determinação alto em nenhum dos quatro modelos, optou-se então pela utilização da média do período em que existem dados coletados, uma vez que a média é o ponto de equilíbrio de todos os possíveis dados disponíveis para considerar uma série completa.

- **Serviços Externos:**

Para a realização do serviço externo de manutenção, foram registrados pela contratante os custos envolvidos do período de 2010 até 2018, portanto, foi necessário utilizar a média do período disponível para preencher as lacunas dos anos sem informações, que estão destacados de cor cinza. Os custos de serviços externos podem ser observados na Tabela 3. Vale ressaltar que a empresa realiza um registro geral da manutenção externa dos motores VN 07/08, sem separação dos custos específicos de cada motor.

Tabela 3 - Custo de Manutenção Externa Geral

Custo de Manutenção Externa Geral			
Ano	Custo		Valor Presente (IGP-M)
2003	R\$	149.019,70	R\$ 182.658,87
2004	R\$	149.019,70	R\$ 182.658,87
2005	R\$	149.019,70	R\$ 182.658,87
2006	R\$	149.019,70	R\$ 182.658,87
2007	R\$	149.019,70	R\$ 182.658,87
2008	R\$	149.019,70	R\$ 182.658,87
2009	R\$	149.019,70	R\$ 182.658,87
2010	R\$	56.910,87	R\$ 99.553,92
2011	R\$	39.687,22	R\$ 62.773,50
2012	R\$	91.080,00	R\$ 138.984,15
2013	R\$	40.000,00	R\$ 56.885,92
2014	R\$	64.206,27	R\$ 84.559,80
2015	R\$	177.113,79	R\$ 225.275,01
2016	R\$	330.401,26	R\$ 379.824,23
2017	R\$	229.762,92	R\$ 255.526,40
2018	R\$	312.014,99	R\$ 340.546,92
Soma			R\$ 2.922.541,96

Fonte: Própria.

Como a empresa não dispõe desses dados estratificados por motor, foi assumida a premissa de que estas manutenções foram divididas igualmente para os dois motores. Desta forma, temos na Tabela 4 o custo da manutenção externa para cada um dos motores.

Tabela 4 - Custo de Manutenção Externa dos Motores VN 07/08

Custo de Manutenção Externa	
VN 07	VN 08
R\$ 1.461.270,98	R\$ 1.461.270,98

Fonte: Própria.

- Serviços Internos

Por sua vez, os custos de serviços internos serão divididos da seguinte forma: Lubrificação; Manutenção Corretiva Não Planejada; Manutenção Corretiva Planejada; Manutenção Preventiva; Manutenção Preditiva.

I. Lubrificação:

Para a realização do serviço de lubrificação, foram registrados pela contratante os custos envolvidos do período de 2014 até 2018, portanto, foi necessário utilizar a média do período disponível para preencher as lacunas dos anos sem informações, que estão destacados de cor cinza. Os custos de lubrificação podem ser observados na Tabela 5.

Tabela 5 - Custos de lubrificação

Custo de Lubrificação - Motor VN 07			Custo de Lubrificação - Motor VN 08		
Ano	Custo	Valor Presente (IGP-M)	Ano	Custo	Valor Presente (IGP-M)
2003	R\$ 1.319,06	R\$ 1.584,82	2003	R\$ 141,16	R\$ 164,78
2004	R\$ 1.319,06	R\$ 1.584,82	2004	R\$ 141,16	R\$ 164,78
2005	R\$ 1.319,06	R\$ 1.584,82	2005	R\$ 141,16	R\$ 164,78
2006	R\$ 1.319,06	R\$ 1.584,82	2006	R\$ 141,16	R\$ 164,78
2007	R\$ 1.319,06	R\$ 1.584,82	2007	R\$ 141,16	R\$ 164,78
2008	R\$ 1.319,06	R\$ 1.584,82	2008	R\$ 141,16	R\$ 164,78
2009	R\$ 1.319,06	R\$ 1.584,82	2009	R\$ 141,16	R\$ 164,78
2010	R\$ 1.319,06	R\$ 1.584,82	2010	R\$ 141,16	R\$ 164,78
2011	R\$ 1.319,06	R\$ 1.584,82	2011	R\$ 141,16	R\$ 164,78
2012	R\$ 1.319,06	R\$ 1.584,82	2012	R\$ 141,16	R\$ 164,78
2013	R\$ 1.319,06	R\$ 1.584,82	2013	R\$ 141,16	R\$ 164,78
2014	R\$ 2.784,84	R\$ 3.660,25	2014	R\$ 82,64	R\$ 108,62
2015	R\$ 792,78	R\$ 1.005,05	2015	R\$ 158,20	R\$ 200,56

2016	R\$	191,52	R\$	219,64	2016	R\$	215,46	R\$	247,10
2017	R\$	129,92	R\$	139,00	2017	R\$	129,92	R\$	139,00
2018	R\$	2.696,23	R\$	2.900,14	2018	R\$	119,59	R\$	128,63
		Soma	R\$	25.357,06			Soma	R\$	2.636,51

Fonte: Própria.

II. Manutenção Corretiva Não Planejada

Para a realização do serviço de manutenção corretiva não planejada, foram registrados pela contratante os custos envolvidos do período de 2010 até 2018, portanto, foi necessário utilizar a média do período disponível para preencher as lacunas dos anos sem informações, que estão destacados de cor cinza. Os custos de manutenção corretiva não planejada podem ser observados na Tabela 6:

Tabela 6 - Custos de manutenção corretiva não planejada.

Custo de Manutenção Corretiva Não Planejada - Motor VN 07			Custo de Manutenção Corretiva Não Planejada - Motor VN 08						
Ano	Custo	Valor Presente (IGP-M)	Ano	Custo	Valor Presente (IGP-M)				
2003	R\$ 33.080,54	R\$ 40.388,85	2003	R\$ 25.641,29	R\$ 31.734,69				
2004	R\$ 33.080,54	R\$ 40.388,85	2004	R\$ 25.641,29	R\$ 31.734,69				
2005	R\$ 33.080,54	R\$ 40.388,85	2005	R\$ 25.641,29	R\$ 31.734,69				
2006	R\$ 33.080,54	R\$ 40.388,85	2006	R\$ 25.641,29	R\$ 31.734,69				
2007	R\$ 33.080,54	R\$ 40.388,85	2007	R\$ 25.641,29	R\$ 31.734,69				
2008	R\$ 33.080,54	R\$ 40.388,85	2008	R\$ 25.641,29	R\$ 31.734,69				
2009	R\$ 33.080,54	R\$ 40.388,85	2009	R\$ 25.641,29	R\$ 31.734,69				
2010	R\$ 20.030,16	R\$ 35.042,42	2010	R\$ 1.314,60	R\$ 2.299,87				
2011	R\$ 47.551,20	R\$ 74.729,15	2011	R\$ 49.826,42	R\$ 78.304,78				
2012	R\$ 3.416,01	R\$ 5.108,04	2012	R\$ 6,48	R\$ 9,96				
2013	R\$ -	R\$ -	2013	R\$ 4.227,67	R\$ 5.863,67				
2014	R\$ 2.288,74	R\$ 3.008,20	2014	R\$ 979,52	R\$ 1.287,43				
2015	R\$ 3.489,91	R\$ 4.424,37	2015	R\$ 757,33	R\$ 960,11				
2016	R\$ 56.278,65	R\$ 64.542,25	2016	R\$ 142.525,87	R\$ 163.453,43				
2017	R\$ 83.582,14	R\$ 89.424,55	2017	R\$ 9.670,41	R\$ 10.346,37				
2018	R\$ 81.088,06	R\$ 87.220,66	2018	R\$ 21.463,32	R\$ 23.086,57				
		Soma	R\$	646.221,58			Soma	R\$	507.755,00

Fonte: Própria.

III. Manutenção Corretiva Planejada

Para a realização do serviço de manutenção corretiva planejada, foram registrados pela contratante os custos envolvidos do período de 2014 até 2018, portanto, foi necessário utilizar a média do período disponível para preencher as

lacunas dos anos sem informações. Os custos de manutenção corretiva planejada podem ser observados na Tabela 7.

Tabela 7 - Custo de manutenção corretiva planejada

Custo de Manutenção Corretiva Planejada - Motor VN 07			Custo de Manutenção Corretiva Planejada - Motor VN 08		
Ano	Custo	Valor Presente (IGP-M)	Ano	Custo	Valor Presente (IGP-M)
2003	R\$ 7.983,05	R\$ 9.533,60	2003	R\$ 14.796,31	R\$ 17.792,50
2004	R\$ 7.983,05	R\$ 9.533,60	2004	R\$ 14.796,31	R\$ 17.792,50
2005	R\$ 7.983,05	R\$ 9.533,60	2005	R\$ 14.796,31	R\$ 17.792,50
2006	R\$ 7.983,05	R\$ 9.533,60	2006	R\$ 14.796,31	R\$ 17.792,50
2007	R\$ 7.983,05	R\$ 9.533,60	2007	R\$ 14.796,31	R\$ 17.792,50
2008	R\$ 7.983,05	R\$ 9.533,60	2008	R\$ 14.796,31	R\$ 17.792,50
2009	R\$ 7.983,05	R\$ 9.533,60	2009	R\$ 14.796,31	R\$ 17.792,50
2010	R\$ 7.983,05	R\$ 9.533,60	2010	R\$ 14.796,31	R\$ 17.792,50
2011	R\$ 7.983,05	R\$ 9.533,60	2011	R\$ 14.796,31	R\$ 17.792,50
2012	R\$ 7.983,05	R\$ 9.533,60	2012	R\$ 14.796,31	R\$ 17.792,50
2013	R\$ 2.213,37	R\$ 3.069,89	2013	R\$ 14.796,31	R\$ 17.792,50
2014	R\$ 8.422,96	R\$ 11.070,70	2014	R\$ 24.699,85	R\$ 32.464,19
2015	R\$ 15.718,02	R\$ 19.926,66	2015	R\$ 18.794,21	R\$ 23.826,53
2016	R\$ 754,20	R\$ 864,94	2016	R\$ 682,41	R\$ 782,61
2017	R\$ 16.173,85	R\$ 17.304,41	2017	R\$ 29.675,78	R\$ 31.750,12
2018	R\$ 4.615,90	R\$ 4.965,00	2018	R\$ 129,28	R\$ 139,06
Soma		R\$ 152.537,60	Soma		R\$ 284.680,03

Fonte: Própria.

IV. Manutenção Preventiva

Para a realização do serviço de manutenção preventiva, foram registrados pela contratante os custos envolvidos do período de 2010 até 2018, portanto, foi necessário utilizar a média do período disponível para preencher as lacunas dos anos sem informações. Os custos de manutenção preventiva podem ser observados na **Erro! Fonte de referência não encontrada.**

Tabela 8 - Custos de manutenção preventiva

Custo de Manutenção Preventiva - Motor VN 07				Custo de Manutenção Preventiva - Motor VN 08			
Ano	Custo		Valor Presente (IGP-M)	Ano	Custo		Valor Presente (IGP-M)
2003	R\$	1.972,42	R\$ 2.678,31	2003	R\$	14.260,74	R\$ 20.031,48
2004	R\$	1.972,42	R\$ 2.678,31	2004	R\$	14.260,74	R\$ 20.031,48
2005	R\$	1.972,42	R\$ 2.678,31	2005	R\$	14.260,74	R\$ 20.031,48
2006	R\$	1.972,42	R\$ 2.678,31	2006	R\$	14.260,74	R\$ 20.031,48
2007	R\$	1.972,42	R\$ 2.678,31	2007	R\$	14.260,74	R\$ 20.031,48
2008	R\$	1.972,42	R\$ 2.678,31	2008	R\$	14.260,74	R\$ 20.031,48
2009	R\$	1.972,42	R\$ 2.678,31	2009	R\$	14.260,74	R\$ 20.031,48
2010	R\$	1.456,92	R\$ 2.548,86	2010	R\$	34.369,44	R\$ 60.128,74
2011	R\$	848,14	R\$ 1.332,90	2011	R\$	2.335,95	R\$ 3.667,92
2012	R\$	2.086,75	R\$ 3.120,37	2012	R\$	14,19	R\$ 21,22
2013	R\$	2.949,92	R\$ 4.091,46	2013	R\$	8,88	R\$ 12,32
2014	R\$	794,61	R\$ 1.044,39	2014	R\$	14.406,96	R\$ 18.935,76
2015	R\$	8.062,42	R\$ 10.221,21	2015	R\$	74.873,47	R\$ 94.921,52
2016	R\$	1.082,13	R\$ 1.241,02	2016	R\$	1.220,99	R\$ 1.400,27
2017	R\$	341,62	R\$ 365,50	2017	R\$	987,49	R\$ 1.056,52
2018	R\$	129,28	R\$ 139,06	2018	R\$	129,28	R\$ 139,06
Soma			R\$ 42.852,92	Soma			R\$ 320.503,70

Fonte: Própria.

V.Manutenção Preditiva

Para a realização do serviço de manutenção preditiva, foram registrados pela contratante os custos envolvidos do período de 2013 até 2018, portanto, foi necessário utilizar a média do período disponível para preencher as lacunas dos anos sem informações. Os custos de manutenção preditiva podem ser observados na **Erro! Fonte de referência não encontrada.**

Tabela 9 - Custos de manutenção preditiva

Custo de Manutenção Preditiva - Motor VN 07			Custo de Manutenção Preditiva - Motor VN 08		
Ano	Custo	Valor Presente (IGP-M)	Ano	Custo	Valor Presente (IGP-M)
2003	R\$ 858,18	R\$ 988,96	2003	R\$ 702,84	R\$ 791,73
2004	R\$ 858,18	R\$ 988,96	2004	R\$ 702,84	R\$ 791,73
2005	R\$ 858,18	R\$ 988,96	2005	R\$ 702,84	R\$ 791,73
2006	R\$ 858,18	R\$ 988,96	2006	R\$ 702,84	R\$ 791,73
2007	R\$ 858,18	R\$ 988,96	2007	R\$ 702,84	R\$ 791,73
2008	R\$ 858,18	R\$ 988,96	2008	R\$ 702,84	R\$ 791,73
2009	R\$ 858,18	R\$ 988,96	2009	R\$ 702,84	R\$ 791,73
2010	R\$ 858,18	R\$ 988,96	2010	R\$ 702,84	R\$ 791,73
2011	R\$ 858,18	R\$ 988,96	2011	R\$ 702,84	R\$ 791,73
2012	R\$ 858,18	R\$ 988,96	2012	R\$ 702,84	R\$ 791,73
2013	R\$ 208,27	R\$ 288,87	2013	R\$ 132,91	R\$ 184,34
2014	R\$ 161,95	R\$ 212,86	2014	R\$ 178,47	R\$ 234,57
2015	R\$ 382,94	R\$ 485,48	2015	R\$ 288,88	R\$ 366,23
2016	R\$ 3.109,75	R\$ 3.566,37	2016	R\$ 1.108,09	R\$ 1.270,79
2017	R\$ 576,92	R\$ 617,25	2017	R\$ 687,70	R\$ 735,77
2018	R\$ 709,27	R\$ 762,91	2018	R\$ 1.820,97	R\$ 1.958,69
Soma		R\$ 15.823,31	Soma		R\$ 12.667,71

Fonte: Própria.

Desta forma, temos na **Erro! Fonte de referência não encontrada.** o custo total de manutenção interna para cada um dos motores:

Tabela 10 - Custo total manutenção interna por motor

Custo de Manutenção Interna	
VN 07	VN 08
R\$ 882.792,47	R\$ 1.128.242,95

Fonte: Própria.

Custo de Mão de Obra

Para a realização da análise do custo de mão de obra, serão levados em consideração os custos referentes aos responsáveis por desempenhar atividades de manutenção diretamente ligadas aos motores VN 07 e 08.

No cálculo executado dividiu-se o custo da mão de obra por motor, e pelas seguintes subcategorias: Lubrificação; Manutenção Corretiva Não Planejada; Manutenção Corretiva Planejada; Manutenção Preventiva; Manutenção Preditiva.

Cada manutenção é realizada por uma equipe formada por um instrumentista e dois eletricitas. Conforme informações cedidas pela empresa, o custo de H/H de

um instrumentista e de um eletricista são, respectivamente, R\$ 20,00 e R\$ 25,00. A partir disso, tem-se que o custo da mão de obra para a realização de uma manutenção é de R\$ 65,00/h.

Assim como foi explicado anteriormente, a contratante não possui um registro completo das manutenções executadas durante todo o período necessário para a análise, por conta disso, utilizou-se a média de ocorrências do período em que existem dados coletados para considerar uma série completa.

A partir da duração da manutenção, em horas, do custo de mão de obra para sua realização, em R\$/h, e do número de ocorrências ao longo do período em estudo (obtido a partir das médias), pode-se calcular o custo de mão de obra de cada uma das cinco subcategorias citadas acima e o custo total de mão de obra por motor, conforme **Erro! Fonte de referência não encontrada..**

Tabela 11 - Custo total de mão de obra por motor

Motor VN 07		Motor VN 08	
Lubrificação		Lubrificação	
Duração (h)	0,5	Duração (h)	0,5
Ocorrências	90	Ocorrências	105
Custo	R\$ 2.925,00	Custo	R\$ 3.412,50
Manutenção Corretiva Não Planejada		Manutenção Corretiva Não Planejada	
Duração (h)	7	Duração (h)	7
Ocorrências	300	Ocorrências	195
Custo	R\$ 136.500,00	Custo	R\$ 88.725,00
Manutenção Corretiva Planejada		Manutenção Corretiva Planejada	
Duração (h)	3	Duração (h)	3
Ocorrências	45	Ocorrências	60
Custo	R\$ 8.775,00	Custo	R\$ 11.700,00
Manutenção Preventiva		Manutenção Preventiva	
Duração (h)	2	Duração (h)	2
Ocorrências	1665	Ocorrências	1800
Custo	R\$ 216.450,00	Custo	R\$ 234.000,00
Manutenção Preditiva		Manutenção Preditiva	
Duração (h)	0,5	Duração (h)	0,5
Ocorrências	465	Ocorrências	630
Custo	R\$ 15.112,50	Custo	R\$ 20.475,00
Custo Total	R\$ 379.762,50	Custo Total	R\$ 358.312,50

Fonte: Própria.

Uma vez que todos os custos que compõem os Custos Recorrentes foram analisados e calculados, chegou-se aos valores dispostos na Tabela 12, como valor total para cada um dos motores em análise.

Tabela 12 - Custo recorrente total por motor

VN 07	VN 08
R\$ 11.152.290,75	R\$ 5.003.147,07

Fonte: Própria.

4.1.2. Custos Não Recorrentes

Conforme foi apresentado no subcapítulo 3.1.2, os custos não recorrentes são constituídos por: custo de aquisição; custo de aprovação da qualificação; custo de pesquisa e desenvolvimento; custo de treinamento; custo de melhoria de confiabilidade e manutenção e custo de suporte.

A seguir, veremos a análise e os resultados dos mesmos através dos dados que foram disponibilizados à equipe.

Custo de Aquisição

Fornecido pelo fabricante WEG, o custo de aquisição de cada motor é de R\$1.230.904,00, valor que contempla o preço unitário do motor e os impostos ICMS (7%), PIS (1,65%) e COFINS (7,60%).

Custo de Aprovação da Qualificação

O custo de aprovação, como definido no tópico 3.1.2, não foi disposto nos cálculos do LCCA, pois não há necessidade de uma qualificação ou aprovação dos equipamentos para que os motores operem.

Custo de Pesquisa e Desenvolvimento

Esse custo não será adicionado ao presente cálculo de LCCA, pois os mesmos não foram especificados e então definidos pelo cliente, portanto todo e qualquer custo que foi investido na pesquisa e desenvolvimento seja da viabilidade da aquisição ou instalação, estão distribuídos nesses tópicos.

Custo de Treinamento

Para ter os motores VN 07 / 08 em seu processo produtivo, a empresa parceira não necessitou de um investimento em treinamento adicional, logo este custo não caberá a ser adicionado no presente cálculo de LCCA.

Custo de Melhoria de Confiabilidade e Manutenção

Até o presente momento, o qual é realizado o estudo de LCCA, não foram executados investimentos nos motores em questão, para que houvesse qualquer ganho em sua confiabilidade e manutenção. Vale ressaltar que há investimento em manutenção, mas o mesmo que é caracterizado como custo recorrente, não é válido como ação de melhoria, e sim de necessidade para manter os motores operando e o processo produtivo.

Uma vez que todos os custos que compõem os Custos Não Recorrentes foram analisados e calculados, temos na Tabela 13 o seu valor total para cada um dos motores em análise.

Tabela 13 - Custo não recorrente total por motor

Custo Não Recorrente			
	VN 07		VN 08
R\$	1.230.904,00	R\$	1.230.904,00

Fonte: Própria.

A partir dos valores finais encontrados para os Custos Recorrentes e os Custos Não Recorrentes, temos na Tabela 14 o Custo do Ciclo de Vida para cada um dos motores elétricos atuais em análise.

Tabela 14 - Custo do ciclo de vida

Custo do Ciclo de Vida	
VN 07	VN 08
R\$ 12.383.194,75	R\$ 6.234.051,07

Fonte: Própria.

Conforme metodologia será calculado o custo médio anual (CMA), o custo médio mensal (CMM), sendo a divisão dos valores anteriores por 16 anos, que é o tempo que o motor está em operação, conforme a equação abaixo:

$$CMA = LCC/16$$

$$CMA_{VN07} = 773.949,67 \text{ reais/ano}$$

$$CMA_{VN08} = 389.628,19 \text{ reais/ano}$$

O custo médio mensal será a divisão do valor anual por 12 meses, conforme a equação abaixo:

$$CMM = CMA/12$$

$$CMM_{VN07} = 64.495,81 \text{ reais/mês}$$

$$CMM_{VN08} = 32.469,02 \text{ reais/mês}$$

A média mensal do custo entre os dois motores, conforme a equação abaixo:

$$MMM_{\text{médio}} = \frac{CMM_{VN07} + CMM_{VN08}}{2}$$

$$MMM_{\text{médio}} = R\$ 48.482,41$$

4.2. Motores Elétricos Propostos

No tópico 3, foram conceituados cada um dos custos que foram levados em consideração para a realização do LCCA nos motores elétricos propostos, tornando possível a compreensão dos dados que serão descritos no presente tópico. Todos os dados que serão descritos a seguir foram adquiridos e/ou calculados de acordo com as informações cedidas pela empresa contratante, onde a mesma as avaliou e validou.

4.2.1. Custo de Aquisição

Para obtenção deste valor, o cliente disponibilizou a proposta comercial de um fabricante de motores, sendo que a mesma foi confeccionada no ano de 2014. É necessário realizar a correção deste valor para o valor presente da análise em questão, para isso utilizou-se o simulador do BCB através do IGP-M, onde o valor nominal de compra do equipamento em abril de 2014 era R\$ 179.875,86. A Figura 7 retrata a correção:

Figura 6 - Correção custo de aquisição

Dados básicos da correção pelo IGP-M (FGV)	
Dados informados	
Data inicial	04/2014
Data final	01/2019
Valor nominal	R\$ 179.875,36 (REAL)
Dados calculados	
Índice de correção no período	1,28171260
Valor percentual correspondente	28,171260 %
Valor corrigido na data final	R\$ 230.548,52 (REAL)

Fonte: BCB, 2019.

Ressalta-se que o mês referente a correção do valor é maio de 2019, pois este valor é calculado a cada trinta dias, assim o IGP-M atualiza a cada mês.

4.2.2. Vida Útil Esperada

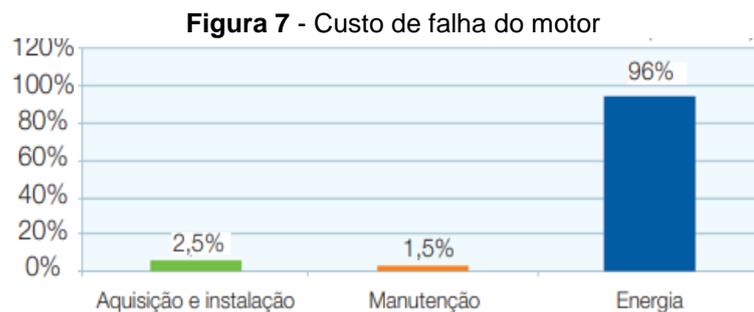
A vida útil esperada para este equipamento foi determinada pelo cliente, informando que o equipamento deve desempenhar sua função durante 15 anos.

4.2.3. Taxa de Falha Anual

De acordo com um estudo publicado pelo IEEE *Industry Applications Society*, nomeado por *Report of Large Motor Reliability Survey of Industrial and Commercial Installations, Part I* o valor obtido para taxa de falha anual é de 0,0708 (Falhas / ano) para um motor de até 1.000 hp. O estudo foi feito através de questionários realizados em 75 indústrias, 33 companhias com amostra de 1.141 motores elétricos. A pesquisa estuda somente motores que possui mais de 200 HP até 1000 HP e não mais do que 15 anos de vida. O dado obtido e que será utilizado em cálculo pode ser consultado na Tabela 18.

4.2.4. Custo de Falha

Para obtenção do valor do custo de falha deste motor foram utilizados, como referência, os estudos de projeto do fabricante, que apontam os custos totais de um motor elétrico dentro do prazo de 10 anos. O custo total é dividido em três tipos de custos, conforme a Figura 7:



Fonte: WEG, 2019.

Para determinação do custo de falha que é sinônimo de custo de manutenção por falha, utilizou como parâmetro de partida o custo de aquisição e instalação que foi fornecido pelo fabricante. Sabendo que o valor fornecido corresponde a 2,5% do custo total do motor elétrico em 10 anos. Têm-se:

- Custo de Aquisição: Valor atualizado pelo IGP-M para R\$ 230.548,52;
- Custo de instalação: O valor fornecido na proposta comercial foi de R\$ 15.000,00, porém como a proposta é de abril de 2014 é necessário atualizar este valor, assim como foi corrigido o valor de aquisição no tópico anterior. Na Figura 8 temos o simulador utilizado no BCB com valor o atualizado referente a janeiro de 2019:

Figura 8 - Custo de instalação atualizado

Dados básicos da correção pelo IGP-M (FGV)		
Dados informados		
Data inicial		04/2014
Data final		01/2019
Valor nominal	R\$	15.000,00 (REAL)
Dados calculados		
Índice de correção no período		1,28171260
Valor percentual correspondente		28,171260 %
Valor corrigido na data final	R\$	19.225,69 (REAL)

Fonte: BCB, 2019.

Logo, o valor presente é de R\$ 19.225,69. Assim, o valor total de instalação e aquisição é de R\$ 249.774,21.

Diante a isto, necessita somente de utilizar o custo de operação anual que será calculado no tópico 4.2.6 e multiplicar por 10 para estar de acordo com o estudo, já que aborda o custo de um motor elétrico em 10 anos (Eletricidade moderna, 2008). Desta forma, a soma do custo de operação com o valor de instalação e aquisição representará 98,5% dos custos de um motor elétrico ao longo de 10 anos.

Tabela 15 - Custo de operação

Custos	Porcentagem	Valor
Aquisição e Instalação + Energia	98,5%	R\$ 10.564.757,35
Manutenção	1,5%	R\$ 160.884,63

Fonte: Própria.

Portanto o valor calculado de manutenção a ser feita no equipamento ao longo de um ano é de R\$ 16.088,46.

Conforme o desenvolvimento teórico do Dhillon (2010) este resultado necessita ser dividido pela quantidade de falhas anuais, correspondendo assim ao valor de cada falha. Porém, como o novo equipamento não possui um histórico para realizar tal desenvolvimento e o fabricante não fornece o valor de cada falha, somente um valor ao longo de 10 anos, este valor será utilizado sem maiores implicações no cálculo do LCCA e será explicado neste momento.

4.2.5. Taxa de Juros Anual

Para aquisição do equipamento industrial a empresa tem a opção de fazer o pagamento à vista onde não haverá juros anuais, já que não há parcelamento e nenhuma taxa deste gênero é embutida na compra ou realização de um financiamento junto com algum órgão. Neste caso a empresa opta pelo financiamento através do FINAME (BNDES) que é uma empresa pública federal com o objetivo de financiamento em longo prazo e apoio em investimentos em todos os segmentos da economia.

Conforme o site da instituição financeira e o BACEN, a utilização deste tipo de crédito leva em conta o encargo tributário da taxa de juros anual, que neste tópico é contabilizada para efeitos de cálculo de LCCA. O tributo é uma composição do Custo Financeiro que pode vir através da TLP (Taxa de Longo Prazo) ou Selic, a taxa do BNDES que é informada pela própria instituição sendo 9,31% ao ano (a.a.) e a taxa do agente financeiro que é o responsável pela intermediação entre a instituição financeira e o cliente. O cliente informou que para a composição deste cálculo, o valor negociado para o custo do agente financeiro é 1,5% ao ano (a.a.), onde a utilização da Selic como custo financeiro é a mais indicada, por conta de suas características econômicas, pois esta não varia diariamente, portanto sendo fixada. Além disso, deve ser considerado uma entrada para compra do bem de 25% e prazo de carência de 3 meses. A Tabela 16 abaixo sumariza as informações dos dados de entrada da simulação:

Tabela 16 - Dados para simulação de compra do motor

Valor do bem em Reais	Percentual a ser financiado	Prazo do Financiamento (meses)	Prazo de carência (meses)	Taxa de remuneração do agente financeiro
R\$ 249.774,21	75%	48	3	1,5% a.a.

Fonte: Própria.

Portanto realizando a simulação no site da instituição financeira, o montante final com todos os tributos inclusos e métodos de financiamento resultam em:

Tabela 17 - Resultado da simulação

Valor financiado	Taxa de juros final (a.a.)	Montante total do valor das prestações	Juros totais pagos em Reais
R\$ 187.330,66	9,31%	R\$ 223.626,02	R\$ 36.295,36

Fonte: BNDES, 2019.

Portanto o valor total pago para a empresa obter o equipamento é de R\$ 286.069,57.

4.2.6. Cálculo do Custo de Operação Anual

A atualização dos motores em estudo por modelos mais novos não se aplica ao sistema de ventilação como um todo, logo o torque do sistema será o mesmo que calculado anteriormente pela **Erro! Fonte de referência não encontrada.** apresentada a seguir:

$$P_{mo} = T * \omega$$

Portanto, o torque necessário para movimentar o sistema é mesmo, sendo 2,936 kN * m. Entretanto, o motor proposto possui características técnicas diferentes quando comparados a potência e rotação nominal dos motores aplicados. O único dado comum entre os dois é eficiência a 100% da capacidade de rotação, que coincidem em 95,1%.

A imagem Figura 5 a seguir traz os dados necessários para dar continuidade nos cálculos de custo de operação.

Figura 5 - Dados técnicos motores

Linha do produto : IP55 HGF NORMAL - CLASSE TENSAO 1.2KV a 5.0KV

Carcça	: HGF 4000/D/E
Potência	: 560 kW (750 HP)
Número de polos	: 8
Frequência	: 60 Hz
Tensão nominal	: 4160 V
Corrente nominal	: 101 A
Corrente de partida	: 626 A
Ip/In (p.u.)	: 6,2
Corrente a vazio	: 20,8 A
Rotação nominal	: 892 rpm

Fonte: Própria.

Portanto utiliza-se 892 RPM como o valor de velocidade angular a ser aplicado no cálculo de potência, representando 100% da capacidade rotacional do equipamento. Aplicando a **Erro! Fonte de referência não encontrada.** novamente agora utilizando a velocidade de rotação do motor proposto tem-se:

$$P_{mo} = T * \omega$$
$$P_{mo} = 2,936 \text{ kN} * 93,41 \text{ rad/s}$$
$$P_{mo} = 274,25 \text{ kW}$$

Em sequência, aplicando a **Erro! Fonte de referência não encontrada.** para obter o custo operacional anual tem-se:

$$C_{op} = \frac{P_{mo}}{EFF} * C_e * t$$
$$C_{op} = \frac{274,25 \text{ kW}}{0,951} * 0,20 \frac{\text{R\$}}{\text{kWh}} * 8760 \text{ h}$$
$$C_{op} = \text{R\$ } 505.242,90$$

O mesmo pode ser feito para cálculo do custo operacional anual do motor que opera a 20% da capacidade rotacional, conforme a seguir:

$$P_{mo} = T * 0,2\omega$$
$$P_{mo} = 2,936 \text{ kN} * 0,2 * 93,41 \text{ rad/s}$$
$$P_{mo} = 54,85 \text{ kW}$$

Utilizando o mesmo gráfico de curva genérica (imagem 5), será considerado o mesmo valor de eficiência a 20% da capacidade rotacional para ambos motores. Em seguida aplica-se a **Erro! Fonte de referência não encontrada.**:

$$C_{op} = \frac{54,85 \text{ kW}}{0,78} * 0,20 \frac{\text{R\$}}{\text{kWh}} * 8760 \text{ h}$$

$$C_{op} = \text{R\$ } 123.201,54$$

A Tabela 18 sumariza todos os dados apresentados para posterior cálculo de LCCA que aqui será feito.

Tabela 18 - Valores para cálculo do LCCA

Itens	Valores
Custo de Aquisição	R\$ 286.069,57
Vida Útil Esperada	15 anos
Taxa de Falha Anual	0,0708
Custo de Falha Anual	R\$ 16.088,46
Taxa de Juros Anual	9,31%
Custo de Operação Anual (Motor 1)	R\$ 505.242,90
Custo de Operação Anual (Motor 2)	R\$ 123.201,54

Fonte: Própria.

Conforme Dhillon (2010), o custo de ciclo de vida do motor em questão será calculado conforme desenvolvimento abaixo:

O custo esperado de falhas por ano (C_{fa}) é calculado através da Equação 10:

$$C_{fa} = \text{Custo de falha} * \text{Taxa de falha}$$

Porém, conforme informado em 4.2.4, não foi possível determinar o custo de cada falha do ativo, já que o novo equipamento não possui histórico para realizar tal

desenvolvimento e o fabricante não fornece o valor de cada falha. Portanto utilizou-se do estudo do próprio fabricante descrito no tópico 4.2.4 onde determinou-se diretamente o custo de manutenção anual, que foi de R\$ 16.088,46.

O valor presente do custo de falha do ciclo de vida (PV_{af}) é calculado através da Equação 11, onde i é a taxa de juros anual e k é a vida útil esperada do equipamento em anos:

$$PV_{af} = C_{fa} \left[\frac{1 - (1 + i)^{-k}}{i} \right]$$

$$PV_{af} = 16.088,46 \left[\frac{1 - (1 + 0,0708)^{-15}}{0,0708} \right]$$

$$PV_{af} = 145.794,76 \text{ reais}$$

O valor presente do custo de operação do ciclo de vida (PV_{ao}) é calculado através da Equação 12, onde C_{oa} é o custo operacional anual do equipamento:

$$PV_{ao} = C_{op} \left[\frac{1 - (1 + i)^{-k}}{i} \right]$$

$$PV_{ao1} = 505.242,90 \left[\frac{1 - (1 + 0,0708)^{-15}}{0,0708} \right]$$

$$PV_{ao1} = 4.578.546,74 \text{ reais}$$

$$PV_{ao2} = 123.201,54 \left[\frac{1 - (1 + 0,0708)^{-15}}{0,0708} \right]$$

$$PV_{ao2} = 1.116.461,03 \text{ reais}$$

O custo do ciclo de vida (LCC) será calculado para dois motores, sendo um operando a 100% e outro a 20%, caracterizando os custos do motor 1 (Mt01) e do motor 2 (Mt02):

$$LCC = PC_a + PV_{af} + PV_{ao1}$$

$$LCC_{mt1} = 286.069,57 + 145.794,76 + 4.578.546,74$$

$$LCC_{mt1} = 5.010.411,07 \text{ reais}$$

Vale ressaltar que para o motor 2 o custo de compra e de manutenção é o mesmo, mesmo operando com energia reduzida. O motor 2 caracteriza-se como um stand-by do motor 1, mas alternam essa função para que sejam desgastados de forma equivalente. Abaixo aplica-se o LCCA para o motor 2:

$$LCC = PC_a + PV_{af} + PV_{ao2}$$

$$LCC_{mt2} = 286.069,57 + 145.794,76 + 1.116.461,03$$

$$LCC_{mt2} = 1.548.325,36 \text{ reais}$$

Conforme metodologia será calculado o custo médio anual (CMA), o custo médio mensal (CMM) e a média mensal do custo entre os dois motores (MMM), portanto:

$$CMA = LCC/15$$

$$CMA_{mt01} = 334.027,40 \text{ reais/ano}$$

$$CMA_{mt02} = 103.221,69 \text{ reais/ano}$$

O custo médio mensal será a divisão do valor anual por 12 meses, conforme a equação abaixo:

$$CMM = CMA/12$$

$$CMM_{mt01} = 27.835,62 \text{ reais/mês}$$

$$CMM_{mt02} = 8.601,81 \text{ reais/mês}$$

A média mensal do custo entre os dois motores, conforme a equação abaixo:

$$MMM_{médio} = \frac{CMM_{mt01} + CMM_{mt02}}{2}$$

$$MMM_{médio} = R\$ 18.218,72$$

4.3. Cálculo do prazo de recuperação do capital investido (*Payback*)

Em grande parte das empresas, a palavra “investimento”, está associada à alocação de recursos financeiros para a aquisição ou melhoria de equipamentos e processos. Os gestores, ao cogitarem a possibilidade de realizar o investimento, sempre analisam a sua viabilidade econômica do investimento, onde nela, é abordado o tempo de retorno para o investimento, mais conhecido como *payback*.

Segundo ALVES (2014), o *Payback* é uma técnica muito utilizada pelas empresas para se realizar a análise do prazo para retorno do investimento em um determinado projeto, onde seria o tempo em que os ganhos acumulados, se igualariam ao custo do investimento.

Ainda segundo o autor, a principal vantagem da utilização deste método é a simplicidade na realização e na compreensão dos cálculos, visto que não é necessário

ter conhecimentos avançados em matemática financeira para a sua realização e análise.

LIMA *et al* (2013) explica que, quanto menor o *payback*, menor o risco do investimento. Da mesma maneira que, quanto mais elevado, maior o risco do investimento, visto que irá levar um tempo maior para se recuperar o capital investido.

O autor ressalta ainda que, o *payback* é um indicador complementar, o qual não deve ser utilizado como parâmetro de comparação em períodos de instabilidade econômica, de alto risco, ou que esteja sujeito a oscilações frequentes.

Para o atual projeto, foi adotada a metodologia de *payback* simples, a qual consiste basicamente em se dividir o investimento inicial pelos ganhos gerados no período de estudo.

4.3.1. Motores Atuais

De acordo com a metodologia apresentada, serão utilizados os dados de custos referentes aos equipamentos atuais dentro do período de uso, que foram dispostos na Tabela 12.

O Custo Recorrente Atual Total (CRAtotal), será calculado a partir da soma dos custos recorrentes de toda a vida útil dos dois motores atualmente utilizados, conforme Equação 21 abaixo:

$$CR_{tot} = CR_{VN07} + CR_{VN08} \quad (21)$$
$$CR_{tot} = R\$ 16.155.437,82$$

Para efeito de cálculo do *payback* em anos, o valor acima será dividido pelo tempo de vida útil dos motores, resultando em Custo Recorrente Total Anual (CR_{anual}), conforme Equação 22 abaixo:

$$CR_{anual} = \frac{CR_{tot}}{Vida \ Útil} \quad (22)$$

$$CR_{anual} = \frac{R\$ 16.155.437,82}{16}$$

$$CR_{anual} = R\$ 1.009.714,86$$

4.3.2. Motores Propostos

Seguindo a metodologia, levando em consideração que os custos recorrentes dos motores elétricos propostos são somente os Custos de Falha e de Operação, utiliza-se o Custo de Falha obtido na Equação 14 e duplica-se esse valor para encontrar o montante referente aos dois motores propostos. Portanto, tem-se o Custo de Falha Total (AF_{total}), conforme Equação 23 abaixo:

$$\begin{aligned}AF_{total} &= PV_{af} * 2 & (23) \\AF_{total} &= R\$ 145.794,76 * 2 \\AF_{total} &= R\$ 291.589,52\end{aligned}$$

Os resultados do Custo de Operação para cada um dos motores propostos foram obtidos na Equação 15, e é somado esses valores para encontrar o montante total referente a este custo. Portanto, tem-se o Custo de Operação Total (AO_{total}), conforme Equação 24 abaixo:

$$\begin{aligned}AO_{total} &= PV_{ao1} + PV_{ao2} & (24) \\AO_{total} &= 5.695.007,77 \text{ reais}\end{aligned}$$

O Custo Recorrente Proposto Total (CRP_{total}), será calculado a partir da soma do Custo de Falha Total e do Custo de Operação Total, conforme Equação 25 abaixo:

$$\begin{aligned}CRP_{tot} &= AF_{anual} + PV_{total} & (25) \\CRP_{tot} &= R\$5.986.597,29\end{aligned}$$

Para efeito de cálculo do *payback* em anos, o valor acima será dividido pelo tempo de vida útil pretendido, resultando em Custo Recorrente Total Anual (CR_{anual}), conforme Equação 26 abaixo:

$$\begin{aligned}CR_{anual} &= \frac{CR_{tot}}{Vida \text{ Útil}} & (26) \\CR_{anual} &= \frac{R\$5.986.597,29}{15}\end{aligned}$$

$$CR_{anual} = R\$ 399.106,49$$

Análise Payback:

Para cálculo do *payback* será feito o cálculo da economia atual, conforme explicitado na metodologia, através da Equação 27 abaixo:

$$\begin{aligned} Eco_{anual} &= (CRA_{anual} - CRP_{anual}) && (27) \\ Eco_{anual} &= R\$ (1.009.714,86 - 399.106,49) \\ Eco_{anual} &= R\$ 610.608,37 \end{aligned}$$

O capital total investido na compra dos dois motores elétricos propostos é de R\$ 572.139,14, obtido a partir do dado de investimento inicial disposto na Tabela 18. A partir da Equação 28 abaixo, o *payback* será calculado e o seu valor será representado em anos:

$$\begin{aligned} Payback &= \frac{Investimento\ Inicial}{Eco_{anual}} && (28) \\ Payback &= \frac{R\$ 572.139,14}{R\$ 610.608,37 / ano} \\ Payback &= 0,94\ anos \end{aligned}$$

Portanto, convertendo o valor encontrado para meses, o investimento necessário para substituir os motores elétricos em questão se pagará em 11,28 meses.

5. CONCLUSÃO E TRABALHOS FUTUROS

5.1. Análise de resultados

Através da análise dos valores obtidos no cálculo de payback é possível concluir que, a substituição dos motores atuais pelos novos, com uma previsão de funcionamento por 15 anos, incluindo condições similares de manutenções corretivas, preventivas, preditivas, planos de manutenção e também a previsão de defeitos similares aos que ocorreram nos motores atuais, se torna bastante viável, a partir do ponto que, o retorno do investimento da compra dos dois motores novos se dará em, aproximadamente 11 meses e uma semana.

Pode-se considerar que é altamente recomendável realizar a substituição dos motores atuais, por motores mais novos e de tecnologia superior, uma vez que irão proporcionar uma economia significativa no consumo de energia, e também, de acordo com as fontes apresentadas, não irão apresentar defeitos significativos durante os seus primeiros 10 anos de funcionamento.

Os recorrentes defeitos apresentados nos motores atuais, seguidos da dificuldade e dos elevados custos para reposição das peças sobressalentes, contribuem para fortificar a viabilidade do projeto, onde a atualização dos motores irá proporcionar, além dos pontos citados anteriormente, uma redução bastante significativa nas manutenções corretivas, sendo necessário manter as preventivas planejadas, para que o equipamento venha a desempenhar sua função corretamente pela maior quantidade de tempo possível.

Com a substituição dos motores, as manutenções corretivas irão praticamente se extinguir (se for seguido o plano de manutenção e as corretas condições de trabalho especificadas pelo fabricante), visto que os motores elétricos são máquinas extremamente eficientes e necessitam de pouca manutenção.

A avaliação dos custos dos motores, atualmente aplicados, através do histórico disponibilizado e da análise de custos de um sistema proposto sem histórico disponível, demonstrou ser um desafio, visto que foi necessário realizar diversas suposições para que a análise LCCA pudesse ser realizada de maneira plausível, já que a proposta é utilizar a mesma ferramenta de estudo para analisar duas situações:

A primeira, onde há um histórico de dados previamente registrados, e a outra onde é necessário realizar as previsões dos custos.

Portanto, o LCCA provou ser uma ferramenta versátil, ao ser aplicada a equipamentos em uso que possuem, por consequência, um histórico detalhado de custos, e também de ser aplicada para previsão de custos de equipamentos propostos a compra, que não possuem histórico de funcionamento e custos. A utilização da ferramenta no sistema atual mostrou que, o custo médio mensal dos dois motores para o sistema proposto é, aproximadamente, 2,7 vezes menor que sistema utilizado atualmente. Vale ressaltar que os cálculos do sistema proposto estão embasados em dados técnicos do fornecedor do equipamento e não em um histórico de utilização.

REFERÊNCIAS

55000-1, I. **ISO 55000 - Asset Management**. 2014. 25 – p. Disponível em: <http://www.irantpm.ir/wp-content/uploads/2014/03/ISO-55000-2014.pdf>. Acesso em: 12 fev. 2019.

ABRAHAM, D. M. 2003. **Life cycle cost integration for the rehabilitation of wastewater infrastructure**. Proceedings of the Construction Research Congress 627–635.

ABRAMAN. **Gestão de Ativos e PAS 55**. Disponível em: <http://www.abraman.org.br/sidebar/pas55> - Acesso em: 23 mar. 2019.

ADLER, D. J; HERKAMP, J. A; WIESLER, J. R; WILLIAMS, S.B – **Life cycle cost and benefits of process automation in bulk pharmaceuticals** – ISA Transactions, Vol. 34, issue 2 pg. 133-139 – Junho 1995 – Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/001905789500013P> - Acesso em: 23/08/2019

AKSELSSON, H., BURSTROM, B. - **Life Cycle Cost Procurement Of Swedish State Railways' High-Speed Train X2000**. – Proc Instn Mech Engrs, Vol. 199 – 1985 – Disponível em: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.1011.9470&rep=rep1&type=pdf> - Acesso em: 26/09/2019

AKTACIR, M. ET AL. - **Life-cycle cost analysis for constant-air-volume and variable-air-volume air-conditioning systems** – Applied energy, vol. 83, issue 6, pg. 606-627 - Junho de 2006 – Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S030626190500084X?via%3Di> hub – Acesso em: 12/03/2019

ALVES, Fábio. **O que é e como calcular o payback** – Industria hoje – 2014 – Disponível em: www.industriahoje.com.br/como-calcular-o-payback - Acesso em: 16/10/2019

ARDITI, D., AND MESSIHA, H. M. 1999. **Life cycle cost analysis (LCCA) in Municipal Organizations** – Journal of infrastructure systems, vol. 5, issue 1 – Março de 1999 – Disponível em: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)1076-0342\(1999\)5:1\(1\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)1076-0342(1999)5:1(1)) – Acesso em: 30/07/2019

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ISO 14044: Gestão ambiental / Avaliação do Ciclo de Vida**. Rio de Janeiro, 2006.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5462: Confiabilidade e Manutenibilidade**. Rio de Janeiro: ABNT, 1994.

BCB (BANCO CENTRAL DO BRASIL). **Calculadora do Cidadão**. Disponível em: <https://www3.bcb.gov.br/CALCIDADA0/jsp/index.jsp>. Acesso em: 23/08/2019

BRYANT, Jim E.; PEAD, Ernest F.; POLONSKI, Stan; SABRSULA, Jim; SPILLER, Joe V. (2001). **Elements Of Mechanical Equipment Life-Cycle Cost Analysis**. Texas A&M University. Turbomachinery Laboratories.

C. SHEUT & L. J. KRAJEWSKI. **A Decision Model for Corrective Maintenance Management**. International Journal of Production Research, 1994.

CHAN, A.; KEOLEIAN, G.; GABLER, E. **Evaluation of Life-Cycle Cost Analysis Practices Used by the Michigan Department of Transportation**. ASCE Journal of Transportation Engineering, 2008.

CORTIZO NETO, Teófilo. **A Análise do Custo de Ciclo de Vida na Indústria 4.0 e na Gestão de Ativos**. [S. l.: s. n.], 14 jan. 2019. Disponível em: <https://www.webartigos.com/artigos/a-analise-do-custo-de-ciclo-de-vida-na-industria-40/161070>. Acesso em: 22 ago. 2019.

DAVIS, R. **An Introduction to Asset Management**. A Simple but Informative Introduction to the Management of Physical Assets – Capenhurst - Chester, 2016 – Disponível em: http://www.ifm.net/documents/Asset%20Mgt_Beginners_Guide_low_9.pdf – Acesso em: 13/01/2019

DHILLON, B.S. **Life Cycle Costing for Engineers**, CRC, Florida, 2010.

DHRUV, Desai; TEJAS, Jain; ATUL, Dwivedi; ATTAR, Anjum. **Engineering Economics and Life Cycle Cost Analysis**. International Journal of Research in Engineering and Technology, 2016.

DUYAN, Ozlem; CIROTH, Andreas. **Two Different Methods to Perform Life Cycle Costing in Openlca**. GreenDelta, 2013.

FABRYCKY, W.J.; BLANCHARD, B.S. **Life Cycle Cost and Economic Analysis**. Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ, 1991.

FIEB. **Metodologia TheoPrax**. Brasil, 6 abr. 2017. Disponível em: <http://www.fieb.org.br/senai/pagina/3836/metodologia-theoprax.aspx>. Acesso em: 16 mar. 2019.

FILIPPO, Guilherme. **Motor de Indução**. Editora Érica, São Paulo, 2000.

FOGLIATTO, F. S. RIBEIRO, J. L. D. **Confiabilidade e Manutenção Industrial**. Rio de Janeiro. Elsevier. 2009.

GRIFFITH, J. W AND KEELY, B. J, **Techniques of life cycle costing Cost Engineering**, September/October 1978, 165-168

INÁCIO, César. **Seleção de Materiais com Base na Metodologia de Life Cycle Engineering: Caso de Estudo uma Mola da Roupa**. Universidade Técnica de Lisboa, 2009.

INTERNATIONAL COPPER ASSOCIATION (ICA), **Gestão de Ativos - Guia para aplicação da Norma ABNT NBR ISO 55001**. Santiago, Chile, 2015. Disponível em: www.copperalliance.org – Acesso em: 25/04/2019

KARDEC, Alan; NASCIF, Julio. **Manutenção: Função Estratégica**. Rio de Janeiro: Qualimark: Petrobras, 2009.

KECECIOGLU, Dimitri. **Maintainability, Availability and Operational Readiness Engineering**. Prentice Hall, Upper Saddle River, 1995.

KOBACZY, K. A.; Murthy, D. P. **Complex System Maintenance Handbook**. Springer-Verlag London Limited, 2008.

KRAUSE, Dörthe; EYERER, Peter. **Schülerprojekte Managen**. Pfinztal, Alemanha: W. Bertelsmann Verlag, 2008.

LAFRAIA, J, R. B. **Manual de Confiabilidade, Manutenibilidade e Disponibilidade**. 5ª Ed. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2009.

LAMAR, W. E. **Technical evaluation report on design to cost and life cycle cost.** - North Atlantic Treaty Organization Advisory Group for Aerospace Research and Development (AGARD) - advisory report no. 165. Springfield, VA, 1981.

LIMA, J.D.; SCHEITT, L.C.; BOSCHI, T. De F.; SILVA, N.J. da; MEIRA, A.A. de; DIAS, G.H. - **Propostas de ajuste no cálculo do payback de projetos de investimentos financiados** - Custos e @gronegocio on line - v. 9, n. 4 – 2013 – Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Jose_Donizetti_De_Lima/publication/289730444_Proposals_of_adjustment_for_the_payback_calculation_of_funded_investment_projects/links/56cd988a08aeb52500c33421/Proposals-of-adjustment-for-the-payback-calculation-of-funded-investment-projects.pdf – Acesso em: 16/10/2019

LIMA, Maurício Pimenta. **Estoque: Custo de Oportunidade e Impacto sobre os Indicadores Financeiros.** UFJF, Juiz de Fora, p. 1-6, 6 jun. 2010. Disponível em: http://www.ufjf.br/renato_nunes/files/2010/06/Aula-6.6-Artigo-sobre-estoque.pdf. Acesso em: 10 ago. 2019.

MARTINS, Eliseu. **Contabilidade de Custos.** São Paulo, 1 jul. 2011. Disponível em: http://www.machadosobrinho.com.br/2011/arquivos/material_dos_professores/DRO_CCSCUST/Material_didatico/Contabilidade_de_custosApostila.pdf. Acesso em: 10 ago. 2019.

MOUBRAY, J. RCM II. **Manutenção Centrada em Confiabilidade.** Edição brasileira. Aladon, 2000.

Municipal Organizations. Journal of Infrastructure Systems 5 (1): 1–10.

of Mechanical Engineers, Part F: Journal of Rail and Rapid Transit 208 (1): 51-59.

PARANAPANEMA - Disponível em: <https://www.paranapanema.com.br/show.aspx?idCanal=U1XvSWZEoblkr3yyZPNsHQ==> - Acesso em: 04/12/2018

PAYA, Marin. **Solar Air Collectors for Cost-Effective Energy-Efficient Retrofitting.** Woodhead Publishing, 2017.

PECHT, Michael. **Product Reliability, Maintainability, and Supportability Handbook.** CRC Press, New York, 1995.

PEDRAM, Ghadam; MEHDI, Ravanshadnia; SAEED, Ramezani. **Determining Economic Life of Earth Moving Equipment by Using Life Cycle Cost Analysis: Case Study**. ICCREM, 2012.

REIS, Tiago. **Conheça o IGP-DI: o Antigo Índice de Inflação do Brasil**. [S. l.], 13 dez. 2018. Disponível em: <https://www.sunoresearch.com.br/artigos/igp-di/> - Acesso em: 10 ago. 2019.

Rockcontent. **Entenda o que é payback e como calcular o da sua empresa** – Blog Rockcontet – Nov 2018 – Disponível em: <https://rockcontent.com/blog/payback/> - Acesso em: 23 dez 2019

SAE. **Reliability and Maintainability Guideline for Manufacturing Machinery and Equipment**, Warrendale, PA, 1993.

SIGMA. **Life-Cycle Costing**. OECD Publishing, Paris, 2016.

SLACK, N.; CHAMBERS, S.; JOHNSTON, R; BETTS, **Gerenciamento de operações e de processos: princípio e práticas de impacto estratégico**. 2 ed. Porto Alegre: Bookman, 2008.

SONDALINI, M. - Useful Key Performance Indicators for Maintenance. **Lifetime Reliability**, Perth, Ago. 2007. Disponível em: http://www.lifetime-reliability.com/free-articles/maintenance-management/Useful_Key_Performance_Indicators_for_Maintenance.pdf. - Acesso em: 31 mai. 2019. Transactions 34 (2): 133–139.

VIEIRA, C - **Parapanema conclui processo de reestruturação acionária** – Revista mineração e sustentabilidade – Setembro, 2017 – Disponível em: <http://revistamineracao.com.br/2017/09/26/parapanema-conclui-processo-de-reestruturacao-acionaria/> - Acesso em: 03 dez 2018.

WEG. **Guia de Especificação de Motores Elétricos**. Jaraguá do Sul: Dezembro, v. 21, 2017.

WEG. **Manual Geral de Instalação, Operação e Manutenção de Motores Elétricos**. [S. l.], 15 ago. 2019. Disponível em: <https://static.weg.net/medias/downloadcenter/h0c/h3b/WEG-iom-installation-operation-and-maintenance-manual-of-electric-motors-50033244-manual-pt-en-es-de-ro-bg-ru-web.pdf>. Acesso em: 10 ago. 2019.