

## **EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DE MOTORES ELÉTRICOS: UM ESTUDO DE CASO EM UMA FÁBRICA DE ÓLEO VEGETAL**

### **ENERGETIC EFFICIENCY OF ELETRIC MOTORS: A CASE STUDY IN A VEGETABLE OIL FACTORY**

Luís Alexandre Pereira Correia

Anderson Lacerda Rodrigues

#### **Resumo**

*O objetivo desse artigo é demonstrar a importância da aplicação de ferramentas de engenharia na análise e tomada de decisões. O estudo é dividido em duas partes, sendo essas o cenário real e o hipotético que foram descritos para representar a metodologia utilizada na normalização de uma planta de produção de óleo mineral, a fim de atender a norma “IEC 60079-1 Equipamentos elétricos para atmosfera explosiva”, com foco no melhor retorno de investimento por meio do payback. Outra justificativa para a análise do cenário hipotético é a abertura para novos projetos e implementações nas demais áreas da planta fabril desta empresa, pois o retorno financeiro com a economia de energia é um fator de alta atratividade no cenário econômico-social no cenário atual, não só no Brasil, como no mundo.*

**Palavras-chave:** *atmosfera explosiva; IEC 60079-1; payback; tomada de decisão.*

#### **Abstract**

*The purpose of this article is to demonstrate the importance of applying engineering tools to analysis and decision making. The study is divided in two parts, these being the real and hypothetical scenario that were described to represent the methodology used in the normalization of a mineral oil production plant, in order to meet the standard "IEC 60079-1 Electrical equipment for atmosphere explosive, "focusing on better return on investment through payback. Another justification for analyzing the hypothetical scenario is the opening up of new projects and implementations in the other areas of this company's plant, since the financial return to energy saving is a factor of high attractiveness in the economic-social scenario in the current scenario, not only in Brazil, as in the world*

**Key-words:** *explosive atmosphere; IEC 60079-1; payback; real scenario; decision making.*

## **1. INTRODUÇÃO**

Segundo a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL, 2015), a maioria dos motores elétricos em atividade no mercado, não atende aos níveis mínimos de eficiência energética definidos pelas regulamentações do setor, possuem mais de 15 anos de funcionamento e tem datas de fabricação anterior à dezembro de 2009. Quanto maior a idade

do motor, o seu rendimento é conseqüentemente menor, por se tratar de projetos mais antigos e além disso, quando um motor “queima” e é reconicionado, seu rendimento sofre uma decaída.

De acordo com Ferreira (2016), 36.5% da energia elétrica produzida no Brasil é consumida pelo setor industrial e que 62% deste consumo é destinado à aplicação de motores elétricos, sendo assim a força motriz é responsável por 25% do consumo de energia do país. Os motores elétricos são os principais tipos de equipamento nos complexos fabris, não apenas no Brasil, porém se trata do país com a maior média de idade de plantas em funcionamento sem atualização de equipamentos.

O motor elétrico é um equipamento que transforma a energia elétrica em energia mecânica, com baixas perdas quando opera em condições ótimas e de acordo com suas especificações. Seu rendimento será afetado de acordo com as perdas mecânicas, como por exemplo, o aumento de sua temperatura (FERREIRA, 2016).

O estudo de caso ocorrerá em uma empresa multinacional que possui uma de suas plantas fabris na região noroeste do estado Paraná. O óleo vegetal faz parte do portfólio de produtos que são processados nesta unidade e o foco deste trabalho é a área da fábrica onde o mesmo é extraído dos grãos.

Existem motores específicos para trabalharem em atmosferas explosivas e conforme afirma a Associação Brasileira Para Prevenções de Explosões (2011), essa área tem a presença da combinação de oxigênio com o combustível (substâncias inflamáveis) na forma de gás, névoa, poeira, fibras ou gases e que a partir de uma ignição, toda a mistura entrará em combustão. Esses são os fatores que compõe o triângulo do fogo apresentado na Figura 1.

Figura 1: Triângulo do fogo.



Fonte: ABPEXb (2011).

A empresa em questão se trata de uma empresa que fabrica óleo vegetal, com origem no grão de soja. Para se extrair o óleo desses grãos, o processo exige o uso do solvente hexano, que é extremamente volátil e inflamável, sendo assim os equipamentos que funcionam na presença deste fluido devem ser específicos para funcionar em área classificada. A análise deste estudo de caso se limitará aos motores elétricos desta área.

Para a normalização da planta, houve um investimento destinado à substituição desses motores elétricos, pois por se tratar de equipamentos antigos, o fabricante - WEG motores S/A - encerra a produção de peças de reposição para equipamentos com mais de 10 anos de fabricação, inviabilizando a recuperação dos mesmos.

Para que esses motores fossem substituídos, o único fator levado em conta foi o financeiro, sem a utilização de métodos de análise de engenharia que pudessem fornecer parâmetros sólidos para a tomada de decisão.

Durante a manutenção preventiva em março 2016, foi evidenciado que 80% dos motores elétricos em funcionamento nas instalações de extração de óleo não estavam atendendo aos padrões exigidos pela norma “IEC 60079-1 Equipamentos elétricos para atmosfera explosiva”.

A empresa em questão realizou a substituição de todos os motores deste setor da planta a fim de atender à norma IEC 60079-1 e prevenir possíveis complicações com órgãos fiscalizadores e, no pior dos casos, acidentes.

Esta regulamentação foi implantada sem o auxílio de ferramentas e métodos de engenharia, pois apenas os fatores financeiro e comercial foram utilizados como parâmetros de tomada de decisão, sem a análise aprofundada de outras opções que pudessem ser mais rentáveis para a empresa.

A planta do cliente funciona 24 horas por dia e a manutenção externa ocorre uma vez por ano, durante duas semanas, limitando assim o prazo para substituição dos equipamentos.

O objetivo deste trabalho é realizar o estudo de caso em uma indústria de óleo mineral, verificando as vantagens de se utilizar métodos de engenharia para tomada de decisão. Para que o objetivo fosse atendido, foram realizadas as atividades:

- a) Levantamento dos motores elétricos da planta;
- b) Realizar estudo de viabilidade econômica sobre a substituição por motores de alto rendimento, em comparação com motores standard;
- c) Descrever os fatores analisados pela empresa no cenário real;

- d) Analisar por meio de ferramentas de engenharia se a decisão tomada pela empresa foi a melhor possível.

## **2. REVISÃO DE LITERATURA**

### **2.1. Tipos de Manutenção**

De acordo com Xenos (1998) a manutenção existe para evitar que os equipamentos e instalações percam suas características essenciais para seu funcionamento ideal. Essa perda pode ser desde a degradação de sua aparência até a parada de produção da planta operacional. Pode existir mais de um tipo de manutenção, o que serão descritos abaixo.

#### **2.1.1. Manutenção preventiva**

A manutenção preventiva envolve a criação de uma rotina de avaliação dos equipamentos, considerando a substituição de seus componentes antes que os mesmos atinjam o final de sua vida útil. Por considerar a substituição das peças, essa metodologia exige a criação de um estoque mínimo para que a mesma seja realizada, o que acaba gerando um maior custo para sua aplicação (XENOS, 1998).

#### **2.1.2. Manutenção corretiva**

Conforme Xenos (1998), como o próprio nome diz, esse tipo de manutenção é realizado após o acontecimento da falha. Em geral a manutenção corretiva é mais barata quando há a possibilidade de ser aplicada como opção. Porém as instituições não podem se acomodar com a reincidência das falhas e devem-se levar em conta as perdas por paradas de produção.

#### **2.1.3. Manutenção preditiva**

A manutenção preditiva é uma forma de inspecionar os equipamentos a fim de identificar a necessidade de substituir seus componentes. Pode ser tomada como uma das etapas da manutenção preventiva, pois envolve o uso de ferramentas, como análise de vibração de rolamentos para justificar a parada do equipamento e substituição de suas peças (XENOS, 1998).

#### **2.1.4. Manutenção em motores à prova de explosão**

A manutenção de motores à prova de explosão não pode ser realizada por empresas que não sejam certificadas dentro da norma 60079-19, pois apenas essas entidades podem aprovar um equipamento (laudo técnico) para trabalhar em áreas classificadas. A Figura 6 representa o certificado de uma empresa de Maringá, que presta serviços em motores desta classificação:

Figura 2: Credencial de uma empresa certificada na norma 60079-19.



Fonte: Próprio autor.

Alguns dos requisitos exigidos pela norma ANBT NBR IEC 60079-19 são:

- Os responsáveis pela manutenção dos equipamentos devem ter conhecimento técnico para realizar os serviços, sendo que este deve ser comprovado.
- A empresa deve possuir um sistema de gestão de qualidade, por exemplo, a ISO 9001.
- Periodicamente a empresa é auditada pelo fabricante para manutenção do certificado de capacitação técnica.
- As peças de reposição desses motores precisam ser originais e adquiridas conforme o número de série identificado na plaqueta do motor ou no caso de peças de mercados paralelos, a mesma deve ser atestada por um laboratório certificado pelo INMETRO que garanta a compatibilidade dos materiais.

## 2.2. Estudo de Caso

O estudo de caso, como ferramenta de pesquisa, é um método de grande potencial para compreensão de fenômenos individuais, organizacionais, sociais e políticos. Desta forma, vem sendo utilizado como estratégia de pesquisa na psicologia, sociologia, ciência política, administração, no trabalho social e planejamento (YIN, 2001).

Segundo Yin (2001) as questões de um estudo de caso, suas proposições, unidades de análise, a lógica que une os dados as preposições e os critérios a serem interpretados das descobertas são os componentes mais importantes de um projeto de pesquisa.

O projeto de pesquisa em um estudo de caso se trata de um plano de ação com início (questões) e fim (respostas) e é a sequência lógica que busca fazer a ligação entre seus objetivos e conclusões por meio da análise dos dados empíricos que servem como a base do estudo (YIN, 2001).

A substituição dos motores ocorreu em março/2017 e foi efetuada com foco em atender a norma “IEC 60079-1 Equipamentos elétricos para atmosfera explosiva” e apenas os fatores comerciais e financeiros foram levados em conta, tanto pela empresa fornecedora dos equipamentos quanto pelo cliente que adquiriu os motores.

A empresa poderia ter mantido o processo sem alterar os equipamentos, tendo em vista que já o fazia desde 2009, assumindo o risco de possíveis acidentes e/ou ser autuada por órgãos fiscalizadores.

### **2.3. Matriz de Decisão (GUT)**

A matriz de decisão (Tabela 1) é uma ferramenta da qualidade que faz uso das letras G (gravidade), U (Urgência) e T (tendência), a fim de auxiliar na tomada de decisão entre duas ou mais opções com base em notas que são atribuídas aos parâmetros de maior impacto neste processo de escolha (SELEME, ROBSON, 2010).

Segundo Seleme, Robson (2010) “a gravidade diz respeito à importância do problema examinado em relação à outros apresentados; a urgência implica a ideia de quão importante [e a ação temporal e a tendência indica o sentido da gravidade do problema[...]]”.

Tabela 1 - Exemplo de matriz de decisão G.U.T.

<i>Valor</i>	<i>Gravidade</i>	<i>Urgência</i>	<i>Tendência</i>	<i>G.U.T.</i>
5	Gravíssima	Ação imediata	Agravar rapidamente	125
4	Muito grave	Ação rápida	Agravar no curto prazo	64
3	Grave	Ação normal	Agravar no médio prazo	27
2	Pouco grave	Ação lenta	Agravar no longo prazo	8
1	Menor gravidade	Pode esperar	Acomodar	1

Fonte: Adaptado de Selem, Robson (2010).

Com a atribuição de pesos para os parâmetros analisados, essa ferramenta permite que a empresa tome as decisões com foco aos fatores que apresentam maior impacto negativo e,

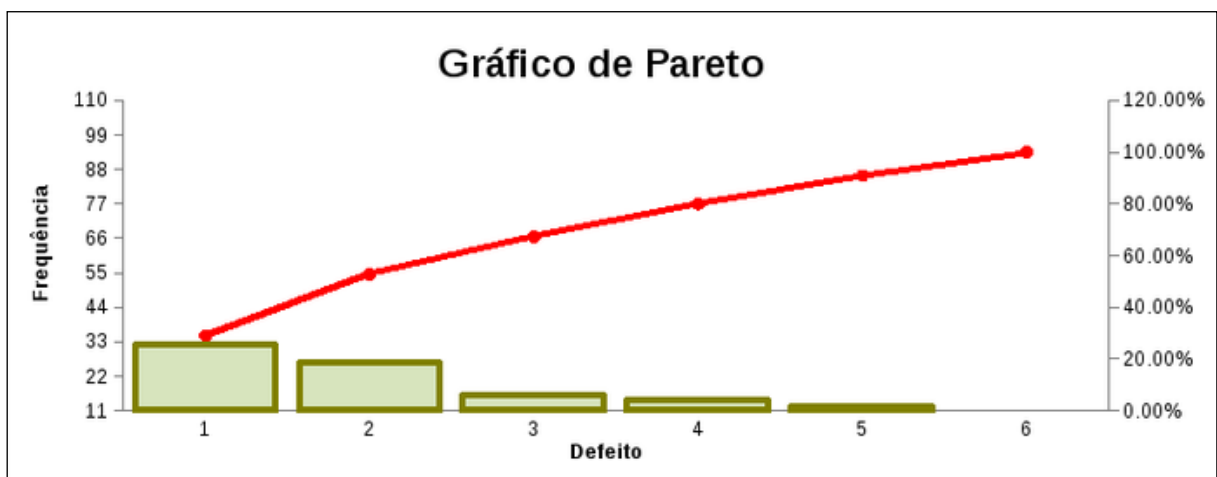
além disso, ajuda a direcionar os recursos de uma maneira mais eficiente, conforme Seleme, Robson (2010).

## 2.4. Diagrama de Pareto

O diagrama de Pareto é uma ferramenta que permite identificar e classificar os principais problemas que devem ser corrigidos em um determinado processo, por meio da análise 80/20 (80% dos problemas podem ser resolvidos anulando 20% das causas). Esse diagrama foi criado por Joseph Juran por meio dos estudos realizados pelo economista Vilfredo Pareto (SELEME, ROBSON, 2010).

O diagrama de Pareto será utilizado neste trabalho para verificar se a substituição dos motores poderia ser feita de forma mais eficiente, por exemplo, trocar os equipamentos maiores e de maior consumo de energia antes dos motores menores. O gráfico de Pareto é esboçado conforme a Figura 2.

Figura 3: Exemplo do gráfico de Pareto.



Fonte: Próprio autor (2017).

Os autores Seleme, Robson (2010) afirmam que o diagrama de Pareto pode ser utilizado para a busca de dois tipos de resultado, sendo estes:

- Diagrama de Pareto por causas.
- Diagrama de Pareto por efeito.

## 2.5. Motores de Rendimento Premium

Conforme Ferreira (2016) o motor elétrico *premium*, ou classe de rendimento IR 3, é um equipamento que apresenta perdas reduzidas se comparado com os de classe IR2 e IR1. Essas mudanças se dão ao fato de tratar de um equipamento com projeto mais moderno, matérias de composição e processos de fabricação otimizados.



Ferreira (2016) descreve as seguintes características como algumas das que influenciam na melhoria de rendimento destes motores:

[...]“Chapas magnéticas de melhor qualidade, maior volume de material condutor, rotores tratados termicamente, reduzindo perdas rotóricas, altosfatores de enchimento das ranhuras, que provêm melhor dissipação do calor gerado, tampas traseira e dianteira com fluxo de ar otimizado.

## **2.6. Análises de investimento *payback* e valor presente líquido (VPL).**

O *payback* é uma metodologia de análise de investimento que leva em conta o tempo de retorno do dinheiro aplicado em um projeto. Algumas vezes essa ferramenta pode não ser exata, pois a mesma não considera o valor do dinheiro conforme o decorrer do tempo (DOS SANTOS e VASAN, 2015).

Esse retorno pode ser direto, com venda de produtos acabados, ou como no caso deste trabalho em que o retorno ocorrerá por forma de economia na energia elétrica da planta.

Segundo Silva e Fontes (2005) o valor presente líquido (VPL) é uma forma de análise financeira que leva em conta o valor presente do investimento e dos custos no decorrer de um projeto. Em outras palavras, é a soma algébrica das receitas descontando os custos.

Para cálculo do VPL, a seguinte formula é utilizada:

$$VPL = \sum_{j=0}^n R_j (1+i)^{-j} - \sum_{j=0}^n C_j (1+i)^{-j}$$

- $R_j$  = valor atual das receitas;
- $C_j$  = valor atual dos custos;
- $i$  = taxa de juros;
- $j$  = período em que as receitas ou os custos ocorrem;
- $n$  = número de períodos ou duração do projeto.
- Quanto maior o VPL, mais economicamente viável é o projeto.

## **2.7. Cálculo de consumo de energia em motores elétricos**

De acordo com a ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (Aneel 2005), para o cálculo de consumo de energia de equipamentos elétricos, durante um determinado período, é necessário considerar os seguintes fatores:

- Tempo de funcionamento, considerando a quantidade de horas por dia;
- A potência do equipamento, em *Kilowatts*;
- O valor pago pelo Kw/hora;
- A quantidade de dias do período analisado.



Para calcular o valor do desperdício, precisamos incluir o rendimento do equipamento nesta equação, pois equipamentos de maior rendimento conseguem realizar a mesma atividade, consumindo menor energia.

Para motores elétricos, utilizando os dados citados acima, o cálculo desse desperdício ocorre de acordo com a Figura 3:

Figura 4: Cálculo do consumo de energia em motores elétricos.

**Exemplo do cálculo de consumo de um motor elétrico:**

$$\text{Consumo(R\$)} = \frac{P \times H \times D \times C}{(\eta)}$$

**P:** Potência do motor em Killowatts.  
**H:** Horas de funcionamento do motor.  
**D:** Dias de funcionamento do motor.  
**C:** Custo do Killowatt por hora de funcionamento.  
**η:** Rendimento do motor.

Se considerarmos um motor de 30,0 kW (40 Cv), com rendimento de 91.80%, funcionando 24 horas por dia durante um mês e com o custo do KW= R\$0.30, o consumo total no fim do período será de R\$7.050,82

Fonte: adaptado de ANEEL (2017).

## 2.8. Características Específicas de Motores à Prova de Explosão

Motores à prova de explosão são motores que podem atuar em áreas classificadas, onde os três componentes do triângulo do fogo (oxigênio, combustível e fonte de ignição) estão presentes. Esses equipamentos possuem diversas classificações de acordo com as características da área em que irão trabalhar, sendo essas áreas classificadas da seguinte forma, conforme a norma NBR IEC 60079-10-1:

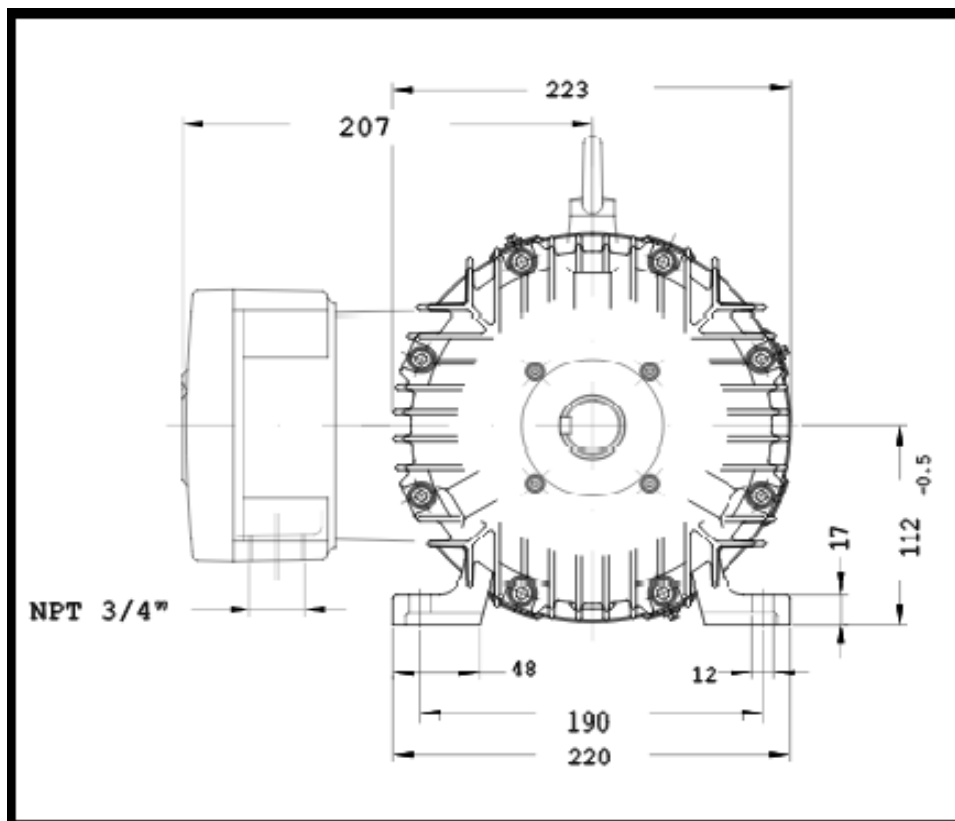
- Zona 0: Área em que o perigo de explosão é constante ou por um longo período de tempo.
- Zona 1: São os locais em que é provável que haja explosão durante o período normal de operação.
- Zona 2: Área em que a possibilidade de explosão é improvável pois os 3 componentes necessários para caracterização de atmosfera explosiva não estão presentes e se estiverem, é por pouco tempo.

Os tipos de motores elétricos que podem atuar em atmosferas explosivas, com presença de gases, são separados nos seguintes grupos:

- Ex(d): Se caracteriza motores que atendem a norma ABNT NBR IEC 60079-1 – Atmosferas explosivas – Parte 1: proteção de equipamentos por invólucros à prova de explosão “d”. São equipamentos que possuem a proteção por invólucro em seu interior que evita a propagação da chama para o ambiente externo.
- Ex(e): São motores com segurança aumentada e que em condições normais de funcionamento não apresentam a possibilidade de produzir faíscas, aquecimento ou qualquer outra fonte de ignição para explosões. Esses equipamentos atendem à norma ABNT NBR IEC 60079-7 – Atmosferas explosivas – Parte 7: Proteção de equipamentos por segurança aumentada “e”.
- Ex(n): Esse tipo de proteção de diferencia da classe “e” em relação à proteção para condições anormais específicas, porém parte do princípio de evitar a ignição do ambiente. A norma atendida por esse tipo de motor é a ABNT NBR IEC 60079-15 : Construção, ensaio e marcação de equipamentos elétricos com tipo de proteção “n”.

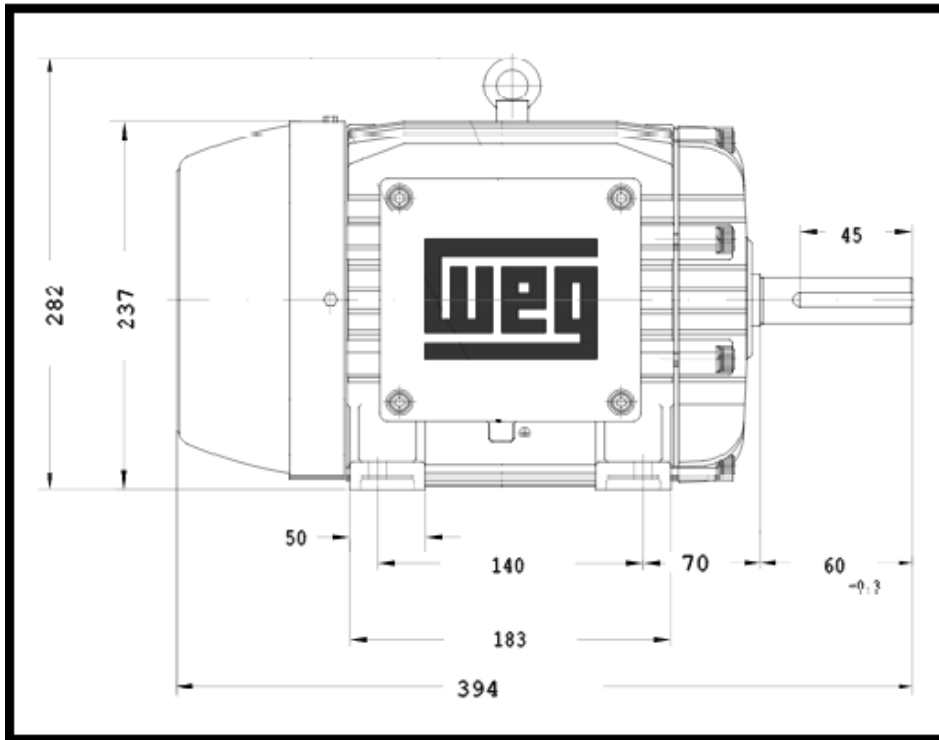
Os motores que fazem parte deste estudo são para a zona 0 e do tipo Ex(d). Abaixo o exemplo de um motor de 5cv de potência, rotação de 1700rpm e na forma construtiva B3D, conforme as Figuras 4 e 5.

Figura 5: Imagem frontal de um motor elétrico Ex(d).



Fonte: Adaptado de Weg Motores S/A (2017).

Figura 6: Imagem lateral de um motor Ex(d), vista da caixa de ligação.



Fonte: Adaptado de Weg Motores S/A (2017).

O Quadro 1 apresenta algumas das normas que são aplicadas para áreas classificadas, publicadas pela ABNT:

Quadro 1: Normas ABNT IEC para áreas classificadas.

<b>Objetivo</b>	<b>Norma NBR IEC</b>
Para Classificação de áreas - Atmosferas explosivas de gases inflamáveis	60079-10-1
Para Classificação de Áreas - Atmosferas explosivas de poeiras combustíveis	60079-10-2
Projeto, seleção, Montagem de instalações elétricas "Ex"	60079-14
Sistemas à prova de explosão - "Ex d"	60079-1
Sistemas de segurança aumentada - "Ex e"	60079-7
Sistemas de segurança intrínseca - "Ex i"	60079-11
Sistemas pressurizados - "Ex p"	60079-2
Sistemas imersos em óleo	60079-6

Sistemas encapsulados	60079-18
Sistemas imersos em areia - "Ex q"	60079-5
Sistemas não acendíveis - "Ex n"	60079-15
Inspeção e manutenção de instalações elétricas "Ex"	60079-17
Reparo, Revisão e Recuperação de equipamentos "Ex"	60079-19
Proteção contra ignição de poeira por invólucros - Ex t"	60079-31

Fonte: Adaptado de ABNT 60079 (2017).

## **2.9. Certificação de motores para atuar em área classificada**

Foi instituída em 2010, através do Instituto Nacional de Metrologia Qualidade Industrial e Tecnologia (INMETRO), a portaria 179 indicando a necessidade de certificação de todos os equipamentos elétricos ou eletrônicos que trabalham em atmosferas explosivas, em indústrias que possuem tais áreas. O não cumprimento destas recomendações acarreta em penalidades de acordo com o código civil. Essa medida visa quebrar o triângulo do fogo, eliminando a fonte de ignição (Figura 01).

Os motores elétricos, equipamentos focados nesse trabalho, são fontes de ignição, pois podem causar a ignição da atmosfera explosiva por: faíscas oriundas da abertura e fechamento dos contatos, alta temperatura do motor, descargas estáticas e outras condições anormais que podem causar um incêndio (JORDÃO 2012).

Na época em que esta portaria foi instituída, os fabricantes de motores tinham até dois anos para realizar mudanças em seus projetos, para que seus produtos atendessem a tais requisitos, sendo que a Weg motores é uma empresa certificada.

No Brasil, os seguintes organismos são certificados pelo INMETRO:

- BVC – Bureau Veritas Certification
- CEPEL
- CERTUSP
- DEKRA – Holanda
- DNV – Det Norske Veritas
- IEx – Instituto de Certificação
- NCC Certificações
- TÜV Rheiland do Brasil

- UL do Brasil

### **3. DESENVOLVIMENTO**

Nesse capítulo será apresentada a metodologia utilizada para realização do trabalho e posteriormente o desenvolvimento do projeto na empresa selecionada para o estudo de caso. Será demonstrada a implementação da substituição dos motores apenas com a utilização dos dados financeiros (cenário real) e os possíveis resultados da aplicação de ferramentas de análise (cenário hipotético).

#### **3.1. Metodologia**

A pesquisa em questão é de caráter aplicado e quantitativo, pois:

- Tem como objetivo gerar conhecimento com a prática para solução de problemas específicos, voltados para a eficiência energética em motores elétricos.
- Os resultados serão demonstrados pela análise do consumo de energia da planta, sendo assim, o resultado será demonstrado através de números.

Segundo Gil (1991) os objetivos desta pesquisa são de caráter descritivo, pois envolve a relação entre as variáveis do consumo de energia dos motores elétricos, o levantamento de dados de funcionamento da planta e observação dos resultados.

#### **3.2. Etapas da Pesquisa**

As etapas do desenvolvimento da pesquisa serão descritas neste capítulo de acordo com a progressão cronológica dos eventos, representando o cenário real e hipotético.

##### **3.2.1. Cenário real**

Nesta etapa foram listados todos os motores em funcionamento na planta e montado uma relação de quais motores atendem a norma IEC 60079 e quais estão reprovados. A empresa responsável pela manutenção dos equipamentos emitiu relatórios fotográficos com as medições apresentadas por cada equipamento e que justificavam a necessidade de serem substituídos.

Após o levantamento populacional e emissão dos relatórios, foi realizado o levantamento dos custos para substituir os motores reprovados e a análise de investimento por meio do *payback* a fim de demonstrar as vantagens de se investir em motores de rendimento *premium*.

Com o estudo financeiro, a empresa optou por substituir todos os motores da área classificada por motores premium (inclusive os que estavam dentro da norma).

É necessário ressaltar que o cenário real retrata o projeto de acordo com a realidade e pode ser resumido da seguinte forma: a empresa alvo deste estudo precisava se adequar a norma IEC 60079 e por ter disponibilidade de capital, substitui todos os motores sem análises prévias.

### **3.2.2. Cenário hipotético – Análise de dados por meio de ferramentas de engenharia.**

Nesta etapa serão aplicadas as ferramentas para tomada de decisão: Gráfico de Pareto, matriz G.U.T. para avaliar se a escolha feita pela empresa foi a melhor, por meio da análise de dados reais e que não foram aplicadas na prática.

A análise de dados contidas no cenário hipotético poderiam servir como embasamento para a tomada de decisão da empresa.

### **3.3. Orientações Gerais Sobre Motores Elétricos**

O objetivo deste capítulo é listar as informações necessárias para o entendimento sobre as características específicas dos motores elétricos, que foram levantadas para esse estudo. Os dados que aqui constam são repassados pelo próprio fabricante (Weg Motores S/A) e são obtidos em catálogos técnicos e comerciais disponibilizados pelo mesmo no site [www.weg.net](http://www.weg.net).

#### **3.3.1. Forma construtiva**

A forma construtiva de um motor elétrico, diz respeito às características mecânicas que alteram a posição de sua caixa de ligação, sua posição de funcionamento (horizontal ou vertical) e se a fixação do equipamento é feita pelos pés ou por flange.

As formas construtivas dos motores presentes nesse estudo são: B3D, B3E, B35D, B35E e B5D. A Figura 7 representa as formas construtivas dos motores e segue abaixo a caracterização de cada uma das siglas:

- A letra B denomina que o motor deve funcionar na posição horizontal.
- O dígito “3” indica que o motor possui pés para fixação em uma base ou trilhos.
- O dígito “5” indica que o motor possui flange para fixação direta ao equipamento acionado.
- As letras D e E dizem respeito à posição do eixo, do ponto de vista do lado da caixa de ligação.

Figura 2: Formas construtivas de motores elétricos.

Forma Construtiva	Configuração										
	Referência	B3E	B3D	B3T	B5E	B5D	B5T	B35E	B35D	B35T	B14E
Detalhes	Carcaça	com pés	com pés	sem pés	sem pés	com pés	com pés	com pés	com pés	sem pés	
	Ponta de eixo	à esquerda	à direita	à esquerda	à direita	à esquerda	à direita	à esquerda	à direita	à esquerda	
	Fixação	base ou trilhos	base ou trilhos	flange FF	flange FF	base ou flange FF	base ou flange FF	base ou flange FF	base ou flange FF	flange FC	

Fonte: Adaptado de WEG MOTORES S/A

### 3.4. Levantamentos de Dados dos Motores em Funcionamento

Os dados dos motores foram separados em duas categorias, sendo essas:

- Elétricas: Potência e tensão de funcionamento.

A necessidade de se levantar essas características é a de que com a potência, é possível calcular o consumo de energia de cada equipamento. A tensão de funcionamento da fábrica é 380V e por isso tal característica deve ser mantida.

- Mecânicas: Tamanho da carcaça, rotações por minuto, forma construtiva.

Esses dados são necessários, pois cada processo na planta é dimensionado para uma determinada velocidade (rotações por minuto). Além disso, em alguns casos a carcaça de um motor de maior rendimento pode ter um tamanho menor, o que acarreta a necessidade de adaptações nas bases civis que os acomodam.

A forma construtiva influencia na posição dos cabos elétricos para funcionamento dos conjuntos, por isso também precisam ser levadas em conta.

Quadro 2: Dados dos motores em funcionamento.

QUANTIDADE	POTÊNCIA	ROTAÇÃO	F. CONSTRUTIVA	TENSÃO	CARCAÇA
3	1,5CV	3470RPM	B3D	220/380V	90S
3	1,5CV	1710RPM	B3D	380/660V	90S
1	1,5CV	1100RPM	B3D	220/380V	100L
1	2,0CV	1100RPM	B3D	220/380V	100L
3	3,0CV	3440RPM	B3D	220/380V	90L
5	3,0CV	1700RPM	B3D	380/660V	100L
1	4,0CV	3490RPM	B3D	220/380V	100L
1	4,0CV	1725RPM	B3D	220/380V	100L
1	5,0CV	3500RPM	B3D	220/380V	100L
4	5,0CV	1735RPM	B3D	220/380V	112M
1	7,5CV	1760RPM	B3D	380/660V	132S
3	15,0CV	1700RPM	B3D	220/380V	132M



1	40,0CV	1700RPM	B3D	380/660V	220M
1	60,0CV	1700RPM	B3D	220/380V	225S/M
1	75,0CV	1700RPM	B5D	380/660V	225S/M

Legenda:

CV: Cavalos

RPM: Rotações por minuto

V: Volts

Fonte: Próprio autor (2017).

### **3.5. Manutenção Preventiva – Caracterização do Problema**

Durante a parada para manutenção preventiva dos motores listados acima, a empresa responsável pela prestação do serviço – empresa certificada para restaurar motores elétricos para área classificada – realizou a medição de todas as partes dos equipamentos, conforme a norma ABNT NBR IEC 60079-19 e o relatório gerado segue o padrão demonstrados nas Figuras 8,9,10 e 11:

Figura 3: Relatório de dimensionais para motores à prova de explosão.

Cliente: XXXXX	Orça: XXXX	Data: 30/08/2016
Contato: XXXXX	OS: XXXX	Patrimônio: TAG 03
	NF: XXXX	

Dados do Motor:		
Marca: <b>WEG</b>	Potência: <b>1.5</b>	CV
Modelo: <b>90S</b>	Tensão: <b>220/380</b>	V
Nº Série: <b>1003956585</b>	Corrente: <b>5.54/2.63</b>	A
Fabricação: <b>22/01/2009</b>	Frequência: <b>60</b>	Hz
Proteção IP: <b>55</b>	Pólos: <b>4</b>	
F.Construtiva: <b>B3D</b>	IP/IN: <b>6.6</b>	
Rotação: <b>1710</b> rpm	Isolação: <b>F155</b>	
Certificação: <b>CEPEL-EX-042/97-1</b>		

Dimensionais mecânicos						
ITEM	Dimensões padronizadas	Dimensões encontradas	Aprovado	Reprovado	Observações	
Eixo	Colo do rolamento (LA)	25,002	25,005	X		
		25,015	25,006			
	Colo do rolamento (LOA)	20,002	20,010	X		
		20,015	20,011			
	Ponta de eixo (LA)	23,996	24,003	X		
		24,009	24,004			
	Assento do anel (LA)	25,002	24,968		X	SUBSTITUIR POR ROTOR COM EIXO NOVO
		25,015	24,967			
	Rugosidade	6,300	1,443	X		
	Assento do anel (LOA)	25,002	25,000		X	SUBSTITUIR POR ROTOR COM EIXO NOVO
		25,015	25,000			
	Rugosidade	6,300	0,433	X		
	Ø interno do Anel de fixação (LA)		25,043	X		
			25,043			
	Ø interno do Anel de fixação (LOA)		25,037	X		
		25,038				
Comprimento do Anel de fixação (LA)	25,800	25,800	X			
	26,200	25,800				
Comprimento do Anel de fixação (LOA)	25,800	25,800	X			
	26,200	25,800				
Intestício (LA)		0,075	X			
		0,076				
Intestício (LOA)		0,037	X			
		0,038				
Tampa Dianteira (LA)	Cubo (LA)	51,994	52,016		X	SUBSTITUIR TAMPA POR NOVA
		52,013	52,017			
	Encaixes	146,000	146,032	X		
		146,040	146,037			
Rugosidade	6,300	1,372	X			

Fonte: Próprio autor (2017).

Figura 4: Continuação do relatório de dimensionais para motores à prova de explosão.

ITEM		Dimensões padronizadas	Dimensões encontradas	Aprovado	Reprovado	Observações
Tampa Traseira (LOA)	Cubo (LOA)	47,000	47,020		X	SUBSTITUIR TAMPA POR NOVA
		47,016	47,020			
	Encaixes	146,000	146,027	X		
		146,040	146,027			
Rugosidade	6,300	0,843	X			
Carcaça	Encaixe (LA)	145,900	145,966	X		
		146,000	145,967			
	Rugosidade	6,300	0,991	X		
	Encaixe (LOA)	145,900	145,980	X		
		146,000	145,981			
	Rugosidade	6,300	1,099	X		
	Encaixe entre carcaça e tampa (LA)	17,300	17,600	X		
		17,700	17,600			
	Encaixe entre carcaça e tampa (LOA)	17,300	17,600	X		
		17,700	17,600			
	Instersticio entre tampa e carcaça (LA)		0,071	X		
			0,065			
Instersticio entre tampa e carcaça (LOA)		0,047	X			
		0,046				
Planicidade	<0,05	0,050	X			
Caixa de ligação	$\omega 1$ (I)	14,000	14,300	X		
	$\omega 2$ (I)	13,000	13,700			
	$\omega 3$ (I)	9,000	12,000			
	W1 (L)	20,000	20,200	X		
	W2 (L)	25,000	25,300			
	Planicidade	<0,05	0,050			
	Rugosidade (1)	6,300	1,337	X		
	Rugosidade (2)	6,300	1,080			
	Rugosidade (3)	6,300	1,137			
	Rugosidade (4)	6,300	0,921			
	Roscas		OK	X		
	Roscas	-	OK			
Roscas	-	OK				
<b>Verificações</b>						
Ventilador:	OK					
Terminais:	OK					
Aterramento:	OK					
Cabos:	OK					
<b>Observação:</b> Os valores acima são aferidos durante o processo de desmontagem, exceto os valores de planicidade da carcaça e caixa de ligação, aferidos durante a montagem do motor.						
<b>3</b>						
Tensão: $\nabla$ 380 V		Corrente a Vazio:		Fase R=	1,6 A	
				Fase S=	1,5 A	
				Fase T=	1,5 A	

Fonte: Próprio autor (2017).

O objetivo dessas medições era constatar que o invólucro do motor está apto a conter a chama (proteção por invólucro “Ex d”), ou seja, as partes medidas são apenas internas. Destacado nas imagens:

- (1) Dados de plaqueta do motor.
- (2) As medições mecânicas com as requisitadas pela norma e as encontradas no equipamento.

– A medição elétrica que indica o teste sem carga do motor e se o mesmo está ou não danificado (queimado).



Nesta etapa o objetivo do relatório era demonstrar a condição na qual o motor foi recebida, muitas vezes o equipamento pode apresentar algum tipo de avaria externa e essa documentação serve como registro a respeito da necessidade de substituir ou não alguma peça. A conclusão serve como um resumo das avarias encontradas no motor e neste caso o cliente optou por deixar o motor fora da norma devido à urgência da entrega. O prazo para substituição de todos os equipamentos era de 14 dias (duas semanas).

Figura 5: Relatório de fotos previamente à desmontagem do motor e a conclusão.



Fonte: Próprio autor (2017).

Figura 6: Certificação do motor.

Aprovação	
Eu, <u>XXXX</u>	
Confirmando que o equipamento acima indicado foi reparado e/ou revisado de acordo com os requisitos da ABNT NBR IEC 60079-19.	
Conforme texto retirado do anexo A da norma ABNT NBR IEC 60079-19, temos o seguinte: "Equipamento reparados e revisados devem ser marcados na sua parte principal em um local visível. Esta marcação deve ser legível e durável, levando em consideração todas as condições pertinentes do ambiente."	
<b>Simbolos:</b>	
	<b>Em Conformidade com a certificação e/ou especificações do fabricante.</b>
Esta marcação deve ser utilizada somente quando o reparo ou recuperação estiver em conformidade com esta Norma e a oficina de reparo tiver evidências suficientes da total conformidade com os documentos de certificação e/ou especificações do fabricante.	
	<b>Em conformidade com os requisitos das normas, mas não com os documentos da certificação.</b>
Esta marcação deve ser utilizada quando:	
a) O equipamento for alterado durante o reparo ou recuperação, de forma que ainda esteja de acordo com as restrições impostas por esta Norma e com as normas de tipos de proteção contra explosão para as quais este foi fabricado, mas a oficina de reparos possui evidências insuficientes da total conformidade com os documentos de certificação; ou	
b) as normas para as quais o equipamento anteriormente certificado foi fabricado não forem mais conhecidas, mas os requisitos desta Norma e a edição de normas pertinentes de tipos de proteção contra explosão tiverem sido aplicados, mas a oficina de reparos possui evidências suficientes da total conformidade com os documentos de certificação.	
<b>Marcação do motor:</b>	
MOTOR NÃO ESTÁ APTO PARA ATUAR EM ATMOSFERA EXPLOSIVA	
<b>Pessoa Responsável:</b>	<u>XXXX</u>

Fonte: Próprio autor (2017).

A figura 11 se refere à certificação do motor, conforme a manutenção realizada no equipamento. Este documento só pode ser emitido por um técnico capacitado e treinado para manutenção em motores para áreas classificadas, independente se o motor está ou não dentro da norma.

Essa documentação deve ser enviada para o cliente final e o registro desse envio deve ser mantido por tempo indeterminado com a empresa responsável pela manutenção do motor.

### 3.6. Resultados Obtidos nas Medições

Após realizar as medidas em todos os motores, foi constatado que 26 equipamentos estavam com avarias que os impediam de atuar em áreas classificadas. O problema se agravava pelo fato de que muitos motores haviam sido mantidos em empresas não autorizadas e que retiraram a plaqueta de identificação dos motores, este fato impedia a aquisição de peças de reposição com o fabricante. Outro agravante é a idade de alguns

motores, que já haviam ultrapassado 10 anos, período limite estipulado pelo fabricante para produção de peças de reposição.

### **3.7. Normalização da Planta**

Para a manutenção em 2017, o objetivo era fazer com que a planta ficasse dentro das normas que dizem respeito à área classificada. Com a situação verificada dos motores, em relação à necessidade de substituição de peças (fabricante já não fornecia peças para reposição, pois os motores tinham mais de 10 anos de fabricação), o cliente final optou por substituir todos os motores por equipamentos novos, gerando assim duas possibilidades:

- Substituir os equipamentos por motores de rendimento padrão, idênticos aos que estavam em funcionamento na fábrica.
- Trocar os motores por equipamentos de alto rendimento, ou seja, os motores da classe *premium*.

Para esta tomada de decisão, o primeiro passo foi utilizado a ferramenta *payback* para comparação entre as duas classes de rendimento dos motores.

### **3.7. Cálculo de consumo dos motores elétricos: Ferramenta *payback***

Para demonstrar o *payback* do investimento em motores de rendimento *premium* em relação aos motores de rendimento padrão, o cálculo foi realizado de acordo com a fórmula da figura 4 e os rendimentos dos motores retirados dos catálogos Weg, conforme a Figura 12. Além disso, a aplicação do cliente se trata de uma planta que funciona continuamente, 24 horas por dia e 30 dias por mês.

Figura 7: Rendimento de motores padrão e premium.

Rendimentos										
Potência em kw	Potência em cv	2 polos			4 polos			6 polos		
		Carcaça	Rendimento em plena carga (%)		Carcaça	Rendimento em plena carga (%)		Carcaça	Rendimento em plena carga (%)	
			IR1 Padrão	IR3 Premium		IR1 Padrão	IR3 Premium		IR1 Padrão	IR3 Premium
1.1	1.5	80	78,6	84.6	80	79,5	83.0	90S	75,0	81.5
1.5	2	80	81,1	85.7	90S	81,5	86.5	100L	78,0	86.5
2.2	3	90S	81,6	86.5	90L	83,1	87.5	100L	78,6	87.0
3.0	4	90L	83,0	88.5	100L	84,1	88.0	112M	83,0	88.0
3.7	5	100L	83,2	88.6	100L	85,7	89.0	132S	84,5	89.5
4.5	6	112M	85,1	89.5	112M	84,2	89.5	132S	85,5	89.5
5.5	7.5	112M	86,5	89.7	112M	87,0	91.0	132M	86,5	91.0
7.5	10	132S	87,5	90.6	132S	87,5	92.0	132M/L	87,4	91.0
9.2	12.5	132M	88,0	91.2	132M	88,5	92.4	160M	88,0	91.7
11	15	132M	87,6	91.5	132M/L	88,5	92.4	160M	89,5	91.8
15	20	160M	89,0	92.2	160M	90,2	93.4	160L	89,6	92.2
18.5	25	160M	90,4	92.8	160L	91,0	93.8	180L	90,3	93.1
22	30	160L	89,6	93.2	180M	91,1	94.0	200L	91,1	93.6
30	40	200M	90,4	93.4	200M	91,8	94.4	200L	91,8	94.1
37	50	200L	92,2	94.0	200L	92,5	94.6	225S/M	92,0	94.2
45	60	225S/M	92,5	94.3	225S/M	93,1	95.1	250S/M	92,5	94.5
55	75	225S/M	92,4	94.6	225S/M	93,1	95.4	250S/M	92,7	94.7

Fonte: Adaptado de WEG motores S/A (2017).

Para calcular o *payback* de um motor, é realizado o cálculo de consumo do de rendimento padrão e o *premium*. Assim, a diferença entre o custo dos motores, deve ser dividida pela economia mensal de energia e multiplicada por 12, para que seja calculada a quantidade de anos para retorno do investimento. Por exemplo, o cálculo para um motor de 40cv (30Kw) com 1700 rpm ocorre conforme a Figura 13:

Figura 8: Cálculo de *payback* dos motores *premium*.

Dados da aplicação		Rendimento dos motores		Valor dos motores	
Potência do motor (cv):	40,0	Classe do motor *(1):	IR1	Valor do motor (1):	R\$ 14.700,00
Potência do motor (kw):	30,0	Rendimento do motor *(1):	91,80%	Valor do motor (2):	R\$ 20.291,12
Velocidade (rpm):	1700	Classe do motor **(2):	IR3	Investimento:	R\$ 5.591,12
Tensão (v):	380	Rendimento do motor **(2):	94,40%		
Dias de trabalho/mês:	30	*(1) - Motor de menor rendimento		*(1) - Motor de menor rendimento	
Horas trabalhadas/dia:	24	** (2) - Motor de maior rendimento		** (2) - Motor de maior rendimento	
Valor do KW/h	R\$ 0,30				
CONSUMO MENSAL DOS MOTORES					
MOTOR (1):	R\$ 7.058,82				
MOTOR (2):	R\$ 6.864,41				
Potencial de economia:	R\$ 194,42				
% de economia:	3%				
Payback em anos:	<b>2,4</b>				

Fonte: Próprio autor (2017).



O cálculo acima foi realizado para todos os motores listados na tabela 1 e por se tratar de um projeto de substituição para todos os equipamentos, foi realizado o cálculo do *payback* médio:

Quadro 3: Relação de *payback* dos motores *premium*.

QUANTIDADE	POTÊNCIA	PAYBACK (ANOS)	CUSTO TOTAL (MOTOR PADRÃO)	CUSTO TOTAL (MOTOR <i>PREMIUM</i> )
3	1,5CV	2,8	R\$ 5.685,60	R\$ 7.848,45
3	1,5CV	5,0	R\$ 5.964,60	R\$ 8.237,49
1	1,5CV	2,9	R\$ 2.251,48	R\$ 3.189,25
1	2,0CV	1,9	R\$ 2.362,75	R\$ 3.347,48
3	3,0CV	2,6	R\$ 7.136,37	R\$ 9.852,99
5	3,0CV	2,7	R\$ 12.146,25	R\$ 16.770,40
1	4,0CV	1,7	R\$ 2.615,90	R\$ 3.608,85
1	4,0CV	2,7	R\$ 2.576,40	R\$ 3.698,40
1	5,0CV	1,5	R\$ 2.379,72	R\$ 3.784,13
4	5,0CV	2,2	R\$ 11.676,20	R\$ 16.120,20
1	7,5CV	1,8	R\$ 3.638,74	R\$ 5.024,78
3	15,0CV	1,8	R\$ 22.548,60	R\$ 30.249,24
1	40,0CV	2,4	R\$ 14.700,00	R\$ 20.291,12
1	60,0CV	3,4	R\$ 22.807,45	R\$ 32.313,15
1	75,0CV	2,9	R\$ 28.557,70	R\$ 38.739,75

Fonte: próprio autor (2017).

Com os valores calculados individualmente para cada motor, o valor médio de *payback* do projeto é de 2,55 anos.

Os fatores abaixo justificam a utilização da ferramenta *Payback* ao invés do *VPL*:

- O retorno do investimento pela economia do consumo de energia ocorre em um período muito menor que a vida útil dos motores (10 anos);
- Mesmo com uma alta variação do custo da energia, o *payback* não seria maior que 50% do período de utilização desses motores;
- O período de 10 anos utilizados como justificativa dessa análise, considera apenas o intervalo em que o fabricante fornece peças de reposição, sendo que este pode se estender de acordo com os cuidados e instruções indicados pelo mesmo.

### 3.7. Cenário Hipotético

Nessa etapa do trabalho, serão utilizadas ferramentas de análise para análise da melhor opção para tomada de decisão para implementação da substituição dos motores.

Para o cenário hipotético, será considerado que os motores em funcionamento poderão ser substituídos durante um prazo maior, sem afetar o funcionamento da planta, diferente do cenário real em que o mesmo era de 14 dias.

#### 3.7.1. Matriz de decisão G.U.T. e gráfico de Pareto

Para auxiliar na tomada de decisão e traçar o plano de ação para realizar a troca dos motores elétricos, o hipotético seria tomar como base os seguintes parâmetros:

- Segurança: Este parâmetro diz respeito ao fator de normalização dos equipamentos e a prevenção de possíveis acidentes. Também é levado em conta a questão de regulamentação legal, quanto ao fato de bloqueio de funcionamento da planta.
- Consumo elétrico: Se refere ao gasto com energia elétrica dos motores em funcionamento da planta. Quanto mais rápido os motores forem trocados, maior será o potencial de economia de energia do parque fabril.
- Prazo: O prazo para substituição dos motores engloba o tempo de aquisição dos motores com o fabricante e o tempo para troca dos equipamentos.
- Parada de produção: Este item se refere ao tempo em que o processo produtivo ficará parado enquanto a substituição do equipamento estará sendo efetuada. Além do tempo para substituição dos motores, também é levado em conta a possibilidade de parada por falha dos equipamentos, tendo em vista que a maioria dos equipamentos possuem mais de 10 anos de funcionamento.
- Investimento: É o custo com a aquisição do motor e a mão de obra do serviço de substituição do equipamento.

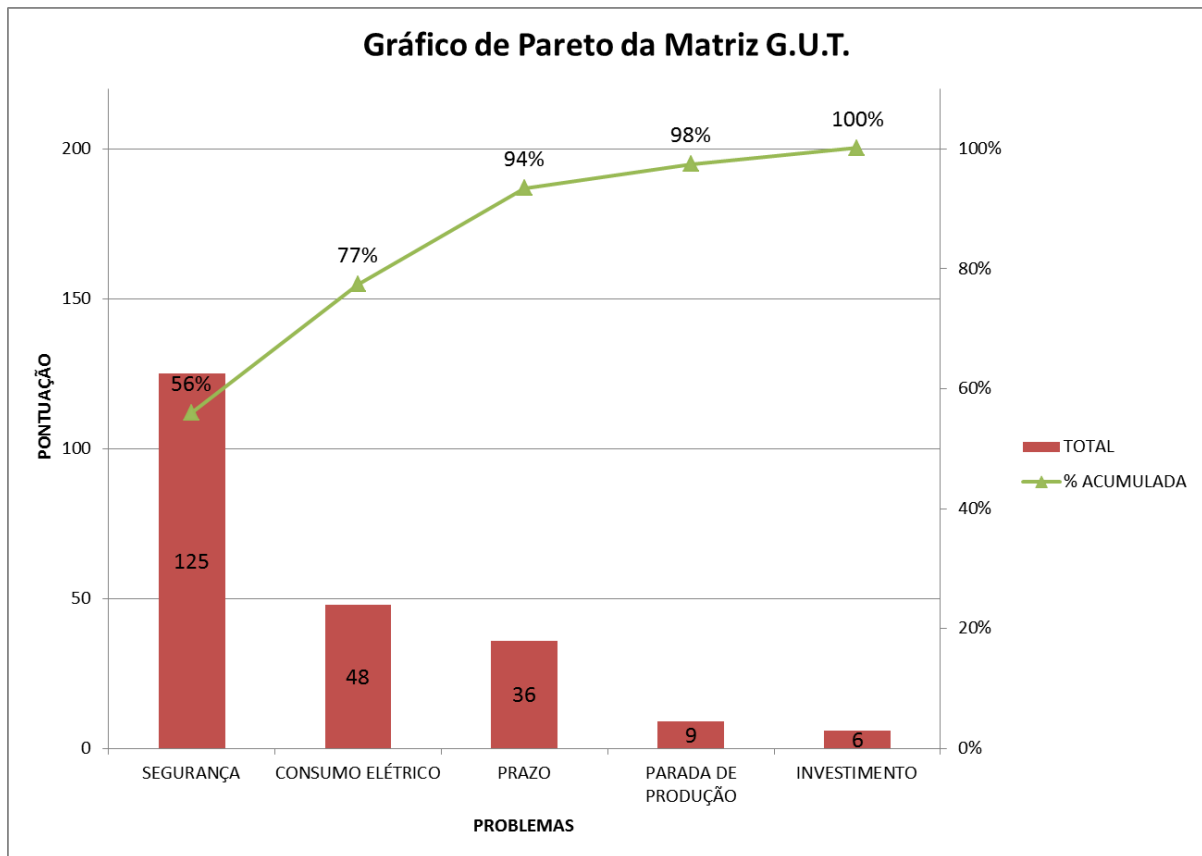
Quadro 4: Matriz de decisão G.U.T.

PROBLEMA	GRAVIDADE	URGÊNCIA	TENDÊNCIA	TOTAL	%	% ACUMULADA
SEGURANÇA	5	5	5	125	56%	56%
CONSUMO ELÉTRICO	4	3	4	48	21%	77%
PRAZO	3	4	3	36	16%	94%
PARADA DE PRODUÇÃO	3	3	1	9	4%	98%
INVESTIMENTO	2	1	3	6	3%	100%
			TOTAL	224	100%	100%

Fonte: Próprio autor (2017).

Com os dados obtidos no quadro 4, é possível gerar um gráfico de Pareto que auxilie na tomada de decisão, conforme representado pela Figura 14:

Figura 9: Gráfico de Pareto da tabela 3.



Fonte: Próprio autor (2017).

### 3.7.2. Interpretação dos dados obtidos no gráfico de Pareto.

Pelos dados obtidos na figura 14 e na tabela 3, pode-se deduzir que 77% do problema estão limitados a dois parâmetros de análise: Segurança e consumo elétrico. Os valores demonstrados no gráfico retratam o conceito principal do método de Pareto, o qual afirma que 80% dos problemas de um processo podem ser resolvidos ao se anular 20% das causas (segurança e consumo elétrico).

Para propor a melhor tomada de decisão neste caso, é necessário analisar os dois fatores separadamente:

- Segurança: Para que o fator segurança seja eliminado como uma das causas, primeiramente deve-se focar nos motores que estão fora da norma “IEC 60079-1 Equipamentos elétricos para atmosfera explosiva”, totalizando 24 equipamentos (80% do total).

Um motor não pode atender a norma de forma parcial, ou seja, o equipamento está atendendo aos quesitos ou não. Para regulamentação da planta, os motores precisam ser trocados, pois não existe a possibilidade de manutenção dos mesmos (falta de peças para reposição).

Segue abaixo a lista de motores reprovados:

Quadro 5: Motores reprovados na norma IEC 60079.

QUANTIDADE	POTÊNCIA
2	1,5CV
2	1,5CV
1	1,5CV
1	2,0CV
3	3,0CV
4	3,0CV
1	4,0CV
1	4,0CV
1	5,0CV
2	5,0CV
1	7,5CV
3	15,0CV
1	40,0CV
1	60,0CV

Fonte: Próprio autor (2017).

A única solução para eliminar a causa desse problema é a substituição desses motores, pois como citado no capítulo 1.1. o fabricante não fornece peças de reposição para equipamentos com mais de 10 anos de fabricação. Apenas pelo fator segurança, a troca de todos os motores da tabela 4 é justificada.

O segundo parâmetro, consumo elétrico, fornecerá a melhor forma possível de proceder com a troca desses equipamentos.

- Consumo de energia: É levado em conta devido ao fator de retorno de investimento, pois quanto mais rápida a substituição do motor, a economia de energia será instantânea. É preciso levar em conta que o valor do kW/hora tende a aumentar conforme o período de implantação da melhoria aumenta.

Para este caso, será utilizado um gráfico de Pareto para evidenciar em qual ordem os motores devem ser trocados, de acordo com o consumo de energia de cada motor e sua respectiva quantidade.

O cálculo do consumo de energia para cada motor será realizado utilizando a metodologia da figura 4, considerando o funcionamento contínuo dos equipamentos em um período de 30 dias. A figura 15 representa o consumo de energia dos motores que estavam fora da norma:

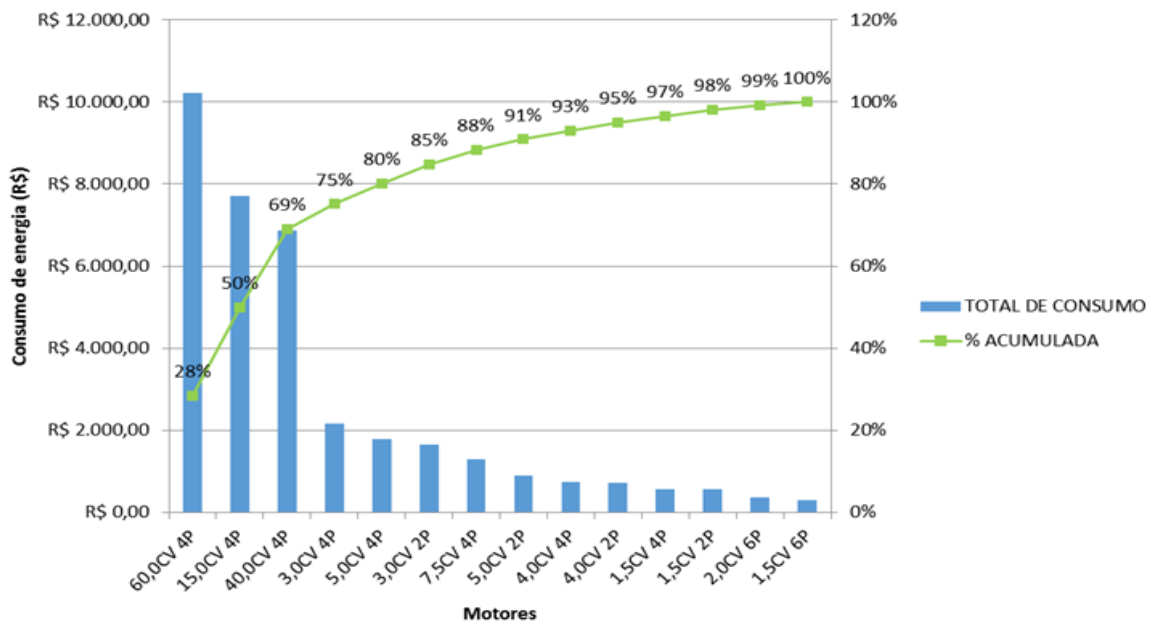
Figura 15: Consumo dos motores elétricos.

QUANTIDADE	TIPO	ROTAÇÃO	CONSUMO ELÉTRICO	TOTAL DE CONSUMO	%	% ACUMULADA
1	60,0CV 4P	1700RPM	R\$ 10.220,82	R\$ 10.220,82	28%	28%
3	15,0CV 4P	1700RPM	R\$ 2.571,43	R\$ 7.714,29	21%	50%
1	40,0CV 4P	1700RPM	R\$ 6.864,41	R\$ 6.864,41	19%	69%
4	3,0CV 4P	1700RPM	R\$ 543,09	R\$ 2.172,36	6%	75%
2	5,0CV 4P	1735RPM	R\$ 897,98	R\$ 1.795,96	5%	80%
3	3,0CV 2P	3440RPM	R\$ 549,36	R\$ 1.648,08	5%	85%
1	7,5CV 4P	1760RPM	R\$ 1.305,49	R\$ 1.305,49	4%	88%
1	5,0CV 2P	3500RPM	R\$ 902,03	R\$ 902,03	3%	91%
1	4,0CV 4P	1725RPM	R\$ 736,36	R\$ 736,36	2%	93%
1	4,0CV 2P	3490RPM	R\$ 732,20	R\$ 732,20	2%	95%
2	1,5CV 4P	1710RPM	R\$ 286,27	R\$ 572,54	2%	97%
2	1,5CV 2P	3470RPM	R\$ 280,85	R\$ 561,70	2%	98%
1	2,0CV 6P	1100RPM	R\$ 374,57	R\$ 374,57	1%	99%
1	1,5CV 6P	1100RPM	R\$ 291,53	R\$ 291,53	1%	100%
			TOTAL	R\$ 35.892,34		100%

Fonte: Próprio autor (2017).

Ao traçar o gráfico dos dados obtidos na figura 15, o gráfico de Pareto é representado pela Figura 16.

Figura 16: Gráfico de Pareto da Figura 15.



Fonte: Próprio autor (2017).

Com a análise do gráfico, pode-se concluir que 75% do problema com o consumo de energia está em 29% dos motores que precisam ser substituídos, que consiste em uma relação muito próxima a qual o método de Pareto se baseia.

Pela ideologia do método de Pareto, após a substituição do grupo inicial de motores, fica arbitrária a sequência de troca dos equipamentos, porém a melhor possível deve seguir conforme o consumo de energia demonstrado no gráfico.

#### 4. RESULTADOS

Este capítulo tem o objetivo de relatar as contribuições, dificuldades e comparar os resultados obtidos da análise do cenário real e do cenário hipotético apresentados neste trabalho.

O projeto implantado no cliente final deste trabalho teve impacto não apenas no quesito financeiro, como também influenciou no bem-estar dos trabalhadores que frequentam a planta diariamente, pois após a substituição dos motores, o ambiente de trabalho se tornou mais seguro, mais padronizado e limpo, como se pode observar na imagem dos equipamentos após o serviço de manutenção. A Figura 17 representa um conjunto motobomba previamente ao processo de manutenção e a Figura 18 após o serviço.



Figura 17: Equipamento antes do serviço de manutenção.



Fonte: próprio autor (2017).

Figura 18: Equipamentos após o serviço de manutenção.



Fonte: próprio autor (2017).

Além do quesito segurança, também houve relatos de que esse projeto teve impacto quanto ao quesito sustentabilidade da companhia, devido ao fato de que todos os motores adquiridos são de rendimento *premium* e seu compromisso com o meio-ambiente.



A vida útil da planta aumentou consideravelmente com a utilização dos novos equipamentos, influenciando diretamente no custo de manutenção e até a data deste trabalho não houveram paradas não programadas causadas por defeitos do maquinário.

A principal dificuldade deste projeto foi vender a ideia de utilizar motores de alto rendimento ao invés de equipamentos considerados padrão. Houve várias reuniões e orçamentos estimativos até que ambas as partes entrassem em acordo.

Alguns fatores não puderam ser considerados, como o rendimento dos equipamentos acionados pelos motores (bombas, redutores, torres de resfriamento), pois não havia registro dos dados de operação por parte do cliente final e que poderiam ser um fator de grande impacto na tomada de decisão. Esses dados influenciariam diretamente no consumo de energia dos equipamentos de acordo com seu dimensionamento.

O cenário hipotético do projeto foi traçado de forma retroativa e poderia ter sido um fator crucial na aprovação da proposta comercial. Já o cenário real se mostrou muito desafiador devido ao curto prazo de implantação da melhoria na planta do cliente.

## **5. CONCLUSÃO**

Ao se comparar o cenário real e o hipotético, o principal parâmetro para tomada de decisão foi a segurança, pois estava intrinsecamente ligado à um quesito normativo (o objetivo era o de atender a norma “IEC 60079-1 Equipamentos elétricos para atmosfera explosiva”).

A matriz de decisão representada pela tabela 03 demonstra que a substituição de todos os motores fora da norma IEC 60079-1 é a única opção existente que anula o fator segurança, tendo em vista que a manutenção dos equipamentos não seria possível. Sendo assim, quando analisado o cenário real em relação ao hipotético, a empresa tomou a decisão certa ao substituir todos os equipamentos.

Quanto ao quesito “economia de energia”, os dados evidenciados pela figura 14 não apenas reforçou a decisão tomada pela empresa alvo deste estudo, em relação a optar por motores de maior rendimento, como deixou uma oportunidade para futuros estudos: analisar o potencial de economia do parque industrial por completo, tendo em vista que a quantidade de motores analisada neste trabalho consiste em aproximadamente 10% da força motriz utilizada nos processos.

## REFERÊNCIAS

- ANELL – Agência Nacional De Energia Elétrica. Disponível em <http://www.brasil.gov.br/infraestrutura/2015/11/aneel-estimula-troca-de-motores-eletricos-para-promover-eficiencia-energetica>. Acesso em: 18 maio de 2017.
- ANELL – Agência Nacional De Energia Elétrica. Disponível em [http://www2.aneel.gov.br/arquivos/PDF/17-05\\_materia1\\_3.pdf](http://www2.aneel.gov.br/arquivos/PDF/17-05_materia1_3.pdf) . Acesso em 08/07/2017.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR IEC60079-1: Atmosferas explosivas Parte 1: Proteção de equipamentos por invólucro à prova de explosão “d”. Rio de Janeiro, 2009.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR IEC60079-10-1: Classificação de áreas – Atmosferas explosivas de gases inflamáveis. Rio de Janeiro, 2008.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR IEC60079-15: Equipamentos elétricos para atmosferas explosivas Parte 15: Construção, ensaios e marcação de equipamentos elétricos com tipo de proteção “n”. Rio de Janeiro, 2007.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR IEC60079-19: Reparo, Revisão e Recuperação de equipamentos. Rio de Janeiro, 2007.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR IEC60079-7: Atmosferas explosivas Parte 7: Proteção de equipamentos por segurança aumentada “e”. Rio de Janeiro, 2008
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNTa). NBRIEC-60079-0: Atmosferas Explosivas – Atmosferas Explosivas Parte 0: Equipamentos – Requisitos gerais. Rio de Janeiro, 2008.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA PARA PREVENÇÕES DE EXPLOSÕES (ABPEXb). Programa de Treinamento ABPEX: Capacitação de profissionais em áreas classificadas – Princípios Gerais de Classificação de áreas. Triunfo, 2011.
- BRASIL. Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior. Portaria N° 179, 2010. Disponível em: <http://www.inmetro.gov.br/legislacao/rtac/pdf/RTAC001559.pdf> . Acesso em 07/07/2017.
- dos Santos, E., Vasan, A. H. A importância dos investimentos: uma análise por meio do Payback, VPL e TIR. ANAIS CEAD & CIESTEC. 2015.
- FERREIRA, C.A. Motor elétrico Premium. Rio de Janeiro: Eletrobras; 2016. 65 P.
- Gil, A. C. Como elaborar projetos de pesquisa. São Paulo: Atlas, 1991.
- Jordão, D. M. Pequeno Manual de Instalações Elétricas em Atmosferas Explosivas. São Paulo: Blaucher, 2012. 150p.
- Seleme, R. Controle de qualidade: as ferramentas essenciais/ Robson Seleme, Humberto Stadler. – 2. Ed. Ver. E atual. – Curitiba> Ibpx, 2010. 180 P.
- SILVA, Márcio Lopes da; FONTES, Alessandro Albino. Discussão sobre os critérios de avaliação econômica: valor presente líquido (VPL), valor anual equivalente (VAE) e valor esperado da terra. **Rev. Árvore**, Viçosa, v. 29, n. 6, p. 931-936, Dec. 2005. Disponível em <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0100-67622005000600012&lng=en&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-67622005000600012&lng=en&nrm=iso)>. acessado em 05 Nov. 2017. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-67622005000600012>.

WEG MOTORES ELÉTRICOS S/A - <http://ecatalog.weg.net/files/wegnet/WEG-w22-motor-trifasico-tecnico-mercado-brasil-50023622-catalogo-portugues-br.pdf> . Acesso em 30/06/2017

WEG MOTORES ELÉTRICOS S/A - <http://ecatalog.weg.net/files/wegnet/WEG-cartilha-de-atmosferas-explosivas-50039055-catalogo-portugues-br.pdf> . Acesso em 30/06/2017.

Xenos, H. G. Gerenciando a Manutenção Produtiva. 1ª edição. Rio de Janeiro: EDG, 1998. 302 P.

Yin, R. K. Estudo de caso: planejamento e métodos / Robert K. Yin; trad. Daniel Grassi - 2.ed. -Porto Alegre: Bookman, 2001. 205 P.