



**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA  
DE GOIÁS  
CAMPUS ITUMBIARA  
CURSO DE BACHARELADO EM ENGENHARIA ELÉTRICA**

**MATHEUS FELIPE JORGE LADEIRA**

**LEVANTAMENTO DOS POTENCIAIS DE RACIONALIZAÇÃO  
ENERGÉTICA E ADEQUAÇÃO DE MOTORES DE INDUÇÃO  
TRIFÁSICOS EM UMA INDÚSTRIA SUCROALCOOLEIRA – UM  
ESTUDO DE CASO**

**ITUMBIARA-GO  
2024**



**INSTITUTO FEDERAL**  
Goiás

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA  
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA  
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO  
SISTEMA INTEGRADO DE BIBLIOTECAS

### **TERMO DE AUTORIZAÇÃO PARA DISPONIBILIZAÇÃO NO REPOSITÓRIO DIGITAL DO IFG - ReDi IFG**

Com base no disposto na Lei Federal nº 9.610/98, AUTORIZO o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, a disponibilizar gratuitamente o documento no Repositório Digital (ReDi IFG), sem ressarcimento de direitos autorais, conforme permissão assinada abaixo, em formato digital para fins de leitura, download e impressão, a título de divulgação da produção técnico-científica no IFG.

#### **Identificação da Produção Técnico-Científica**

- |                                                                      |                                                         |
|----------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|
| <input type="checkbox"/> Tese                                        | <input type="checkbox"/> Artigo Científico              |
| <input type="checkbox"/> Dissertação                                 | <input type="checkbox"/> Capítulo de Livro              |
| <input type="checkbox"/> Monografia – Especialização                 | <input type="checkbox"/> Livro                          |
| <input checked="" type="checkbox"/> TCC - Graduação                  | <input type="checkbox"/> Trabalho Apresentado em Evento |
| <input type="checkbox"/> Produto Técnico e Educacional - Tipo: _____ |                                                         |

Nome Completo do Autor: Matheus Felipe Jorge Ladeira

Matrícula: 20171040070039

Título do Trabalho: Levantamento dos potenciais de racionalização energética e adequação de motores de indução trifásicos em uma indústria sucroalcooleira – Um estudo de caso

#### **Autorização - Marque uma das opções**

1. (X) Autorizo disponibilizar meu trabalho no Repositório Digital do IFG (acesso aberto);
2. ( ) Autorizo disponibilizar meu trabalho no Repositório Digital do IFG somente após a data \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_ (Embargo);
3. ( ) Não autorizo disponibilizar meu trabalho no Repositório Digital do IFG (acesso restrito).

Ao indicar a opção **2 ou 3**, marque a justificativa:

- ( ) O documento está sujeito a registro de patente.  
( ) O documento pode vir a ser publicado como livro, capítulo de livro ou artigo.  
( ) Outra justificativa: \_\_\_\_\_

### **DECLARAÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO NÃO-EXCLUSIVA**

O/A referido/a autor/a declara que:

- i. o documento é seu trabalho original, detém os direitos autorais da produção técnico-científica e não infringe os direitos de qualquer outra pessoa ou entidade;
- ii. obteve autorização de quaisquer materiais inclusos no documento do qual não detém os direitos de autor/a, para conceder ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás os direitos requeridos e que este material cujos direitos autorais são de terceiros, estão claramente identificados e reconhecidos no texto ou conteúdo do documento entregue;
- iii. cumpriu quaisquer obrigações exigidas por contrato ou acordo, caso o documento entregue seja baseado em trabalho financiado ou apoiado por outra instituição que não o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás.

Itumbiara-GO, 05 / 09 / 2024.

Local

Data



Documento assinado digitalmente

MATHEUS FELIPE JORGE LADEIRA

Data: 05/09/2024 14:52:42-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Assinatura do Autor e/ou Detentor dos Direitos Autorais

**MATHEUS FELIPE JORGE LADEIRA**

**LEVANTAMENTO DOS POTENCIAIS DE RACIONALIZAÇÃO  
ENERGÉTICA E ADEQUAÇÃO DE MOTORES DE INDUÇÃO  
TRIFÁSICOS EM UMA INDÚSTRIA SUCROALCOOLEIRA – UM  
ESTUDO DE CASO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Banca examinadora do Curso de Bacharelado em Engenharia Elétrica do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, Câmpus Itumbiara, como parte dos requisitos necessários para obtenção do título de Engenheiro Eletricista.

**Área de Concentração:** Motores elétricos de indução trifásicos a prova de explosão

**Orientador(a):** Prof. Dr. Roberlam Gorçaves de Mendonça.

**Coorientador(a):** Prof. Dr. Olívio Carlos Nascimento Souto.

**ITUMBIARA-GO**

**2024**

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)**

L1541      Ladeira, Matheus Felipe Jorge

Levantamento dos potenciais de racionalização energética e adequação de motores de indução trifásicos em uma indústria sucroalcooleira: um estudo de caso. / Matheus Felipe Jorge Ladeira. -- Itumbiara, 2024.

48p. : il.

Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado em Engenharia Elétrica) - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, Câmpus Itumbiara, 2024.

Orientador: Profº. Drº. Roberlam Gonçalves de Mendonça.

1. Motores elétricos. 2. Eficiência energética. 3. Indústria. I. Título. II.. IV. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás.

CDD 621.31

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás  
Biblioteca Maria Gabriela Pacheco Pardey / Câmpus Itumbiara  
Bibliotecário: Rosiane Gonçalves de Lima CRB1/1684



**INSTITUTO FEDERAL**  
Goiás

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA  
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE GOIÁS  
CÂMPUS ITUMBIARA

### **Termo de Aprovação**

MATHEUS FELIPE JORGE LADEIRA

#### **LEVANTAMENTO DOS POTENCIAIS DE RACIONALIZAÇÃO ENERGÉTICA E ADEQUAÇÃO DE MOTORES DE INDUÇÃO TRIFÁSICOS EM UMA INDÚSTRIA SUCROALCOOLEIRA – UM ESTUDO DE CASO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Coordenação do Curso de Engenharia Elétrica do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás – Câmpus Itumbiara, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Elétrica.

Trabalho de Conclusão de Curso defendido e aprovado, em 26 de agosto de 2024, pela banca examinadora constituída pelos seguintes membros:

#### **BANCA EXAMINADORA**

Prof. Dr. Roberlam Gonçalves de Mendonça - Orientador

Instituto Federal de Goiás, Câmpus Itumbiara.

*(Assinado Eletronicamente).*

Prof. Dr. Cláudio Roberto Pacheco - membro interno

Instituto Federal de Goiás, Câmpus Itumbiara.

*(Assinado Eletronicamente).*

Prof. Dr. Victor Régis Bernardeli - membro interno

Instituto Federal de Goiás, Câmpus Itumbiara.

*(Assinado Eletronicamente).*

Itumbiara – GO

2024

Documento assinado eletronicamente por:

- **Roberlam Gonçalves de Mendonca**, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 28/08/2024 13:57:06.
- **Claudio Roberto Pacheco**, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 26/08/2024 21:23:30.
- **Victor Regis Bernardeli**, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 26/08/2024 20:26:20.

Este documento foi emitido pelo SUAP em 26/08/2024. Para comprovar sua autenticidade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse <https://suap.ifg.edu.br/autenticar-documento/> e forneça os dados abaixo:

Código Verificador: 555901

Código de Autenticação: 7f86414d2b



**Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás**

Avenida Furnas, nº 55, None, Bairro Village Imperial, ITUMBIARA / GO, CEP 75524-010  
(64) 2103-5612 (ramal: 5612)

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a todos aqueles que sempre estiveram ao meu lado e me fizeram crescer cada vez mais. Agradeço aos amigos que fiz no decorrer do curso e que passaram por todas as dificuldades e momentos de descontração. Agradeço a Instituição por proporcionar a estrutura e a todos os professores pelos conhecimentos passados, nos capacitando da melhor forma possível para que possamos nos tornar bons profissionais. Agradeço principalmente aos meus familiares e esposa que independente da situação, sempre estiveram ao meu lado.

Concentre todos seus pensamentos na tarefa  
que está realizando. Os raios de sol não  
queimam até que sejam colocados em foco.  
(Alexander Graham Bell)

## RESUMO

O presente trabalho tem como objetivo apresentar um estudo para substituição dos motores de indução trifásicos (MITs) antigos, instalados nos setores de destilação, secagem e ensaque de açúcar, bem como na fabricação de levedura em uma usina sucroalcooleira, por motores apropriados para áreas com atmosferas explosivas e mais eficientes do ponto de vista elétrico. Essa substituição visa garantir a conformidade com as normas de segurança estabelecidas, eliminando os riscos de explosões e incêndios associados à utilização de motores não adequados. O roteiro de trabalho inicia-se com a apresentação de conceitos e teorias sobre os processos produtivos de uma indústria produtora de açúcar, álcool e levedura seca, além disso, também são contempladas definições relacionadas à MITs e critérios para adequação de áreas classificadas. A partir dos dados levantados referente aos MITs e ao estudo de classificação de áreas realizado por empresa especializada, é possível definir qual equipamento deve ser instalado em cada setor baseado em suas zonas de classificação. Por fim através do mapeamento dos ativos é possível quantizar o potencial de racionalização energética, contemplando o *payback* já que a energia economizada é vendida como exportação para a concessionária. Pode concluir-se que os MITs escolhidos para adequação e o cronograma proposto atende de forma satisfatória o objetivo de adequação das áreas, além disso, o estudo de eficiência energética mostra um retorno financeiro quanto a substituição dos equipamentos, portanto além de atender as normas de segurança ainda há uma redução de custos quanto ao consumo de energia elétrica.

**Palavras-chave:** Motores Elétricos. Atmosfera Explosiva. Sucroalcooleira. Eficiência Energética.

## **ABSTRACT**

*The present work aims to present a study to replace old three-phase induction motors (MITs), installed in distillation, drying and sugar testing sectors, as well as in the manufacture of yeast in a sugar and alcohol plant, with motors optimized for areas with explosive atmosphere and more efficient from an electrical point of view. This replacement aims to ensure compliance with conditional safety standards, eliminating the risks of explosions and fires associated with the use of unsuitable engines. The work guide begins with the presentation of concepts and theories about the production processes of an industry producing sugar, alcohol and dry yeast, in addition, definitions related to MIT and criteria for adapting specific areas are also included. . Based on the data collected regarding MITs and the area classification study carried out by the specialized company, it is possible to define which equipment should be installed in each sector based on their classification zones. Finally, through asset mapping it is possible to quantize the potential for energy rationalization, considering the return since the energy saved is sold as export for export. It can be concluded that the MITs chosen for adaptation and the proposed schedule satisfactorily meet the objective of adapting the areas, in addition, the energy efficiency study shows a financial return in terms of replacing the equipment, therefore, in addition to meeting the standards of safety there is a reduction in costs in terms of electricity consumption.*

**Keywords:** *Electric motors. Explosive Atmosphere. Sugar and Alcohol Company. Energy Efficiency.*

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

|                                                                 |    |
|-----------------------------------------------------------------|----|
| <b>Figura 1</b> - Curva de desempenho em carga .....            | 29 |
| <b>Figura 2</b> - Modelo 01 Placa de Identificação WEG .....    | 34 |
| <b>Figura 3</b> - Modelo 02 Placa de Identificação WEG .....    | 34 |
| <b>Figura 4</b> - Placa de identificação do MEL1061.....        | 35 |
| <b>Figura 5</b> - Placa de identificação do MEL1032.....        | 35 |
| <b>Figura 6</b> - Alicate amperímetro utilizado .....           | 36 |
| <b>Figura 7</b> - Estrutura do alicate amperímetro.....         | 37 |
| <b>Figura 8</b> - Medição da corrente de operação dos MITs..... | 38 |
| <b>Figura 9</b> - MEL0482.....                                  | 41 |
| <b>Figura 10</b> - MEL0270.....                                 | 41 |
| <b>Figura 11</b> - MEL1061.....                                 | 41 |
| <b>Figura 12</b> - MEL2017.....                                 | 41 |
| <b>Figura 13</b> - MEL0545.....                                 | 41 |
| <b>Figura 14</b> - MEL045.....                                  | 41 |
| <b>Figura 15</b> - MEL0455.....                                 | 42 |
| <b>Figura 16</b> - MEL0377.....                                 | 42 |
| <b>Figura 17</b> - MEL01522.....                                | 42 |
| <b>Figura 18</b> - MEL060.....                                  | 42 |
| <b>Figura 19</b> - MEL0340.....                                 | 42 |
| <b>Figura 20</b> - MEL0829.....                                 | 42 |
| <b>Figura 21</b> - MEL1547.....                                 | 42 |
| <b>Figura 22</b> - MEL0637.....                                 | 42 |
| <b>Figura 23</b> - MEL0300.....                                 | 43 |
| <b>Figura 24</b> - MEL012.....                                  | 43 |
| <b>Figura 25</b> - MEL059.....                                  | 43 |
| <b>Figura 26</b> - MEL0172.....                                 | 43 |
| <b>Figura 27</b> - MEL0203.....                                 | 43 |
| <b>Figura 28</b> - MEL0532.....                                 | 43 |
| <b>Figura 29</b> - MEL0520.....                                 | 43 |
| <b>Figura 30</b> - MEL0615.....                                 | 43 |
| <b>Figura 31</b> - MEL1047.....                                 | 44 |
| <b>Figura 32</b> - MEL0364.....                                 | 44 |

|                                                                                |    |
|--------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Figura 33 - MEL0623</b> .....                                               | 44 |
| <b>Figura 34 - MEL0444</b> .....                                               | 44 |
| <b>Figura 35 - MEL1602</b> .....                                               | 44 |
| <b>Figura 36 - ME301</b> .....                                                 | 44 |
| <b>Figura 37 - MEL041</b> .....                                                | 44 |
| <b>Figura 38 - MEL20011</b> .....                                              | 44 |
| <b>Figura 39 - MEL0242</b> .....                                               | 45 |
| <b>Figura 40 - MEL0290</b> .....                                               | 45 |
| <b>Figura 41 - MEL047</b> .....                                                | 45 |
| <b>Figura 42 - MEL1020</b> .....                                               | 45 |
| <b>Figura 43 - MEL0189</b> .....                                               | 45 |
| <b>Figura 44 - MEL0492</b> .....                                               | 45 |
| <b>Figura 45 - MEL0308</b> .....                                               | 45 |
| <b>Figura 46 - MEL1032</b> .....                                               | 45 |
| <b>Figura 47 - MEL0377 e moinho de levedura 02 (sem tag)</b> .....             | 46 |
| <b>Figura 48 - MEL0790 e vent. forçada secador levedura 01 (sem tag)</b> ..... | 46 |
| <b>Figura 49 - MEL0820 e MEL0824</b> .....                                     | 46 |
| <b>Figura 50 - MEL1202</b> .....                                               | 46 |

## LISTA DE TABELAS

|                                                                      |    |
|----------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Tabela 1</b> - Classes de Temperatura .....                       | 25 |
| <b>Tabela 2</b> - Tipos de EPL .....                                 | 26 |
| <b>Tabela 3</b> - Tipos de Proteção e EPL .....                      | 26 |
| <b>Tabela 4</b> - Tipos de Proteção .....                            | 31 |
| <b>Tabela 5</b> - Resumo da relação de motores inadequados .....     | 33 |
| <b>Tabela 6</b> - Formas Construtivas para montagem horizontal ..... | 39 |
| <b>Tabela 7</b> - Formas construtivas para montagem vertical .....   | 40 |
| <b>Tabela 8</b> - Resumo quantitativo por especificação .....        | 47 |
| <b>Tabela 9</b> - Resumo dos valores de aquisição .....              | 48 |
| <b>Tabela 10</b> - Resultados Econômicos Globais .....               | 52 |
| <b>Tabela 11</b> - Etapas de substituição .....                      | 53 |

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica.

IEC - International Electrotechnical Commission.

MIT – Motor de Indução Trifásico.

RN - Resolução Normativa..

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas.

NBR - Norma Brasileira.

ANSI - *American National Standards Institute*

CSA - *Canadian Standards Association*

ATEX - *Atmosphères Explosibles*

UL - *Underwrites Laboratories*

ISA - *International Society of Automation*

NFPA - *National Fire Protection Association*

EN - *European Norm*

EPL - *Equipment Protection Level*

AC – *Alternating Current* (Corrente Alternada)

DC – *Direct Current* (Corrente Contínua)

EX - *Explosive*

## SUMÁRIO

|             |                                                                    |           |
|-------------|--------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1</b>    | <b>INTRODUÇÃO .....</b>                                            | <b>14</b> |
| <b>1.1</b>  | <b>Objetivos .....</b>                                             | <b>15</b> |
| 1.1.1       | Objetivo Geral .....                                               | 15        |
| 1.1.2       | Objetivos Específicos .....                                        | 16        |
| <b>1.2</b>  | <b>Justificativa.....</b>                                          | <b>16</b> |
| <b>2</b>    | <b>METODOLOGIA.....</b>                                            | <b>18</b> |
| <b>3</b>    | <b>REFERENCIAL TEÓRICO .....</b>                                   | <b>19</b> |
| <b>3.1</b>  | <b>Energia Elétrica .....</b>                                      | <b>19</b> |
| <b>3.2</b>  | <b>Fatura.....</b>                                                 | <b>19</b> |
| <b>3.3</b>  | <b>Demanda .....</b>                                               | <b>20</b> |
| <b>3.4</b>  | <b>Postos Tarifários .....</b>                                     | <b>21</b> |
| <b>3.5</b>  | <b>Períodos Secos e Úmidos .....</b>                               | <b>21</b> |
| <b>3.6</b>  | <b>Consumidor .....</b>                                            | <b>22</b> |
| <b>3.7</b>  | <b>Gerenciamento de Energia.....</b>                               | <b>22</b> |
| <b>3.8</b>  | <b>Eficiência Energética .....</b>                                 | <b>22</b> |
| <b>3.9</b>  | <b>Diagnóstico Energético .....</b>                                | <b>22</b> |
| <b>3.10</b> | <b>Medição de Energia.....</b>                                     | <b>23</b> |
| <b>3.11</b> | <b>Atmosfera Explosiva .....</b>                                   | <b>23</b> |
| <b>3.12</b> | <b>Normas de Segurança para Áreas com Atmosfera Explosiva.....</b> | <b>23</b> |
| <b>3.13</b> | <b>Zonas de Classificação .....</b>                                | <b>24</b> |
| <b>3.14</b> | <b>Classes de Temperatura e Grupos de Equipamentos .....</b>       | <b>24</b> |
| 3.14.1      | Classes de Temperatura .....                                       | 24        |
| 3.14.2      | Grupos de Equipamentos.....                                        | 25        |
| <b>3.15</b> | <b>Níveis de Proteção dos Equipamentos .....</b>                   | <b>26</b> |
| <b>3.16</b> | <b>Seleção de Equipamentos .....</b>                               | <b>27</b> |

|        |                                                                                  |    |
|--------|----------------------------------------------------------------------------------|----|
| 3.17   | <b>Motores Elétricos EX</b>                                                      | 27 |
| 3.18   | <b>Rendimento e Fator de Potência</b>                                            | 28 |
| 3.18.1 | Rebobinagem de MITs                                                              | 30 |
| 3.19   | <b>Tipos de Invólucros ou Proteções</b>                                          | 30 |
| 3.19.1 | Gases e Vapores Inflamáveis                                                      | 31 |
| 3.19.2 | Poeiras Combustíveis                                                             | 32 |
| 4      | <b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b>                                                    | 33 |
| 4.1    | <b>Estudo de Classificação de Áreas</b>                                          | 33 |
| 4.2    | <b>Levantamento de ativos</b>                                                    | 33 |
| 4.2.1  | Obtenção de dados de placa                                                       | 34 |
| 4.2.2  | Mapeamento das correntes de operação                                             | 36 |
| 4.2.3  | Mapeamento fotográfico                                                           | 38 |
| 4.3    | <b>Escolha dos equipamentos</b>                                                  | 46 |
| 4.4    | <b>Levantamento de custo para troca</b>                                          | 47 |
| 4.5    | <b>Projeto de eficiência energética</b>                                          | 48 |
| 4.5.1  | Considerações do projeto                                                         | 48 |
| 4.6    | <b>Cronograma de substituição</b>                                                | 53 |
| 5      | <b>CONCLUSÃO</b>                                                                 | 54 |
|        | <b>REFERÊNCIAS</b>                                                               | 56 |
|        | <b>APÊNDICE A – BASE DE DADOS MOTORES ANTIGOS</b>                                | 60 |
|        | <b>APÊNDICE B – DETALHAMENTO E RESULTADOS ECONÔMICOS MOTORES ANTIGOS X NOVOS</b> | 65 |
|        | <b>ANEXO A – DESENHOS DE CLASSIFICAÇÃO DE ÁREA</b>                               | 67 |
|        | <b>ANEXO B – FATURAS DE ENERGIA</b>                                              | 71 |

## 1 INTRODUÇÃO

A utilização de motores elétricos de indução trifásico (MIT) é amplamente difundida na indústria devido às suas vantagens em termos de desempenho, eficiência e versatilidade. Tais motores são projetados para operar com sistemas de alimentação de energia elétrica de três fases, sendo amplamente utilizados em diversos setores industriais.

Os MITs são conhecidos por seu bom desempenho em termos de torque, velocidade e capacidade de carga. Eles oferecem uma ampla faixa de velocidade de operação e têm a capacidade de fornecer um torque variável de acordo com as condições de carga do processo em que está inserido, tornando-os ideais para aplicações industriais. Com o desenvolvimento de novas tecnologias e aperfeiçoamento dos processos produtivos os motores fabricados nos tempos atuais possuem uma alta eficiência energética, convertendo uma maior proporção de energia elétrica em energia mecânica. Isso se deve ao emprego de materiais de melhor qualidade em sua fabricação o que contribui para a redução das perdas e aumento do desempenho do motor. [32]

No entanto, em ambientes com atmosfera explosiva, como é o caso dos setores de destilação, secagem e ensaque de açúcar, bem como na fabricação de levedura proveniente do processo de destilaria em uma indústria sucroalcooleira, é fundamental adotar medidas específicas para garantir a segurança das operações. A presença de vapores inflamáveis ou partículas suspensas provenientes desses processos cria um risco potencial de explosões, tornando imprescindível a utilização de motores elétricos adequados a essas condições.

A utilização de MITs inadequados em áreas com atmosfera explosiva acarreta impactos significativos. Em primeiro lugar, existe um risco iminente de explosões, colocando em perigo a integridade física dos trabalhadores e podendo resultar em acidentes graves. Além disso, motores comuns, que não possuem o grau de segurança adequado, quando colocado em operação em ambientes com atmosfera explosiva aumenta a probabilidade de falhas e mau funcionamento, levando a paradas não programadas e perdas significativas na produção.

Além do risco de segurança mencionado anteriormente, outra grande preocupação consiste na utilização da energia elétrica de uma forma cada vez mais racional e otimizada. Hoje um tema presente em todas as reuniões de organizações que estão desafiadas pela crise nacional é a redução de custos. A energia então desponta como um dos recursos mais dispendioso, visto que seu custo vem aumentando consideravelmente nos últimos anos e

a gestão de energia feita de forma eficiente pode trazer uma redução significativa de custos nas empresas.

Reduzir custos sem que a operação e os resultados do negócio sejam comprometidos é uma das diretrizes a perseguir quando se pretende ser competitivo e sustentável no mercado. No Brasil, a tarifa de energia elétrica superou a inflação em quase 50% nos últimos vinte anos. Segundo um levantamento da Federação das Indústrias do Rio de Janeiro, em 2017 já era a sexta mais cara do mundo. A entidade aponta também que a energia elétrica é o principal insumo em 79% das empresas do setor industrial, em alguns segmentos pode representar mais de 40% dos custos de produção. A tarifa de energia também impacta outros setores, como o varejo por exemplo. Em redes de supermercados a energia elétrica representa o segundo maior custo, ficando atrás apenas da folha de pagamento. [33]

Os principais pontos de desperdício, levando em consideração um ambiente industrial, estão relacionados aos MITs, a iluminação e os sistemas de geração de calor ou resfriamento. Estes estão interligados principalmente aos métodos de operação, normalização de processos, treinamento e qualificação de colaboradores. Porém os pontos de desperdício não estão limitados apenas às indústrias, comércios e residências de pequeno e grande porte também estão sujeitos ao uso inadequado.

## **1.1 Objetivos**

### **1.1.1 Objetivo Geral**

O objetivo principal é apresentar um estudo para substituição dos MITs antigos, instalados nos setores de destilação, secagem e ensaque de açúcar, bem como na fabricação de levedura em uma usina sucroalcooleira (cujo nome não será citado por questões de confidencialidade), por motores apropriados para áreas com atmosfera explosiva e mais eficientes do ponto de vista elétrico. Essa substituição visa garantir a conformidade com as normas de segurança estabelecidas, eliminando os riscos de explosões e incêndios associados à utilização de motores não adequados.

### 1.1.2 Objetivos Específicos

Para que seja possível atender ao objetivo geral serão realizadas as tarefas elencadas na sequência:

1. Aquisição de dados referente aos ambientes e motores instalados. Em seguida analisar pontos críticos em locais com maior risco de acidentes;
2. Estudar o comportamento elétrico de MITs padrão e de alto rendimento, realizando comparações do ponto de vista de consumo de energia elétrica e custos;
3. Apresentar as normas e indicações de equipamentos elétricos para atmosferas explosivas;
4. Elaborar banco de dados contendo informações de placa, característica construtiva, corrente de operação, percentual de carga, consumo anual, economia por ano e valor de investimento para cada motor. A base será construída utilizando o Microsoft Excel (2013);
5. Realizar estudos para substituição dos motores antigos por motores de alto rendimento.
6. Realizar análise da viabilidade econômica do projeto;
7. Elaborar plano de ação e fazer o monitoramento;
8. Análise dos resultados obtidos e confrontamento com a teoria;
9. Desenvolvimento do relatório final e divulgação dos resultados obtidos durante a pesquisa.

## 1.2 Justificativa

A adequação de instalações elétricas em áreas classificadas, levando em consideração a eficiência energética dos equipamentos que serão instalados, é um tema de extrema relevância e atualidade já que aborda tópicos que envolvem segurança operacional devido ao risco significativo de acidentes e explosões e também aborda eficiência energética devido ao fato de que motores com alto rendimento energético nas áreas classificadas pode resultar em economia significativa de energia, reduzindo os custos operacionais e contribuindo para a sustentabilidade ambiental da usina.

Para que as adequações e acompanhamento sejam realizados de forma correta é preciso seguir as normas que regem um conjunto de diretrizes e requisitos específicos de equipamentos elétricos em áreas classificadas.

Outro ponto a ser mencionado, envolve a utilização racional da energia elétrica, sendo esse um diferencial competitivo, onde a economia de energia além de trazer um retorno financeiro, traz também um desenvolvimento sustentável ao país. É de conhecimento geral que os recursos naturais são limitados, o processo de melhoria contínua focado em eficiência energética e gestão de consumo, visa utilizar de forma consciente e eficiente os recursos disponíveis, obtendo o melhor custo/benefício e consequentemente evitando o desperdício.

Dentro deste contexto, este trabalho procurará abordar os seguintes aspectos:

- Levantamento de banco de dados de motores elétricos trifásicos não classificados, utilizando o Microsoft Excel (2013), para adequação de instalações elétricas em atmosfera explosiva em uma Usina Sucroalcooleira.
- Trazer contribuições importantes para a usina sucroalcooleira em termos de segurança, eficiência energética e operacionalidade. Além disso, proporciona uma oportunidade de aprofundamento dos conhecimentos teóricos e práticos adquiridos ao longo do curso, integrando-os em um contexto real e desafiador.

Baseado nas justificativas apresentadas, faz-se necessário a elaboração de uma metodologia eficiente para que se possa cumprir todos os objetivos desejados com o projeto. Tal metodologia será apresentada no próximo capítulo.

## 2 METODOLOGIA

O presente trabalho é realizado na forma de estudo de caso, onde será definido os MITs a serem instalados nos setores de secagem de açúcar, destilaria e fábrica de levedura de uma indústria sucroalcooleira cuja atmosfera é considerada explosiva. Além disso será realizado uma análise preliminar de desempenho energético dos motores apresentando resultados econômicos que poderão ser obtidos mediante substituição dos ativos.

A metodologia a ser empregada no desenvolvimento deste trabalho se constitui de:

- Embasamento teórico em artigos, dissertações e teses sobre instalação de MITs em atmosferas explosivas;
- Formulação do banco de dados e criação do modelo de gestão visual utilizando software Microsoft Excel;
- Condução de análise de riscos abrangente, identificando os potenciais pontos de perigo relacionados à utilização dos motores atualmente instalados em áreas com atmosfera explosiva nos setores em estudo. Essa análise levará em consideração os tipos de explosões possíveis, as propriedades dos materiais inflamáveis presentes e as consequências associadas aos riscos identificados.
- Seleção dos motores apropriados com base nas informações coletadas e na análise de riscos, serão identificados os requisitos específicos dos motores elétricos a serem adquiridos. Serão consideradas características como classificação de área, níveis de proteção, capacidade de operação em condições adversas, eficiência energética e outras especificações relevantes.
- Será realizado um estudo abrangente para avaliar a viabilidade técnica e econômica da substituição dos motores. Serão considerados aspectos como o investimento necessário para a aquisição dos novos motores, os ganhos esperados em eficiência energética e a economia de energia elétrica. Será realizada uma análise de custo-benefício detalhada para embasar a tomada de decisão.
- Será realizado um cálculo de payback simples para determinar o tempo necessário para recuperar o investimento realizado na substituição dos motores. Isso levará em consideração os ganhos de eficiência energética e a economia de energia elétrica alcançada, permitindo uma avaliação do retorno financeiro do projeto.

### 3 REFERENCIAL TEÓRICO

Os itens detalhados abaixo abordam uma ampla gama de tópicos essenciais para a compreensão e implementação de medidas de segurança e eficiência energética em ambientes industriais. Este capítulo foi estruturado para fornecer uma base sólida de conhecimentos, que abrange desde conceitos fundamentais de energia elétrica até aspectos específicos relacionados a atmosferas explosivas e normas de segurança.

#### 3.1 Energia Elétrica

Para o funcionamento de equipamentos elétricos e eletrônicos o uso da energia elétrica se torna imprescindível. Basicamente a energia elétrica é formada por duas componentes: componente ativa (energia ativa) e componente reativa (energia reativa).

A energia elétrica ativa se refere ao uso da potência ativa em um determinado período de tempo, tem como unidade de medida quilowatt-hora (kWh). Pode-se considerar que é a energia que realiza trabalho.

A energia elétrica reativa é utilizada pelos equipamentos na formação dos campos eletromagnéticos necessários para o funcionamento. Esta componente ao contrário da componente ativa, não realiza trabalho. Sua unidade usual é o quilovolt-ampere-reativo-hora (kvarh).

O fator de potência é um fator que indica percentualmente quanto da potência fornecida pela fonte geradora é efetivamente convertida em trabalho útil, em outras palavras, em potência ativa. Assim, o fator de potência é utilizado como indicador de eficiência do uso de sistemas elétricos evidenciando numericamente o aproveitamento da energia elétrica. [12]

#### 3.2 Fatura

É o preço da unidade de energia elétrica (R\$/MWh) e/ou da demanda de potência ativa (R\$/kW).

### 3.3 Demanda

É uma média da potência elétrica, seja ela ativa e/ou reativa, solicitada ao sistema elétrico pela parcela da carga instalada em operação na unidade consumidora, durante determinado intervalo de tempo específico. [12]

A demanda é subdividida em:

- Demanda Máxima

É a demanda com maior valor em um determinado período de tempo (dia, mês, ano etc.).

- Demanda Média

É a relação entre a quantidade de energia elétrica consumida durante certo período de tempo e o número de horas desse período.

- Demanda Medida

É a maior demanda de potência ativa, verificada por medição, integralizada no intervalo determinado para sua verificação.

- Demanda Contratada

Demanda de potência ativa a ser obrigatoriamente e continuamente disponibilizada pela concessionária, no ponto de entrega, conforme valor e período de vigência no contrato de fornecimento e que deverá ser integralmente paga, seja ou não utilizada durante o período de faturamento, expressa em quilowatts (kW). [12]

- Demanda Faturável

Valor da demanda de potência ativa, identificada de acordo com os critérios estabelecidos e considerada para fins de faturamento, com aplicação da respectiva tarifa, expressa em quilowatts (kW). [12]

### **3.4 Postos Tarifários**

Os postos tarifários são definidos para permitir a contratação e o faturamento da energia e da demanda de potência diferenciada ao longo do dia (tarifa horo-sazonal), conforme as diversas modalidades tarifárias. A regulamentação consta na Resolução Normativa ANEEL - RN nº 414/2010:

- **Horário de Ponta**

Horário de ponta refere-se ao período composto por 3 (três) horas diárias consecutivas definidas pela distribuidora considerando a curva de carga de seu sistema elétrico, aprovado pela ANEEL para toda a área de concessão, com exceção feita aos sábados, domingos, e feriados nacionais.

- **Horário Fora de Ponta**

Horário fora de ponta refere-se ao período composto pelo conjunto das horas diárias consecutivas e complementares àquelas definidas no horário de ponta e intermediário (no caso da Tarifa Branca).

- **Horário Intermediário**

O horário intermediário refere-se ao período de uma hora anterior e posterior ao horário de ponta, aplicado exclusivamente as unidades tarifárias pertencentes à tarifa branca.

### **3.5 Períodos Secos e Úmidos**

Estes períodos são divididos a partir dos períodos chuvosos e de estiagem nos reservatórios de água utilizados para geração de energia elétrica.

O período seco apresenta pouca chuva e geralmente se estende de maio a novembro, durante esse período, em algumas modalidades, as tarifas podem apresentar valores mais elevados.

Já o período úmido, de dezembro a abril, é o período com mais chuvas. Geralmente é o período em que o reservatório das Usinas Hidrelétricas aumenta o nível de água.

### **3.6 Consumidor**

É uma pessoa física ou jurídica, de direito público ou privado, legalmente representado, que solicite a distribuidora o fornecimento, a contratação de energia elétrica ou o uso do sistema elétrico, assumindo as obrigações decorrentes desse atendimento à(s) sua(s) unidade(s) consumidora(s). [12]

### **3.7 Gerenciamento de Energia**

O gerenciamento de energia tem como objetivo reduzir e controlar os custos com energia elétrica de forma inteligente, levando em consideração o balanceamento de cargas elétricas, pré diagnóstico e diagnóstico energético, correção de fator de potência, comissão de conservação de energia. Visa de forma objetiva e técnica obter a máxima eficiência energética do empreendimento/residência.

### **3.8 Eficiência Energética**

A eficiência energética visa a utilização da energia elétrica da melhor forma possível, utilizando uma menor quantidade de recursos para se atingir o mesmo objetivo. Basicamente consiste da relação entre a quantidade de energia empregada em uma atividade e aquela disponibilizada para sua realização.

### **3.9 Diagnóstico Energético**

O diagnóstico energético é um procedimento de caráter fundamental para que se estabeleça um programa de gestão eficiente de energia. Deve ser realizado para que a empresa ou instituição interessada, em definir seu potencial de conservação, possa avaliar a condição de suas instalações no que diz respeito ao quesito energia. Com os indicadores de desempenho em mãos será possível determinar os problemas e a maneira pelas quais estes devem ser solucionados. [12]

### **3.10 Medição de Energia**

Tem como objetivo medir o consumo de energia elétrica em um determinado período de tempo, já que a mesma é uma grandeza mensurável. O histórico de medições proporciona as condições necessárias para a criação do banco de dados do estabelecimento, possibilitando um pré-diagnóstico e um diagnóstico mais assertivo.

### **3.11 Atmosfera Explosiva**

Uma atmosfera explosiva é caracterizada pela presença de substâncias inflamáveis, como vapores, gases, poeiras ou fibras combustíveis, em combinação com o ar em condições atmosféricas. A formação dessa atmosfera explosiva ocorre quando há uma mistura adequada de substâncias inflamáveis, concentração de oxigênio e uma fonte de ignição. É importante destacar que a simples presença dessas substâncias não garante a ocorrência de uma explosão, mas sim a combinação correta dos três elementos.

### **3.12 Normas de Segurança para Áreas com Atmosfera Explosiva**

Existem normas e regulamentações específicas que estabelecem os requisitos de segurança para a utilização de equipamentos elétricos em áreas classificadas como explosivas. Alguns exemplos dessas normas são:

- Norma ABNT NBR IEC 60079-10-1:2022 Versão corrigida: 2022: Estabelece os requisitos para a classificação de áreas onde existem gases inflamáveis e vapores.
- Norma ABNT NBR IEC 60079-10-2:2016: Fornece orientações para a classificação de áreas onde poeiras combustíveis estão presentes.
- Norma ABNT NBR IEC 60079-14:2016 Versão corrigida 3:2023: Trata dos requisitos para a seleção, instalação e manutenção de equipamentos elétricos utilizados em atmosferas explosivas.
- Norma ABNT NBR IEC 60079-17:2014 Versão corrigida: 2017: Estabelece os requisitos para a inspeção e manutenção de equipamentos elétricos em atmosferas explosivas.

Essas normas têm como objetivo garantir a segurança dos equipamentos e a proteção contra explosões em áreas com atmosfera explosiva. Elas estabelecem critérios de

classificação de áreas, requisitos de instalação, seleção e manutenção de equipamentos elétricos adequados para esses ambientes.

### 3.13 Zonas de Classificação

A classificação de áreas, em ambientes industriais, é uma prática essencial para garantir a segurança de operações em locais onde substâncias inflamáveis ou combustíveis podem estar presentes. A classificação é baseada na probabilidade e na frequência da presença dessas substâncias, criando zonas de classificação que ajudam a gerenciar os riscos de explosões. Este referencial teórico aborda os princípios fundamentais das zonas de classificação em atmosferas explosivas, destacando as normas internacionais, critérios de classificação e as medidas de proteção associadas.

A classificação de áreas em zonas é baseada na probabilidade e duração da presença de substâncias inflamáveis. As zonas são categorizadas em:

- **Zona 0 (Gás):** Atmosfera explosiva presente continuamente ou por longos períodos.
- **Zona 1 (Gás):** Atmosfera explosiva provável de ocorrer durante o funcionamento normal.
- **Zona 2 (Gás):** Atmosfera explosiva pouco provável de ocorrer e, se ocorrer, será apenas por curtos períodos.
- **Zona 20 (Poeiras):** Atmosfera explosiva de poeiras presente continuamente ou por longos períodos.
- **Zona 21 (Poeiras):** Atmosfera explosiva de poeiras provável de ocorrer durante o funcionamento normal.
- **Zona 22 (Poeiras):** Atmosfera explosiva de poeiras pouco provável de ocorrer e, se ocorrer, será apenas por curtos períodos.

### 3.14 Classes de Temperatura e Grupos de Equipamentos

#### 3.14.1 Classes de Temperatura

Em ambientes onde a presença de substâncias inflamáveis é uma preocupação, as classes de temperatura desempenham um papel fundamental ao especificar a temperatura máxima superficial que um equipamento elétrico ou mecânico pode atingir sem causar a

ignição da atmosfera explosiva circundante. A norma ABNT NBR IEC 60079-0:2020 versão corrigida 5:2024 estabelece classes de T1 a T6, representando diferentes faixas de temperaturas máximas, proporcionando uma indicação clara da capacidade de um dispositivo de evitar a ignição. Cada classe é associada a uma temperatura máxima superficial específica conforme a tabela a seguir:

**Tabela 1** - Classes de Temperatura

| CLASSES de TEMPERATURA requerida pela CLASSIFICAÇÃO de ÁREA | TEMPERATURA de IGNIÇÃO do gás ou vapor inflamável existente na área classificada onde o EQUIPAMENTO será instalado | Máxima temperatura de SUPERFÍCIE do EQUIPAMENTO | CLASSES de TEMPERATURA do EQUIPAMENTO permitidas para instalação |
|-------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------|
| <b>T1</b>                                                   | T ignição gás > 450° C                                                                                             | 450°C                                           | <b>T1 - T6</b>                                                   |
| <b>T2</b>                                                   | T ignição gás > 300° C                                                                                             | 300°C                                           | <b>T2 - T6</b>                                                   |
| <b>T3</b>                                                   | T ignição gás > 200° C                                                                                             | 200°C                                           | <b>T3 - T6</b>                                                   |
| <b>T4</b>                                                   | T ignição gás > 135° C                                                                                             | 135°C                                           | <b>T4 - T6</b>                                                   |
| <b>T5</b>                                                   | T ignição gás > 100° C                                                                                             | 100°C                                           | <b>T5 - T6</b>                                                   |
| <b>T6</b>                                                   | T ignição gás > 85° C                                                                                              | 85°C                                            | <b>T6</b>                                                        |

Tabela de faixas de temperatura de ignição para cada classe de temperatura requerida pela classificação de área.

**Fonte:** Melflex, 2023.

### 3.14.2 Grupos de Equipamentos

Os grupos de equipamentos são atribuídos com base na natureza do combustível presente na atmosfera explosiva. De acordo com a ABNT NBR IEC 60079-0:2020 versão corrigida 5:2024, existem três grupos principais:

- Grupo I (Minas): Aplicável a ambientes subterrâneos onde há uma maior probabilidade de presença de metano.
- Grupo II (Gases): Destinado a atmosferas diferentes de minas, com subdivisões para gases específicos.
  - Grupo IIA: Atmosferas contendo acetona, éter, gás de cidade, entre outros;
  - Grupo IIB: Atmosferas contendo etileno, hidrogênio, entre outros;
  - Grupo IIC: Atmosferas contendo hidrogênio, acetileno, entre outros;
- Grupo III (Poeiras): Relativo a atmosferas explosivas de poeiras combustíveis, com subdivisões para tipos específicos de poeiras.
  - Grupo IIIA: Atmosferas contendo fibras combustíveis.;
  - Grupo IIIB: Atmosferas contendo poeiras não condutivas;
  - Grupo IIIC: Atmosferas contendo poeiras condutivas;

### 3.15 Níveis de Proteção dos Equipamentos

O EPL é fundamental no processo de especificação dos equipamentos a serem instalados em determinada área. A norma ABNT NBR IEC 60079-14:2016 Versão corrigida 3:2023 traz a designação de EPL para gases e poeiras combustíveis conforme a tabela abaixo:

**Tabela 2** - Tipos de EPL

| Primeira letra do EPL, Local da instalação do Equipamento "Ex" |                             | Segunda letra do EPL, Nível de proteção proporcionado |            |
|----------------------------------------------------------------|-----------------------------|-------------------------------------------------------|------------|
| M                                                              | Mining (Minas de carvão)    | a                                                     | Muito Alto |
| G                                                              | Gás                         | b                                                     | Alto       |
| D                                                              | Dust (Poeiras combustíveis) | c                                                     | Elevado    |

Tabela de designação de EPL com definições das duas letras utilizadas na classificação.

**Fonte:** Melflex, 2023.

A seleção do tipo de proteção Ex e do EPL requerido para o motor pode ser realizada de forma tradicional, relacionando os tipos de proteção Ex e os EPL requeridos com as zonas de classificação de áreas do local da instalação ou podem ser realizados, de forma alternativa, levando-se em consideração os resultados de estudos de avaliações adicionais de risco, de acordo com o indicado na ABNT NBR IEC 60079-14:2016 Versão corrigida 3:2023.

**Tabela 3** - Tipos de Proteção e EPL

| Zona de classificação | EPL | Exemplo de Tipo proteção                                    | Código EX | Grupo            |
|-----------------------|-----|-------------------------------------------------------------|-----------|------------------|
| 0                     | Ga  | Segurança Intrínseca                                        | ia        | II<br>(Gases)    |
|                       |     | Invólucro à Prova de Explosão                               | Da        |                  |
| 1 ou 2                | Gb  | Segurança Aumentada                                         | Eb        |                  |
|                       |     | Invólucro Pressurizado                                      | pxb       |                  |
|                       |     | Invólucro à Prova de Explosão                               | Db        |                  |
| 2                     | Gc  | Segurança aumentada                                         | Ec        |                  |
|                       |     | não centelhante                                             | nA        |                  |
|                       |     | invólucro Pressurizado                                      | pzc       |                  |
| 20                    | Da  | Segurança Intrínseca                                        | ia        | III<br>(Poeiras) |
|                       |     | Proteção por invólucro contra ignição de poeira combustível | Ta        |                  |

| Zona de classificação | EPL | Exemplo de Tipo proteção                                    | Código EX | Grupo |
|-----------------------|-----|-------------------------------------------------------------|-----------|-------|
| 21 ou 22              | Db  | Proteção por invólucro contra ignição de poeira combustível | Tb        |       |
|                       |     | Invólucro Pressurizado                                      | pxb       |       |
| 22                    | Dc  | Proteção por invólucro contra ignição de poeira combustível | Tc        |       |
|                       |     | Invólucro Pressurizado                                      | pzc       |       |

Tabela de relação entre as zonas de classificação, EPL e tipos de proteção por grupo.

Fonte: Autoria Própria, 2024.

3.16 Seleção de Equipamentos

A escolha de equipamentos elétricos e mecânicos certificados para operar em atmosferas explosivas deve levar em consideração a combinação específica de classe de temperatura, grupo de equipamentos, zonas de classificação e EPL requerido pelo local de instalação. Esta consideração meticulosa assegura a segurança da instalação, prevenindo riscos de ignição e garantindo a conformidade com os mais altos padrões de segurança.

3.17 Motores Elétricos EX

Os motores elétricos adequados para áreas com atmosfera explosiva são projetados e construídos para operar de forma segura em ambientes potencialmente explosivos. Eles possuem características específicas que os tornam resistentes a faíscas, calor excessivo e outros fatores que possam causar ignição de vapores inflamáveis ou poeiras combustíveis.

Esses motores são classificados com base em critérios estabelecidos pelas normas e regulamentações, levando em consideração a natureza das substâncias inflamáveis presentes, a probabilidade de sua ignição e as consequências associadas a uma explosão. Alguns aspectos importantes dos motores adequados para atmosferas explosivas incluem:

- Níveis de proteção: Os motores são projetados com níveis de proteção adequados, como invólucros herméticos ou encapsulados, para evitar que faíscas ou calor provenientes do motor entrem em contato com a atmosfera explosiva.
- Selagem: Os motores são equipados com sistemas de vedação eficientes para impedir a entrada de gases ou poeiras inflamáveis em seu interior.
- Sistemas de resfriamento: Os motores adequados para atmosferas explosivas podem possuir sistemas de resfriamento apropriados, como a utilização de ventiladores à

prova de faíscas ou refrigeração por ar ou líquido, para evitar o superaquecimento do motor.

- Isolamento: Os motores são isolados de forma adequada para evitar a propagação de faíscas ou chamas provenientes do motor para o ambiente explosivo.
- Aterramento: Os motores são projetados com sistemas de aterramento adequados para prevenir a acumulação de cargas estáticas que possam gerar faíscas.

A eficiência energética dos motores elétricos é um aspecto fundamental a ser considerado ao substituir motores antigos por modelos adequados para áreas com atmosfera explosiva. Motores com alto rendimento energético são projetados para operar de forma mais eficiente, convertendo uma maior proporção de energia elétrica em energia mecânica, reduzindo as perdas e o consumo de energia.

Os motores elétricos consomem praticamente a mesma quantidade de energia reativa quando operando a vazio ou a plena carga, energia essa necessária à manutenção do campo magnético. Entretanto, o mesmo não acontece com a energia ativa, que é diretamente proporcional a carga mecânica aplicada no eixo do motor. Assim quanto menor a carga mecânica aplicada, menor a energia ativa consumida, conseqüentemente, menor o fator de potência. Geralmente, os motores elétricos são superdimensionados para as máquinas a que estão acoplados, nesses casos a potência efetivamente exigida pela máquina acionada corresponde a uma faixa de 70% a 75% da potência nominal do motor. (motores de pequena e média potência). [12]

### 3.18 Rendimento e Fator de Potência

O rendimento ( $n$ ) pode ser definido como a eficiência em que a energia elétrica absorvida da rede é transformada em energia mecânica no eixo de saída do motor. Adotando a potência absorvida da rede como “Potência Absorvida”  $P_a$  e a potência mecânica disponível no eixo como “Potência Útil”  $P_u$  pode-se estabelecer a seguinte relação:

$$n = \frac{P_u (W)}{P_a (W)} = \frac{736 \times P(cv)}{\sqrt{3} \times U \times I \times \cos \varphi} = \frac{1000 \times P(kW)}{\sqrt{3} \times U \times I \times \cos \varphi}$$

Onde:

$U$  = tensão de linha

$I$  = corrente de linha

$\cos \varphi$  = Ângulo de defasagem entre a tensão e a corrente de fase.

$P (cv)$  = Potência nominal do motor

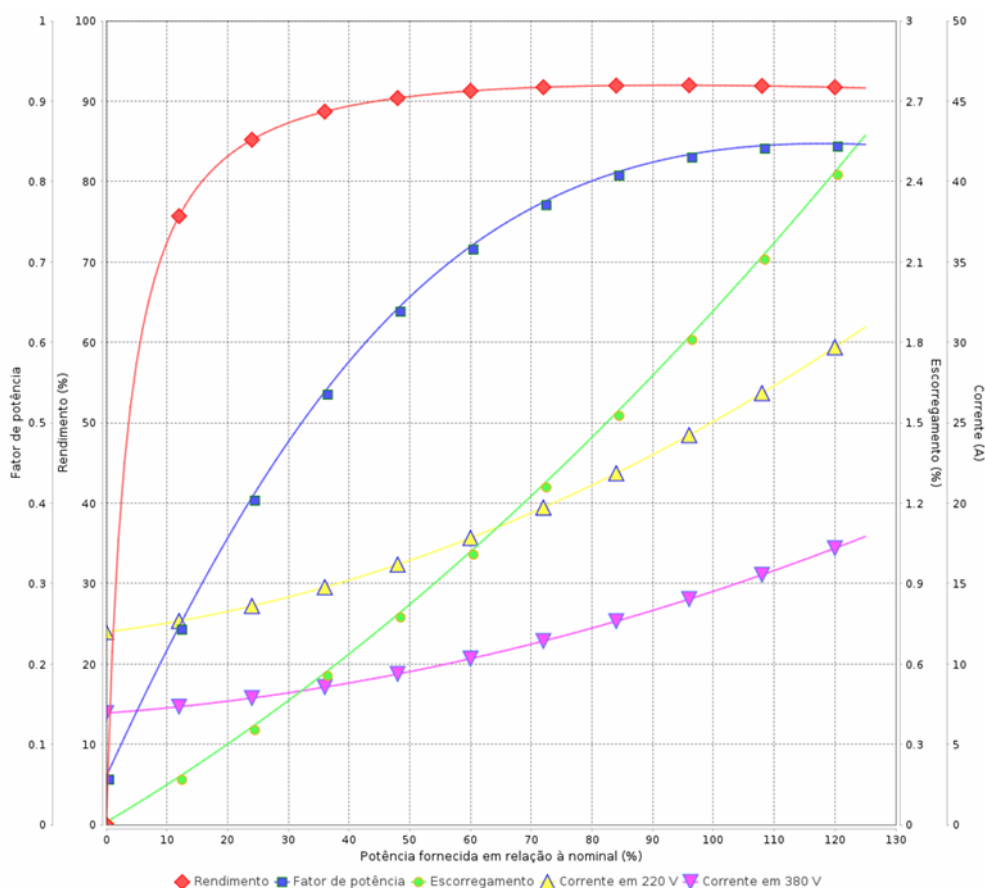
O fator de potência no entanto está relacionado ao quanto de energia que circula pela rede é energia útil, sendo assim é o que quantifica a energia que efetivamente realiza trabalho. Tanto o rendimento quanto o fator de potência variam conforme a potência solicitada do motor pelo processo no qual está instalado.

Quando se analisa a curva característica de um MIT, observa-se que quanto menor a carga, menor o fator de potência e o rendimento; O mesmo serve para motores que operam acima de sua carga nominal.

Segundo dados apresentados pela WEG, na maioria dos casos a faixa ótima para operação está entre 75 e 100%, pois indica uma região mais estável de rendimento mesmo com variações de carga.

O gráfico abaixo representa a curva de desempenho característica de uma motor W22Xdb de 10 CV com 4 polos com tensões nominais de 220 e 380 V e correntes nominais de 25,4 e 14,7 A respectivamente. É possível notar que o rendimento percentual e o fator de potência do MIT atinge o pico quando o motor opera com carga nominal.

**Figura 1** - Curva de desempenho em carga



Curvas características de rendimento, fator de potência, Escorregamento e corrente de um MIT de 10 CV.

**Fonte:** WEG, 2023.

### 3.18.1 Rebobinagem de MITs

O processo de rebobinamento em motores de indução consiste na confecção de um novo enrolamento de cobre em suas bobinas para que o motor queimado ou danificado volte a funcionar, esse processo é efetivo na maioria das falhas apresentadas.

É importante ressaltar que o processo de rebobinagem traz queda de eficiência do motor. Os três principais fatores que afetam a eficiência são: perdas no ferro, perdas no cobre e problemas relacionados ao processo de montagem mecânica do equipamento. O aumento das perdas citadas pode ser causado por danos mecânicos e térmicos ao núcleo e mudanças no campo eletromagnético da máquina devido a mudanças no padrão de enrolamento.

Um levantamento realizado pela Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (PUC-RJ) em 2014 indica que o recondicionamento de motores é responsável por uma perda de energia de, no mínimo, 7,1 TWh/ano no Brasil. A pesquisa cita ainda estudos nacionais e internacionais mostrando que a cada processo de conserto as perdas se elevam de 1 a 3%. Segundo a CNI (Confederação Nacional da Indústria), ao longo da vida útil, esses equipamentos são rebobinados em média quatro vezes. [24]

### 3.19 Tipos de Invólucros ou Proteções

O tipo de proteção é utilizado para definir o nível de segurança do equipamento, para definir tal critério deve ser levado em consideração as Zonas de Classificação.

Na tabela abaixo é possível entender as divisões de cada um dos tipos de proteção, seguido pelo código de identificação e as zonas no qual podem ser aplicados.

**Tabela 4 - Tipos de Proteção**

| Tipo de proteção                                                  | Código/<br>Símbolos | Divisão / Zona       | Mercado      | Norma                      | Conceito de Proteção                                            |
|-------------------------------------------------------------------|---------------------|----------------------|--------------|----------------------------|-----------------------------------------------------------------|
| Equipamentos Elétricos para Gases Inflamáveis, Vapores e Misturas |                     |                      |              |                            |                                                                 |
| À Prova de Explosão<br>Nível de proteção “db”                     | Ex db               | Zona 1               | IECEX / ATEX | IEC / EN 60079-1           | Contém a explosão<br>e previne a propagação<br>da chama         |
|                                                                   | Ex db               | Zona 1               | Canadá       | CAN/CSA-C22.2 No. 60079-1  |                                                                 |
|                                                                   | AEx db              | Classe I, Zona 1     | EUA          | ANSI / UL 60079-1          |                                                                 |
| À Prova de Explosão                                               | (XP)                | Classe I, Divisão 1  | Canadá       | CSA-C22.2 No. 145 / No. 30 |                                                                 |
|                                                                   | (XP)                | Classe I, Divisão 1  | EUA          | UL 674 / UL 1203           |                                                                 |
| Segurança Aumentada<br>Nível de proteção “eb”                     | Ex eb               | Zona 1               | IECEX / ATEX | IEC / EN 60079-7           | Sem arcos, faíscas ou<br>superfícies quentes                    |
|                                                                   | Ex eb               | Zona 1               | Canadá       | CAN/CSA-C22.2 No. 60079-7  |                                                                 |
|                                                                   | AEx eb              | Classe I, Zona 1     | EUA          | ANSI / UL 60079-7          |                                                                 |
| Segurança Aumentada<br>Nível de proteção “ec”                     | Ex ec               | Zona 2               | IECEX / ATEX | IEC / EN 60079-7           |                                                                 |
|                                                                   | Ex ec               | Zona 2               | Canadá       | CAN/CSA-C22.2 No. 60079-15 |                                                                 |
|                                                                   | AEx ec              | Classe I, Zona 2     | EUA          | ANSI / UL 60079-15         |                                                                 |
| Não Acendível<br>“nA”                                             | Ex nA               | Zona 2               | Canadá       | CAN/CSA-C22.2 No. 60079-15 |                                                                 |
|                                                                   | AEx nA              | Classe I, Zona 2     | EUA          | ANSI / UL 60079-15         |                                                                 |
| Não Acendível (Div.2)                                             | (NI)                | Classe I, Divisão 2  | Canadá       | CSA-C22.2 No. 0 / No. 213  |                                                                 |
|                                                                   | (NI)                | Classe I, Divisão 2  | EUA          | UL 674 / ISA 12.12.01      |                                                                 |
| Pressurizado<br>Nível de proteção “pxb”                           | Ex pxb              | Zona 1               | IECEX / ATEX | IEC / EN 60079-2           | Mantém o gás<br>inflamável fora do<br>invólucro do motor        |
|                                                                   | Ex pxb              | Zona 1               | Canadá       | CAN/CSA-C22.2 No. 60079-2  |                                                                 |
|                                                                   | AEx pxb             | Classe I, Zona 1     | EUA          | ANSI / UL 60079-2          |                                                                 |
| Pressurizado<br>Nível de proteção “pyb”                           | Ex pyb              | Zona 1               | IECEX / ATEX | IEC / EN 60079-2           |                                                                 |
|                                                                   | Ex pyb              | Zona 1               | Canadá       | CAN/CSA-C22.2 No. 60079-2  |                                                                 |
|                                                                   | AEx pyb             | Classe I, Zona 1     | EUA          | ANSI / UL 60079-2          |                                                                 |
| Pressurizado<br>Nível de proteção “pzc”                           | Ex pzc              | Zona 2               | IECEX / ATEX | IEC / EN 60079-2           |                                                                 |
|                                                                   | Ex pzc              | Zona 2               | Canadá       | CAN/CSA-C22.2 No. 60079-2  |                                                                 |
|                                                                   | AEx pzc             | Classe I, Zona 2     | EUA          | ANSI /UL 60079-2           |                                                                 |
| Pressurizado                                                      | Type X              | Classe I, Divisão 1  | Canadá / EUA | NFPA 496                   |                                                                 |
|                                                                   | Type Y              | Classe I, Divisão 1  | Canadá / EUA | NFPA 496                   |                                                                 |
|                                                                   | Type Z              | Classe I, Divisão 2  | Canadá / EUA | NFPA 496                   |                                                                 |
| Equipamentos Elétricos para Poeiras Combustíveis                  |                     |                      |              |                            |                                                                 |
| Proteção por<br>Invólucro<br>Nível de proteção “tb”               | Ex tb               | Zona 21              | IECEX / ATEX | IEC / EN 60079-31          | Mantém as poeiras<br>combustíveis fora do<br>invólucro do motor |
|                                                                   | Ex tb               | Zona 21              | Canadá       | CAN/CSA-C22.2 No. 60079-31 |                                                                 |
|                                                                   | AEx tb              | Zona 21              | EUA          | ANSI/UL 60079-31           |                                                                 |
| Proteção por<br>Invólucro<br>Nível de proteção “tc”               | Ex tc               | Zona 22              | IECEX / ATEX | IEC / EN 60079-31          |                                                                 |
|                                                                   | Ex tc               | Zona 22              | Canadá       | CAN/CSA-C22.2 No. 60079-31 |                                                                 |
|                                                                   | AEx tc              | Zona 22              | EUA          | ANSI/UL 60079-31           |                                                                 |
| Proteção Contra Ignição<br>de Poeira                              | (DIP)               | Classe II, Divisão 1 | Canadá       | CSA-C22.2 No. 25           |                                                                 |
|                                                                   | (DIP)               | Classe II, Divisão 1 | EUA          | UL 1203                    |                                                                 |
| Proteção Contra Poeira                                            | (NI)                | Classe II, Divisão 2 | Canadá       | CSA-C22.2 No. 25           |                                                                 |
|                                                                   | (NI)                | Classe II, Divisão 2 | EUA          | ANSI/UL 1604               |                                                                 |
| Pressurizado/<br>Proteção por<br>Pressurização                    | (PX)                | Classe II, Divisão 1 | Canadá / EUA | NFPA 496                   |                                                                 |
|                                                                   | (PY)                | Classe II, Divisão 1 | Canadá / EUA | NFPA 496                   |                                                                 |
|                                                                   | (PZ)                | Classe II, Divisão 2 | Canadá / EUA | NFPA 496                   |                                                                 |

Tabela contendo tipos de proteção, juntamente com seus símbolos e as zonas nos quais podem ser aplicados.

**Fonte:** WEG – Guia para atmosferas explosivas RV04 – 12/2020

### 3.19.1 Gases e Vapores Inflamáveis

À prova de explosão - Ex db / Ex db eb - Motores Ex db com caixa de ligação e bornes/terminais do tipo Ex eb - (EPL Gb): invólucro no qual as partes que podem causar a ignição de uma atmosfera explosiva de gás são confinadas, e que é capaz de suportar a pressão desenvolvida durante uma explosão interna de uma mistura explosiva, e que impede a propagação da explosão para a atmosfera explosiva de gás ao redor do invólucro. Norma:

ABNT NBR IEC 60079-1:2022 Versão corrigida: 2022 - Atmosferas Explosivas - Parte 1: Proteção de Equipamentos por Invólucros à Prova de Explosão “db”.

Segurança Aumentada - Ex eb (EPL Gb): tipo de proteção aplicado ao equipamento elétrico ou componente Ex em que são adotados medidas adicionais para aumentar a segurança contra a possibilidade de temperaturas excessivas e contra a ocorrência de arcos e faíscas. Norma: ABNT NBR IEC 60079-7:2018 Versão corrigida: 2022 - Atmosferas Explosivas - Parte 7: Proteção de Equipamentos por Segurança Aumentada Ex eb - Zona 1 e Ex ec Zona 2.

Pressurizado - Ex pxb / Ex pyb / Ex pzc (EPL Gb or Gc): tipo de proteção na qual o equipamento é fabricado para operar com pressão positiva interna de forma a evitar a entrada de gases e vapores inflamáveis para o interior do invólucro, onde existem partes que podem causar a ignição da atmosfera explosiva. Norma: ABNT NBR IEC 60079-2:2016 - Atmosferas Explosivas - Parte 2: Proteção de Equipamento por Invólucro Pressurizado “pxb”, “pyb” e “pzc”.

### 3.19.2 Poeiras Combustíveis

Proteção por invólucro - Ex tb / Ex tc (EPL Db or Dc): tipo de proteção para atmosferas explosivas de poeiras onde o equipamento elétrico possui um invólucro que garante proteção contra o ingresso de poeira e meios para limitar as temperaturas superficiais máximas. Norma: ABNT NBR IEC 60079-31:2022 Versão corrigida: 2023 - Atmosferas Explosivas - Parte 31: Proteção de Equipamento Contra Ignição de Poeira por Invólucros “tb” e “tc”.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Estudo de Classificação de Áreas

Para levantamento dos ativos que estão instalados de forma inadequada, será utilizado um projeto de classificação de áreas para formação de atmosferas explosivas realizado por uma empresa de engenharia especializada (o nome da empresa não será citado por questões de confidencialidade) em serviços em áreas classificadas. Tal projeto foi desenvolvido dentro das dependências da indústria de açúcar e álcool em novembro de 2015. Os desenhos de classificação de área para os setores de estudo podem ser consultados no ANEXO A

### 4.2 Levantamento de ativos

Baseado no estudo de classificação de áreas foi possível realizar o mapeamento de todos os motores que não possuíam o invólucro ou proteção adequado para cada classificação. No total foram encontrados 45 motores elétricos trifásicos instalados de forma inadequada conforme evidenciado no APÊNDICE A e na tabela 5 mostrada abaixo:

**Tabela 5** - Resumo da relação de motores inadequados

| Setores                             | Quantidade de Motores |
|-------------------------------------|-----------------------|
| <b>Destilaria</b>                   | <b>25</b>             |
| Zona 1 Grupo IIB T2                 | 1                     |
| Zona 1 Grupo IIB T3                 | 12                    |
| Zona 2 Grupo IIB T3                 | 12                    |
| <b>Secagem de Açúcar</b>            | <b>11</b>             |
| Zona 21 Grupo IIIB T246°C           | 11                    |
| <b>Fábrica de Levedura</b>          | <b>9</b>              |
| Zona 21 Grupo IIIB T300°C           | 2                     |
| Zona 22 Grupo IIIB T300°C           | 7                     |
| <b>Total de Motores Inadequados</b> | <b>45</b>             |

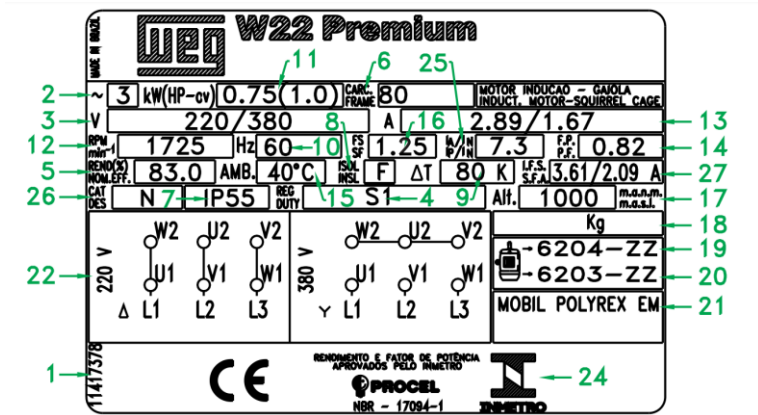
Tabela de relação de motores inadequados por zona de classificação.

**Fonte:** Autoria Própria, 2023.

4.2.1 Obtenção de dados de placa

A melhor forma de se obter os dados de projeto de um motor elétrico é fazendo o levantamento das informações de placa. A placa de identificação de um motor traz informações relacionadas as características construtivas e dados nominais de operação. Nas imagens abaixo é possível visualizar exemplos de placas de identificação de um motor WEG da linha W22 Premium:

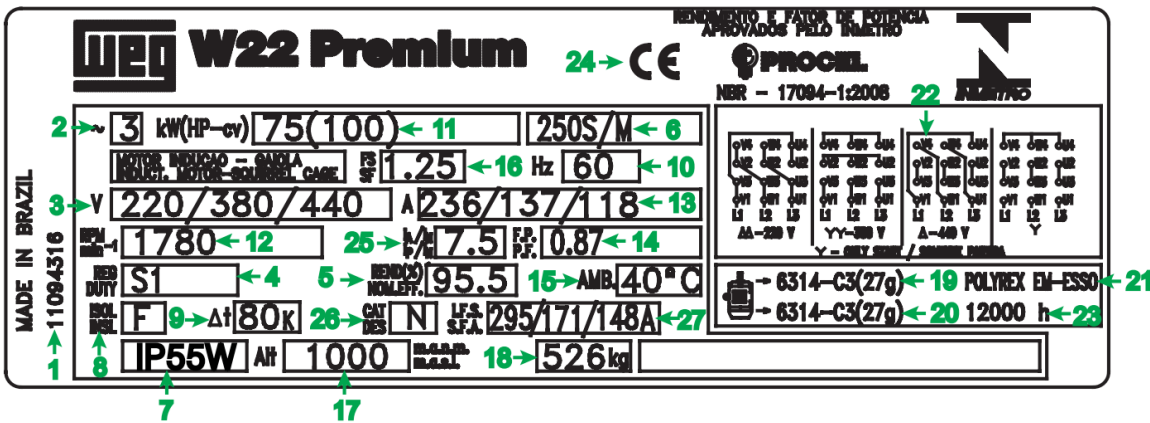
Figura 2 - Modelo 01 Placa de Identificação WEG



Lista de informações contidas na placa de identificação de um motor de indução trifásico gaiola de esquilo

Fonte: WEG, 2024.

Figura 3 - Modelo 02 Placa de Identificação WEG



Lista de informações contidas na placa de identificação de um motor de indução trifásico gaiola de esquilo.

Fonte: WEG, 2024.

1. Código do motor
2. Número de fases
3. Tensão nominal de operação
4. Regime de serviço
5. Rendimento
6. Modelo da carcaça
7. Grau de proteção
8. Classe de isolamento
9. Temperatura da classe de isolamento
10. Frequência
11. Potência
12. Rotação nominal por minuto
13. Corrente nominal de operação
14. Fator de potência
15. Temperatura ambiente
16. Fator de serviço
17. Altitude
18. Massa
19. Especificação do rolamento



#### 4.2.2 Mapeamento das correntes de operação

Nas Figuras 2 e 3, é possível observar as correntes nominais de operação dos motores identificadas no item 13 das placas ilustrativas, assim como nas Figuras 4 e 5, que mostram as placas reais de motores. Para o estudo de caso apresentado, foi realizado um levantamento detalhado das correntes de operação dos motores, permitindo a análise do percentual de carga em que cada motor estava operando. Essa análise foi baseada nas curvas de desempenho sob carga, conforme ilustrado na Figura 01.

Para medição da corrente de operação dos motores foi utilizado um alicate amperímetro da marca Minipa modelo ET-3810C conforme evidenciado na Figura 06:

**Figura 6** - Alicate amperímetro utilizado



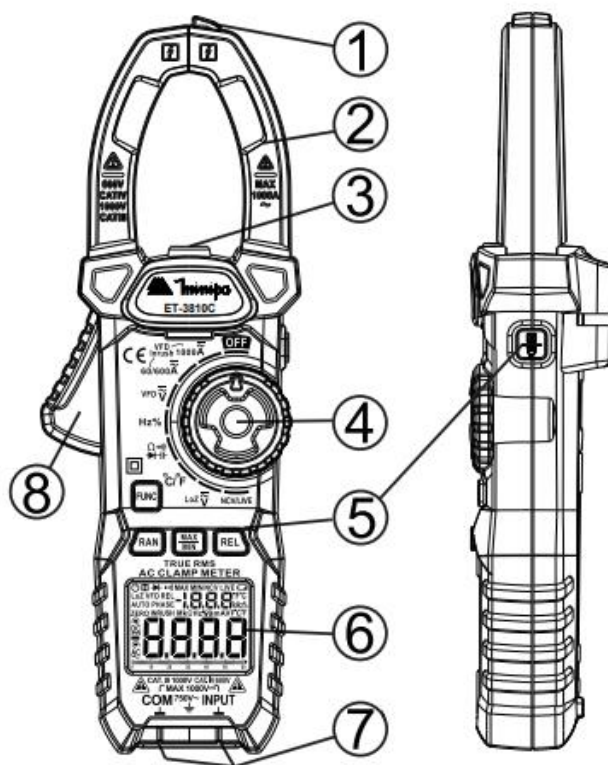
Alicate amperímetro Minipa ET-3810C utilizado para medição das correntes de operação de todos os motores levantados no estudo de caso.

**Fonte:** Autoria Própria, 2023.

O alicate amperímetro ET-3810C possui a capacidade de medição de corrente AC/DC, portanto foi necessário configurar o mesmo para medição de corrente AC. Para isso basta posicionar a chave seletora na posição de medição de corrente e apertar o botão “FUNC” para

alternar entre as medições de corrente alternada e contínua. Na figura 07 é possível visualizar a estrutura do instrumento de medição.

**Figura 7** - Estrutura do alicate amperímetro



Listagem estrutural do alicate amperímetro Minipa modelo ET-3810C.

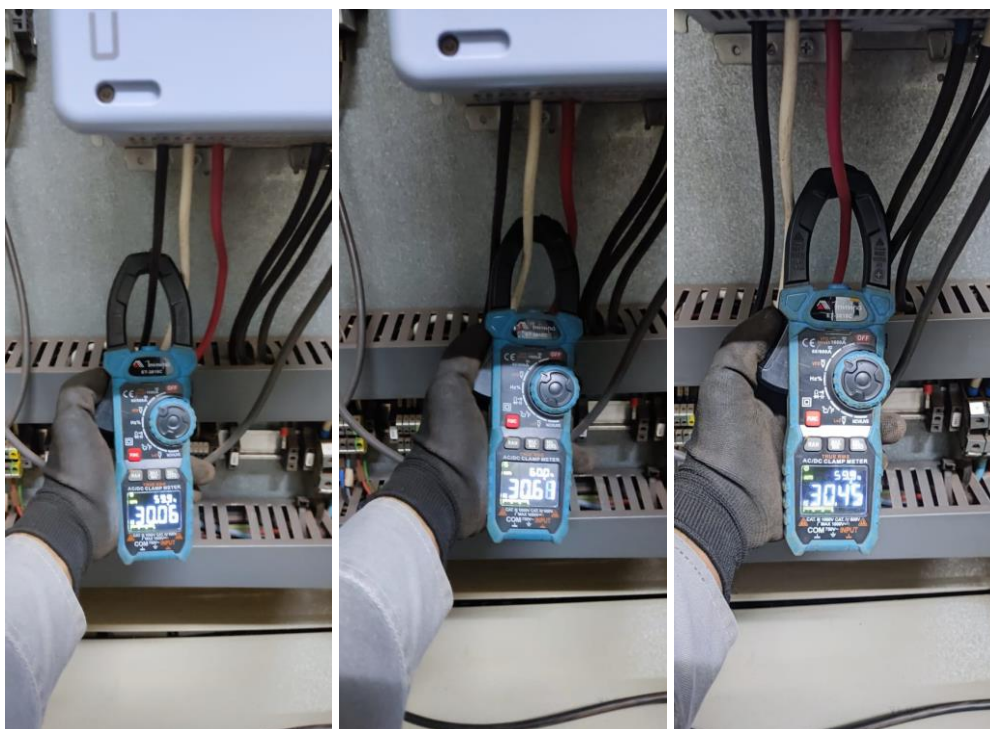
1. Sensor NCV 2. Garra 3. Lanterna 4. Chave seletora 5. Botões de funções 6. Display 7. Bornes 8. Gatilho

**Fonte:** Minipa, 2020.

Após finalizar o processo de configuração do alicate amperímetro, foi dado início a coleta das correntes de operação. Para todos os acionamentos utilizados: SoftStarter, inversor de frequência, partida direta e estrela triângulo, foi adotado como local de medição os cabos de alimentação direta do motor, ou seja, após os dispositivos de acionamento. Dessa forma foi possível obter a corrente real que o equipamento está consumindo, garantindo uma avaliação precisa do desempenho e eficiência do motor sob carga.

Para cada motor mapeado foi feito a medição individual da corrente em cada uma das fases de alimentação conforme exemplo abaixo:

**Figura 8** - Medição da corrente de operação dos MITs



Exemplo de realização de medição das correntes de operação nas fases RST de um motor de indução trifásico

**Fonte:** Autoria Própria, 2023.

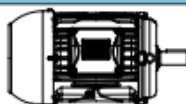
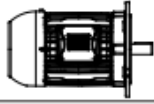
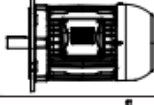
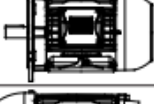
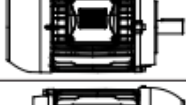
#### 4.2.3 Mapeamento fotográfico

Durante o processo de levantamento de informações, foi realizado o registro fotográfico de todos os MITs. Esse mapeamento é de suma importância no processo de escolha dos equipamentos novos, essa importância se dá devido ao fato de que um dos principais pontos a ser levado em consideração durante o processo de substituição de um motor elétrico são suas características e formas construtivas.

Entende-se por forma construtiva, como sendo o arranjo das partes construtivas das máquinas com relação à sua fixação, à disposição de seus mancais e à ponta de eixo, que são padronizadas pela ABNT NBR IEC 60034-7, DIN 42950 e NEMA MG 1-4.03. A ABNT NBR IEC 15623 e a IEC 60072 determinam que a caixa de ligação de um motor deve ficar situada de modo que a sua linha de centro se encontre num setor compreendido entre o topo do motor e 10 graus abaixo da linha de centro horizontal deste, do lado direito, quando o motor for visto do lado do acionamento. [4]

As tabelas a seguir indicam as diversas formas normalizadas:

Tabela 6 - Formas Construtivas para montagem horizontal

| Figura                                                                              | Designação WEG | Símbolo para |                      |           | Carcaça | Fixação ou montagem                                                            |
|-------------------------------------------------------------------------------------|----------------|--------------|----------------------|-----------|---------|--------------------------------------------------------------------------------|
|                                                                                     |                | DIN 42950    | ABNT NBR IEC 60034-7 |           |         |                                                                                |
|                                                                                     |                |              | Código I             | Código II |         |                                                                                |
|    | B3D            | B3           | IM B3L               | IM 1001L  | com pés | montada sobre subestrutura (*)                                                 |
|    | B3E            |              | IM B3R               | IM 1001R  |         |                                                                                |
|    | B5D            | B5           | IM B5L               | IM 3001L  | sem pés | fixada pelo flange "FF"                                                        |
|    | B5E            |              | IM B5R               | IM 3001R  |         |                                                                                |
|    | B35D           | B3/B5        | IM B35L              | IM 2001L  | com pés | montada sobre subestrutura pelos pés, com fixação suplementar pelo flange "FF" |
|   | B35E           |              | IM B35R              | IM 2001R  |         |                                                                                |
|  | B14D           | B14          | IM B14L              | IM 3601L  | sem pés | fixada pelo flange "C"                                                         |
|  | B14E           |              | IM B14R              | IM 3601R  |         |                                                                                |
|  | B34D           | B3/B14       | IM B34L              | IM 2101L  | com pés | montado sobre subestrutura pelos pés, com fixação suplementar pelo flange "C"  |
|  | B34E           |              | IM B34R              | IM 2101R  |         |                                                                                |
|  | B6D            | B6           | IM B6L               | IM 1051L  | com pés | montado em parede, pés à esquerda olhando-se do lado do acionamento            |
|  | B6E            |              | IM B6R               | IM 1051R  |         |                                                                                |

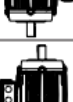
| Figura                                                                            | Símbolo para   |           |                      |           |         | Fixação ou montagem                                               |
|-----------------------------------------------------------------------------------|----------------|-----------|----------------------|-----------|---------|-------------------------------------------------------------------|
|                                                                                   | Designação WEG | DIN 42950 | ABNT NBR IEC 60034-7 |           | Carcaça |                                                                   |
|                                                                                   |                |           | Código I             | Código II |         |                                                                   |
|  | B7D            | B7        | IM B7L               | IM 1061L  | com pés | Montado em paredépés à direita, olhando-se do lado do acionamento |
|  | B7E            |           | IM B7R               | IM 1061R  |         |                                                                   |
|  | B8D            | B8        | IM B8L               | IM 1071L  | com pés | fixada no teto                                                    |
|  | B8E            |           | IM B8R               | IM 1071R  |         |                                                                   |

Formas construtivas normalizadas (montagem horizontal)

(\*) Subestrutura: bases, placa de base, fundações, trilhos, pedestais, etc

Fonte: WEG, 2023.

**Tabela 7** - Formas construtivas para montagem vertical

| Figura                                                                                  | Símbolo para   |           |                      |           |         | Fixação ou montagem                                                    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------|----------------|-----------|----------------------|-----------|---------|------------------------------------------------------------------------|
|                                                                                         | Designação WEG | DIN 42950 | ABNT NBR IEC 60034-7 |           | Carcaça |                                                                        |
|                                                                                         |                |           | Código I             | Código II |         |                                                                        |
|  (*) | V5             | V5        | IM V5                | IM 1011   | com pés | montada em parede ou sobre subestrutura                                |
|      | V6             | V6        | IM V6                | IM 1031   | com pés | montada em parede ou sobre subestrutura                                |
|      | V1             | V1        | IM V1                | IM 3011   | sem pés | fixada pelo flange "FF", para baixo                                    |
|      | V3             | V3        | IM V3                | IM 3031   | sem pés | fixada pelo flange "FF", para cima                                     |
|  (*) | V15            | V1/V5     | IM V15               | IM 2011   | com pés | montada em parede com fixação suplementar pelo flange "FF", para baixo |
|      | V36            | V3/V6     | IM V36               | IM 2031   | com pés | fixada em parede com fixação suplementar pelo flange "FF", para cima   |
|  (*) | V18            | V18       | IM V18               | IM 3611   | sem pés | fixada pelo flange "C", para baixo                                     |
|      | V19            | V19       | IM V19               | IM 3631   | sem pés | fixada pelo flange "C", para cima                                      |

Formas construtivas normalizadas (montagem vertical)

Fonte: WEG, 2023.

O mapeamento fotográfico de todos os motores mencionados no APÊNDICE A pode ser visto nas imagens a seguir:

**Figura 9 - MEL0482**



**Fonte:** Autoria Própria, 2023.

**Figura 12 - MEL2017**



**Fonte:** Autoria Própria, 2023.

**Figura 10 - MEL0270**



**Fonte:** Autoria Própria, 2023.

**Figura 13 - MEL0545**



**Fonte:** Autoria Própria, 2023.

**Figura 11 - MEL1061**



**Fonte:** Autoria Própria, 2023.

**Figura 14 - MEL045**



**Fonte:** Autoria Própria, 2023.

**Figura 15 - MEL0455**



**Fonte:** Aatoria Própria, 2023.

**Figura 19 - MEL0340**



**Fonte:** Aatoria Própria, 2023.

**Figura 16 - MEL0377**



**Fonte:** Aatoria Própria, 2023.

**Figura 20 - MEL0829**



**Fonte:** Aatoria Própria, 2023.

**Figura 17 - MEL01522**



**Fonte:** Aatoria Própria, 2023.

**Figura 21 - MEL1547**



**Fonte:** Aatoria Própria, 2023.

**Figura 18 - MEL060**



**Fonte:** Aatoria Própria, 2023.

**Figura 22 - MEL0637**



**Fonte:** Aatoria Própria, 2023.

**Figura 23 - MEL0300**



**Fonte:** Aatoria Própria, 2023.

**Figura 27 - MEL0203**



**Fonte:** Aatoria Própria, 2023.

**Figura 24 - MEL012**



**Fonte:** Aatoria Própria, 2023.

**Figura 28 - MEL0532**



**Fonte:** Aatoria Própria, 2023.

**Figura 25 - MEL059**



**Fonte:** Aatoria Própria, 2023.

**Figura 29 - MEL0520**



**Fonte:** Aatoria Própria, 2023.

**Figura 26 - MEL0172**



**Fonte:** Aatoria Própria, 2023.

**Figura 30 - MEL0615**



**Fonte:** Aatoria Própria, 2023.

**Figura 31 - MEL1047**



**Fonte:** Aatoria Própria, 2023.

**Figura 35 - MEL1602**



**Fonte:** Aatoria Própria, 2023.

**Figura 32 - MEL0364**



**Fonte:** Aatoria Própria, 2023.

**Figura 36 - ME301**



**Fonte:** Aatoria Própria, 2023.

**Figura 33 - MEL0623**



**Fonte:** Aatoria Própria, 2023.

**Figura 37 - MEL041**



**Fonte:** Aatoria Própria, 2023.

**Figura 34 - MEL0444**



**Fonte:** Aatoria Própria, 2023.

**Figura 38 - MEL20011**



**Fonte:** Aatoria Própria, 2023.

**Figura 39 - MEL0242**



**Fonte:** Aatoria Própria, 2023.

**Figura 43 - MEL0189**



**Fonte:** Aatoria Própria, 2023.

**Figura 40 - MEL0290**



**Fonte:** Aatoria Própria, 2023.

**Figura 44 - MEL0492**



**Fonte:** Aatoria Própria, 2023.

**Figura 41 - MEL047**



**Fonte:** Aatoria Própria, 2023.

**Figura 45 - MEL0308**



**Fonte:** Aatoria Própria, 2023.

**Figura 42 - MEL1020**



**Fonte:** Aatoria Própria, 2023.

**Figura 46 - MEL1032**



**Fonte:** Aatoria Própria, 2023.

**Figura 47** - MEL0377 e moinho de levedura

02 (sem tag)



**Fonte:** Autoria Própria, 2023.

**Figura 49** - MEL0820 e MEL0824



**Fonte:** Autoria Própria, 2023.

**Figura 48** - MEL0790 e vent. forçada secador

levedura 01 (sem tag)



**Fonte:** Autoria Própria, 2023.

**Figura 50** - MEL1202



**Fonte:** Autoria Própria, 2023.

### 4.3 Escolha dos equipamentos

Para que fosse possível apresentar o equipamento correto a ser utilizado, foi levado em consideração a zona de classificação, grupo de equipamentos e classe de temperatura de cada setor.

Utilizando o motor do dosador de ciclo hexano (MEL0829) como exemplo, para realização da escolha do equipamento foi levado em consideração o estudo de classificação de áreas apresentado no anexo A, sendo assim o motor está instalado em uma zona 1 grupo IIB classe de temperatura T3. Baseado na tabela 04, pode-se obter os tipos de proteção que atendem os níveis de segurança necessários, sendo eles para o cenário em questão Exdb e Exeb. Para definição do EPL é necessário consultar a tabela 03, sendo assim para zona 1 os EPLs Ga e Gb atendem. A classe de temperatura deve ser definida levando em consideração a tabela 01, para o equipamento mencionado anteriormente as classificações de T3 a T6 atendem os níveis de segurança.

Mediante informações apresentadas, foi escolhido então um motor de indução trifásico W22Xdb IR3 Premium EX db IIB T4 Gb. Para escolha do equipamento também foi levado

em consideração fatores comerciais, um dos fatores que influenciaram na escolha por exemplo é o fato de que os motores com a classe de proteção Exeb não são motores usualmente comercializados, informação apresentada pela WEG durante o projeto. Sendo assim foi escolhido um motor com classificação Exdb.

O critério utilizado para escolha de um motor linha W22 IR3 Premium da WEG foi justamente garantir que durante o período de operação do motor haja então uma economia de energia devido ao seu alto rendimento, trazendo assim um retorno financeiro para a empresa (Tabela 10) além da adequação dos níveis de segurança dos setores.

**Tabela 8** - Resumo quantitativo por especificação

| Especificação por Zona                | Quantidade de Motores |
|---------------------------------------|-----------------------|
| <b>W22Xdb IR3 Premium</b>             | <b>13</b>             |
| Zona 1 Grupo IIB T2                   | 1                     |
| Zona 1 Grupo IIB T3                   | 12                    |
| <b>W22Xec IR3 Premium</b>             | <b>12</b>             |
| Zona 2 Grupo IIB T3                   | 12                    |
| <b>W22Xtb IR3 Premium</b>             | <b>20</b>             |
| Zona 21 Grupo IIIB T246°C             | 11                    |
| Zona 21 Grupo IIIB T300°C             | 2                     |
| Zona 22 Grupo IIIB T300°C             | 7                     |
| <b>Total de Motores Especificados</b> | <b>45</b>             |

Tabela de especificação do grau de proteção dos motores por zona de classificação.

**Fonte:** Autoria Própria, 2023.

#### 4.4 Levantamento de custo para troca

Após escolha dos equipamentos foi realizado orçamento individual dos motores de tal forma que fosse totalizado os valores apresentados na tabela 9:

**Tabela 9** - Resumo dos valores de aquisição

| Setores                         | Quantidade de Motores | Valor Total (R\$) |                   |
|---------------------------------|-----------------------|-------------------|-------------------|
| <b>Destilaria</b>               | <b>25</b>             | <b>R\$</b>        | <b>542.404,10</b> |
| Zona 1 Grupo IIB T2             | 1                     | R\$               | 23.901,25         |
| Zona 1 Grupo IIB T3             | 12                    | R\$               | 165.926,84        |
| Zona 2 Grupo IIB T3             | 12                    | R\$               | 352.576,01        |
| <b>Secagem de Açúcar</b>        | <b>11</b>             | <b>R\$</b>        | <b>260.231,22</b> |
| Zona 21 Grupo IIIB T246°C       | 11                    | R\$               | 260.231,22        |
| <b>Fábrica de Levedura</b>      | <b>9</b>              | <b>R\$</b>        | <b>75.956,02</b>  |
| Zona 21 Grupo IIIB T300°C       | 2                     | R\$               | 44.085,32         |
| Zona 22 Grupo IIIB T300°C       | 7                     | R\$               | 31.870,70         |
| <b>Valor total de Aquisição</b> | <b>45</b>             | <b>R\$</b>        | <b>878.591,34</b> |

Tabela com os valores a serem investidos para adequação dos setores.

**Fonte:** Autoria Própria, 2023.

Com isso foi possível identificar os custos necessários para adquirir os ativos e adequar cada setor, o orçamento foi de suma importância para definir o cronograma de implementação do projeto baseado em análise de risco.

#### 4.5 Projeto de eficiência energética

O projeto de eficiência energética teve como principal objetivo demonstrar o desempenho energético de 45 motores elétricos instalados na unidade, através de informações coletadas in loco (no local).

##### 4.5.1 Considerações do projeto

Para as análises econômicas contidas neste relatório, foram feitas as seguintes considerações:

- Custo da Energia Elétrica: Médio R\$ 0,22/kW (Conforme Anexo B e acordo realizado entre as partes interessadas);
- Tempo de Operação: 7.200 horas por ano (300 dias ao ano, 24 horas por dia) ;
- Adotado percentual de carga igual a 60% para motores onde não foram indicadas medições de corrente, ou onde os valores sinalizaram trabalho a vazio (sem carga);

- Três rebobinagens sofridas, para cada rebobinagem foi adotado um fator de perda de eficiência de 0,5% para cada rebobinamento sofrido pelo motor;
- Para motores acionados por inversores de frequência foi assumida a operação na rotação nominal do motor atual;
- Assumidas as seguintes considerações para motores sem informações adicionais, ou que não houve possibilidade de consulta através de seus números de série:
  - Idade de 18 anos (média das idades dos motores) ;
  - Partida direta;
- Adoção das linhas de acordo com o mapeamento de área:
  - W22Xdb IR3 Premium para zonas 1 Grupo IIB T2 e 1 Grupo IIB T3;
  - W22Xtb IR3 Premium para zonas 21 Grupo IIIB e 22 Grupo IIIB;
  - W22Xec IR3 Premium para zona 2 Grupo IIB T3;

No APÊNDICE B tem-se todos o detalhamento do projeto e resultados econômicos obtidos comparando os motores antigos (atualmente instalados) e os motores novos (proposto). Os dados informados nas colunas de “% Carga”, “Eficiência (%)” e “Consumo (kWh/Ano)” foram fornecidos pela WEG baseado em todas as informações apresentadas do levantamento de dados de placa e correntes de operação. Foi utilizado o software CEE+ que, atualmente, apenas os funcionários WEG possuem acesso, basicamente o software possui uma base de dados histórica de todos os motores fabricados pela marca, sendo assim o software consegue cruzar as informações de curva característica do motor informado com os motores fabricados em datas próximas, fornecendo assim o percentual de carga, rendimento do motor e consumo de forma precisa baseado na quantidade de dias e horas de operação do motor.

Também é possível realizar os cálculos de forma manual, tendo então as características técnicas e de operação dos motores elétricos do estudo de caso e adotando todos os pontos mencionados nas considerações do projeto é possível realizar os cálculos da demanda de potência efetivamente exigida e consumo total de cada um dos motores levantados.

Para cálculo de demanda para cada um dos motores pode-se utilizar a fórmula abaixo:

$$D (kW) = \frac{\text{Potência do Motor [kW]} \times \text{Carga [\%]}}{\text{Rendimento [n]}}$$

Após realizar o cálculo da demanda, deve-se realizar o cálculo do consumo C em kWh de um motor elétrico pode ser calculado utilizando a fórmula abaixo:

$$C(kWh) = D [kW] \times horas \times dias$$

Para descobrir então o valor gasto com energia para o MIT, basta multiplicar o consumo C pelo valor adotado para o custo da energia elétrica:

$$Ce(R\$) = C [kW] \times Valor da Energia [R\$/kW]$$

Utilizando como exemplo o motor do dosador de ciclo hexano (MEL0829) para fins de demonstração dos cálculos temos as seguintes informações retiradas dos APÊNDICES A e B:

Potência: 2,2 kW

Carga: 60%

Rendimento Atual: 77,65%

Dias de operação: 300

Horas por dia: 24

Valor da Energia (R\$/kW): 0,22

Rendimento Proposto: 85,71%

Utilizando a fórmula da demanda temos os seguintes resultados para o motor atual e proposto:

$$D (motor atual) = \frac{2,2 \times 0,6}{0,7765} = 1,6999356 kW$$

$$D (motor proposto) = \frac{2,2 \times 0,6}{0,8571} = 1,540077 kW$$

Substituindo os valores encontrados na fórmula de consumo, é possível encontrar os seguintes resultados:

$$C(\text{motor atual}) = 1,6999356 \times 24 \times 300 = 12.239,536 \text{ kWh/Ano}$$

$$C(\text{motor proposto}) = 1,540077 \times 24 \times 300 = 11.088,554 \text{ kWh/Ano}$$

Como o cálculo apresentado no APÊNDICE B foi feito utilizando o software CEE+ da WEG, há uma pequena divergência nos cálculos apresentados devido a quantidade de casas decimais utilizadas e também os arredondamentos realizados no cálculo manual. Após finalizado o cálculo de consumo é possível obter então o consumo anual de energia conforme apresentado abaixo:

$$Ce(\text{motor atual}) = 12.239,536 \times 0,22 = R\$ 2.692,70$$

$$Ce(\text{motor proposto}) = 11.088,554 \times 0,22 = R\$ 2.439,48$$

Para os cálculos realizados manualmente no exemplo acima, temos então que a economia anual do motor proposto é de R\$ 253,22 tendo uma redução no consumo de 1.150,982 kWh/Ano. Sendo assim os valores obtidos são bem próximos dos valores apresentados pelo software, atendendo de forma satisfatória. Para o estudo final e apresentação da proposta para a diretoria, supervisão e gerência da indústria onde está sendo realizado o estudo de caso, foi considerado os valores calculados pelos software CEE+ e apresentados pela WEG.

Os resultados econômicos obtidos com o projeto de eficiência energética são mostrados na tabela abaixo (os resultados individuais encontram-se no APÊNDICE B).

**Tabela 10** - Resultados Econômicos Globais

| <b>RESULTADOS ECONÔMICOS (ANUAL)</b> |                          |
|--------------------------------------|--------------------------|
| <b>INVESTIMENTO</b>                  | <b>R\$ 878.591,34</b>    |
| <b>ECONOMIA</b>                      | <b>3,5%</b>              |
|                                      | <b>112.104,0 kWh/ano</b> |
|                                      | <b>R\$ 24.665,04</b>     |
| <b>PAYBACK</b>                       | <b>35,6 anos</b>         |

Tabela dos resultados econômicos esperados com o projeto de eficiência energética.

**Fonte:** Autoria Própria, 2023.

Para o investimento em motores, a WEG disponibiliza o Programa Plano de Troca, onde os motores antigos podem ser utilizados como parte do pagamento dos motores das linhas W22Xdb IR3 Premium, W22Xtb IR3 Premium e W22Xec IR3 Premium, representando 8% do valor de aquisição dos motores. Vale destacar também que os motores recolhidos serão encaminhados a WEG, onde ocorrerá a reciclagem de seus materiais ou o correto descarte, possibilitando o fechamento de seu ciclo de vida sustentável dentro dos conceitos da Economia Circular. Adotando o plano de troca o Retorno de Investimento ocorrerá em um tempo menor.

Para o projeto em questão foi desconsiderado o Programa Plano de Troca, tal decisão foi tomada pela diretoria da empresa juntamente com a supervisão responsável pela manutenção elétrica, sendo assim os motores serão utilizados de forma estratégica na indústria em cenários de necessidade.

É possível observar nos dados mostrados no apêndice B que a maioria dos motores estão trabalhando com percentual de carga entre 40 e 60%. Para que fosse possível obter o melhor fator de potência e rendimento para os motores do projeto, o cenário ideal seria que todos os motores operassem dentro da faixa nominal próximo aos 100% de carga. Porém outra decisão estratégica tomada pela empresa foi de manter o dimensionamento dos motores para possíveis ampliações e necessidades do processo produtivo.

#### 4.6 Cronograma de substituição

Para que fosse possível colocar o projeto em prática, foi feito um cronograma de substituição para os motores, seguindo como critérios para definição os valores a serem investidos, disponibilidade operacional e de mão-de-obra e análise de risco.

Após apresentação da proposta para diretoria, gerência e supervisão o cronograma do projeto foi dividido em 3 etapas (3 anos), sendo elas:

- 1ª Etapa: Adequação dos motores zona 1 do setor de Destilaria – Ano 2024;
- 2ª Etapa: Adequação dos motores zona 2 do setor de Destilaria – Ano 2025;
- 3ª Etapa: Adequação dos motores zona 21 do setor de Secagem e Ensaque de açúcar – Ano 2026;

Houve uma decisão interna da equipe de gestão da usina para que o setor de Fabricação de Levedura seca não fosse englobado no cronograma de substituição. Tal decisão foi tomada devido a projetos futuros de movimentação do layout do setor, dessa forma sua adequação será realizada mediante projeto posterior.

Os valores previstos em cada etapa de substituição são evidenciados na tabela abaixo:

**Tabela 11** - Etapas de substituição

| <b>Etapas</b>             | <b>Nº de Motores</b> | <b>Valor total (R\$)</b> |
|---------------------------|----------------------|--------------------------|
| <b>1ª Etapa</b>           |                      |                          |
| Zona 1 Grupo IIB T2       | 1                    | R\$ 23.901,25            |
| Zona 1 Grupo IIB T3       | 12                   | R\$ 165.926,84           |
| <b>2ª Etapa</b>           |                      |                          |
| Zona 2 Grupo IIB T3       | 12                   | R\$ 352.576,01           |
| <b>3ª Etapa</b>           |                      |                          |
| Zona 21 Grupo IIIB T246°C | 11                   | R\$ 260.231,22           |
| Zona 21 Grupo IIIB T300°C | 2                    | R\$ 44.085,32            |
| Zona 22 Grupo IIIB T300°C | 7                    | R\$ 31.870,70            |
| <b>Grand Total</b>        | <b>45</b>            | <b>R\$ 878.591,34</b>    |

Tabela dos valores a serem investidos em cada etapa de substituição.

**Fonte:** Autoria Própria, 2023.

## 5 CONCLUSÃO

O presente estudo de caso refere-se a análise de um estudo de adequação de motores elétricos trifásicos aplicados em uma indústria de açúcar e álcool considerando as normas vigentes no momento em que este trabalho é realizado, fixando conceitos de instalações elétricas em atmosferas explosivas e exemplificando um estudo de substituição de motores inadequados contemplando o processo de especificação técnica.

Inicialmente, foi apresentado algumas normas que regulamentam as instalações em atmosferas explosivas, bem como o cenário dos motores elétricos no Brasil com dados recentes. Logo após, foram apresentados os setores cujas áreas são consideradas classificadas (risco de explosão) explicando a metodologia a ser utilizada neste estudo de caso.

Mediante apresentação dos estudo de classificação de áreas realizado na indústria de açúcar e álcool no ano de 2015 foi possível realizar o levantamento da ficha técnica dos equipamentos inadequados situados no setor industrial. Dessa forma possibilitou-se a especificação de MITs adequados para cada zona de classificação.

Em relação aos estudos de eficiência energética, foi definido alguns critérios de para realização das análises econômicas. Tais critérios foram definidos juntamente com a equipe de Supervisão, Gerência e Diretoria da Usina, bem como equipe técnica da WEG.

Ambos os estudos se complementam visto que a substituição de motores inadequados implica ne uma regularização de segurança perante as normas vigentes e a maior eficiência do motores produzidos atualmente trazem um benefício econômico baseado na economia de energia durante seu período de operação. Sendo assim, para uma indústria sucroalcooleira com um sistema de cogeração de energia, o resultado é um ganho econômico com a exportação de energia tornando possível a realização de um estudo de payback.

Em suma, conclui-se que o estudo de caso teve sua finalidade atingida aplicando os conceitos instalações em atmosferas explosivas, motores elétricos de indução trifásico e análise de eficiência energética em uma indústria real. Garantindo o entendimento do assunto além dos critérios para especificação e análise de consumo de energia dos equipamentos presentes no sistema.

Além dos resultados apresentados, é importante destacar três propostas de projetos futuros que podem complementar e expandir os benefícios obtidos com este estudo. Primeiramente, a adequação da infraestrutura para a instalação dos novos motores, considerando a necessidade de componentes específicos como flexíveis EX, unidades de

selagem, e prensa cabos à prova de explosão, é fundamental para garantir a segurança e conformidade com as normas vigentes em áreas classificadas. Em segundo lugar, um estudo de redimensionamento dos novos motores é essencial, já que foi identificado que os motores antigos operavam com percentuais de carga muito abaixo da nominal, o que sugere uma possível superdimensionamento que pode ser corrigido para melhorar a eficiência energética. Por fim, recomenda-se a realização de um estudo de qualidade de energia, uma vez que o trabalho atual focou apenas na eficiência energética, sem considerar aspectos críticos como a qualidade da energia e a presença de harmônicos, que podem impactar o desempenho dos novos motores e a longevidade dos equipamentos elétricos em geral. Essas iniciativas podem proporcionar melhorias adicionais em segurança operacional, eficiência e sustentabilidade energética na usina sucroalcooleira.

## REFERÊNCIAS

- [1] AIRES, Thiago. **O que é o estudo de classificação de área?**. 2021. Disponível em: <https://naville.com.br/pt/blog/estudo-classificacao-de-area/>. Acesso em: 27 maio 2023.
- [2] CARLOS, Vendrame Antonio. **Classificação de áreas**. 2019. Disponível em: <https://pt.linkedin.com/pulse/classificacao-de-areas-vendrame-antonio-carlos/>. Acesso em: 27 maio 2023.
- [3] WEG. **Por que a gestão da energia elétrica deve ser prioridade nas empresas?**. 2019. Disponível em: <https://valor.globo.com/patrocinado/weg/weg/noticia/2019/11/06/por-que-a-gestao-da-energia-eletrica-deve-ser-prioridade-nas-empresas.ghml>. Acesso em: 22 maio 2021.
- [4] WEG. **Guia de especificação de motores elétricos**. 2023. Disponível em: <https://static.weg.net/medias/downloadcenter/h32/hc5/WEG-motores-eletricos-guia-de-especificacao-50032749-brochure-portuguese-web.pdf>. Acesso em: 27 maio 2023.
- [5] REIS, Kleiton. **Gestão de energia elétrica: o que é e como fazer**. 2018. Disponível em: <https://beenergy.com.br/gestao-de-energia-eletrica/>. Acesso em: 22 maio 2021.
- [6] ISSA, Isabela. **A Importância de uma Gestão de Energia Eficiente**. Disponível em: <https://blog.bcntreinamentos.com.br/gestao-de-energia/>. Acesso em: 23 maio 2021.
- [7] RAUSCH, Ivo. **Motores elétricos para uso em atmosferas explosivas (Ex)**. 2016. Disponível em: <https://pt.linkedin.com/pulse/motores-el%C3%A9tricos-para-uso-em-atmosferas-explosivas-ex-ivo-rausch/>. Acesso em: 28 maio 2023.
- [8] ABB. **Manual de Segurança - Motores de baixa tensão para atmosferas potencialmente explosivas**. 2021. Disponível em: [https://library.e.abb.com/public/da55f7aca2184680b636e9745e78168a/ABB\\_Motors\\_for\\_explosive\\_atmospheres%20-%20taitto\\_PTBR\\_LQP.pdf](https://library.e.abb.com/public/da55f7aca2184680b636e9745e78168a/ABB_Motors_for_explosive_atmospheres%20-%20taitto_PTBR_LQP.pdf). Acesso em: 27 maio 2023.
- [9] ABESCO. **ISO 50001 – Gestão de Energia**. Disponível em: <http://www.abesco.com.br/pt/iso-50001-gestao-de-energia/>. Acesso em: 29 maio 2021.
- [10] ACORONI, Júnio Célio. **EFICIÊNCIA ENERGÉTICA: MELHORES PRÁTICAS EM ECONOMIA DE ENERGIA EM UM SETOR INDUSTRIAL**. Revista Científica Semana Acadêmica. Fortaleza, ano MMXIII, Nº. 000044, 26/11/2013. Disponível em: <https://semanaacademica.com.br/artigo/eficiencia-energetica-melhores-praticas-em-economia-de-energia-em-um-setor-industrial>. Acesso em: 30 maio 2021.
- [11] NETO, Fábio Casale Padovani. **Seleção de motores elétricos para áreas classificadas em uma unidade de produção de petróleo e gás**. 2013. Disponível em: <https://pantheon.ufrj.br/bitstream/11422/9789/1/monopoli10007382.pdf>. Acesso em: 27 maio 2023.

[12] BARBOSA, Alan Soares. **Estudo sobre Gestão de Energia em Instituições de Ensino Superior visando a Gestão de Energia no Campus I da Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)**. 2019. 88 f. TCC (Graduação) - Curso de Graduação em Engenharia Elétrica, Departamento de Engenharia Elétrica e Informática, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2019.

[13] ABESCO. **O que é Eficiência Energética**. Disponível em: <http://www.abesco.com.br/pt/o-que-e-eficiencia-energetica-ee/>. Acesso em: 21 junho 2021.

[14] COSTA, Alexandre Kunkel da. **Especificações técnicas de motores elétricos de baixa tensão para aplicação em áreas classificadas**. 2013. Disponível em: <https://bibliodigital.unijui.edu.br:8443/xmlui/bitstream/handle/123456789/3902/Alexandre%20Kunkel%20da%20Costa.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 28 maio 2023.

[15] ANDRADE, Vittoria Emanouella M. Soares de. **Avaliação da adequação de instalações elétricas em áreas classificadas**. 2017. Disponível em: <https://monografias.ufma.br/jspui/bitstream/123456789/3607/2/VittoriaAndrade.pdf>. Acesso em: 28 maio 2023.

[16] MELFLEX. **Manual atmosferas explosivas**. 2023. Disponível em: [https://melfex.com.br/wp-content/uploads/2023/10/manual\\_ex\\_atualizado\\_melfex.pdf](https://melfex.com.br/wp-content/uploads/2023/10/manual_ex_atualizado_melfex.pdf). Acesso em: 27 maio 2023.

[17] MAEX. **Proteção de equipamentos por segurança aumentada – Tipos de proteção Ex “Eb” / Ex “Ec” em atmosferas explosivas**. Disponível em: <https://maex.com.br/protacao-de-equipamentos-por-seguranca-aumentada-tipo-de-protacao-ex-eb-ex-ec%E2%80%8B-em-atmosferas-explosivas/>. Acesso em: 22 julho 2023.

[18] MAEX. **Motores Elétricos “EX”: Requisitos sobre especificação e instalação**. Disponível em: <https://maex.com.br/motores-eletricos-ex-requisitos-sobre-especificacao-e-instalacao/>. Acesso em: 22 julho 2023.

[19] WEG. **Motores para áreas classificadas**. Disponível em: <https://static.weg.net/medias/downloadcenter/h13/h4e/WEG-WMO-motores-areas-classificadas-50070675-manual-pt-web.pdf>. Acesso em: 22 julho 2023.

[20] WEG. **Atmosferas explosivas**. Disponível em: <https://static.weg.net/medias/downloadcenter/hf7/hee/WEG-WMO-atmosferas-explosivas-50039055-brochure-portuguese-web.pdf>. Acesso em: 22 julho 2023.

[21] WEG. **Guia para atmosferas explosivas**. Disponível em: <https://static.weg.net/medias/downloadcenter/he5/h77/WEG-guia-para-atmosferas-explosivas-50076428-brochure-portuguese-web.pdf>. Acesso em: 22 julho 2023.

[22] WEG. **Considerações sobre rendimento de motores elétricos de indução**. Disponível em: <https://static.weg.net/medias/downloadcenter/h94/hb9/WEG-consideracoes-sobre-redimensionamento-de-motores-eletricos-de-inducao-artigo-tecnico-portugues-br.pdf>. Acesso em: 06 janeiro 2024.

[23] MENDES, Diego Gabriel Diniz; GONÇALVES, Fabricio Pimentel. **Análise do rendimento pós rebobinamento em motores elétricos**. 2021. Disponível em:

[https://fait.revista.inf.br/imagens\\_arquivos/arquivos\\_destaque/wEHqdfd4QI321DN\\_2021-8-30-15-32-31.pdf](https://fait.revista.inf.br/imagens_arquivos/arquivos_destaque/wEHqdfd4QI321DN_2021-8-30-15-32-31.pdf). Acesso em: 06 jan. 2024.

[24] ALVES, Leopoldo. **Efeitos da rebobinagem na eficiência dos motores elétricos**. 2023. Disponível em: <https://pt.linkedin.com/pulse/efeitos-da-rebobinagem-na-efici%C3%AAdos>. Acesso em: 06 jan. 2024.

[25] CRUX OF EE. **Ex db, Ex eb, Ex ec What? Where did Ex d, e and nA go?** 2019. Disponível em: <http://www.cruxofee.com/2019/02/ex-db-ex-eb-ex-ec-what-where-did-ex-d-e.html>. Acesso em: 06 jan. 2024.

[26] PROJECT-EXPLO. **Inspeção apurada: entenda sua importância na garantia da segurança em áreas classificadas**. 2023. Disponível em: <https://project-explo.com.br/inspecao-apurada/inspecao-apurada-areas-classificadas/>. Acesso em: 01 maio 2024.

[27] CYRINO, Luis. **Manutenção em área classificada EX**. 2023. Disponível em: <https://traction.com/blog/manutencao-em-area-classificada-ex/>. Acesso em: 01 maio 2024.

[28] WEG. **Energia elétrica você sabe o quanto está desperdiçando?** Disponível em: <https://static.weg.net/medias/downloadcenter/h50/h57/infografico-weg-efficiency-partners-005125400-web.pdf>. Acesso em: 01 maio 2024.

[29] WEG. **Uso eficiente da energia elétrica**. Disponível em: <https://static.weg.net/medias/downloadcenter/h7c/h92/WEG-gestao-eficiente-da-energia-eletrica-50030292-brochure-portuguese-web.pdf>. Acesso em: 01 maio 2024.

[30] REVISTA POTÊNCIA. **Motores elétricos e eficiência energética**. Disponível em: <https://revistapotencia.com.br/portal-potencia/energia/motores-eletricos-e-eficiencia-energetica/>. Acesso em: 22 junho 2024.

[31] BENDER, Bruno Duarte. **Eficiência energética em motores elétricos**. 2022. Disponível em: <https://www.gebras.com/gebras/news-item.php?id=1120>. Acesso em: 01 maio 2024.

[32] ANASTACIO, Breno P; PIRES, Douglas M. G.; MAGALHÃES, Jessica de L. A.; DIAS, Marcelo P.. **Eficiência energética em motores elétricos de indução**. 2020. Disponível em: <https://seer.uniacademia.edu.br/index.php/ANL/article/download/2351/1570>. Acesso em: 01 maio 2024.

[33] GIRARDI, Greyci. **Gestão de energia: o que é e como fazer**. 2020. Disponível em: <https://www.way2.com.br/blog/gestao-de-energia/#:~:text=No%20Brasil%2C%20a%20tarifa%20de,das%20empresas%20do%20setor%20industrial..> Acesso em: 22 maio 2021.

[34] CSANYI, Edvard. **3 reasons for increased efficiency loss in rewound motors**. 2016. Disponível em: <https://electrical-engineering-portal.com/efficiency-loss-in-rewound-motors>. Acesso em: 22 junho 2024.

[35] REIS, Jucele. **Os motores de baixa tensão de alto rendimento no Brasil**. 2018. Disponível em: [https://www.arandanet.com.br/revista/em/materia/2018/05/20/moteres\\_de\\_baixa.html](https://www.arandanet.com.br/revista/em/materia/2018/05/20/moteres_de_baixa.html). Acesso em: 22 junho 2024.

[36] INMETRO. **Análise de impacto regulatório: Motores Elétricos Trifásicos**. 2017. Disponível em: <https://www.gov.br/inmetro/pt-br/assuntos/regulamentacao/analise-de>

impacto-regulatorio/realizadas/2017/motores-eletricos-recondicionados/relatorio. Acesso em: 22 junho 2024.

[37] WEG. **Guia prático de treinamento técnico/comercial motor elétrico módulo I**. 2024. Disponível em: <https://static.weg.net/medias/downloadcenter/h6c/he0/WEG-guia-pratico-de-treinamento-tecnico-comercial-50009256-brochure-portuguese-web.pdf>. Acesso em: 22 junho 2024.

[38] WEG. **Guia prático de treinamento técnico/comercial motor elétrico módulo I**. 2024. Disponível em: <https://static.weg.net/medias/downloadcenter/h6c/he0/WEG-guia-pratico-de-treinamento-tecnico-comercial-50009256-brochure-portuguese-web.pdf>. Acesso em: 22 junho 2024.

[39] Minipa. **Manual de instruções alicate amperímetro digital ET-3710B / ET-3710C**. 2020. Disponível em: <https://www.minipa.com.br/images/Manual/ET-3710B-ET-3810C-1103-BR.PDF>. Acesso em: 22 junho 2024.

## APÊNDICE A – BASE DE DADOS MOTORES ANTIGOS

| Setor      | Localização                          | Descrição         | Zona                      | Fabricante | Ano        | Potência<br>KW(HP-cv) | Potência<br>KW(HP-cv) | Car<br>ça<br>a | Tensão (V)  | Corrente<br>Nominal (A) | Fechamento<br>do Motor | Tipo de<br>Partida | Corrente de<br>Operação | Polos | Preço (R\$) WEG |
|------------|--------------------------------------|-------------------|---------------------------|------------|------------|-----------------------|-----------------------|----------------|-------------|-------------------------|------------------------|--------------------|-------------------------|-------|-----------------|
| Destilaria | Coluna B<br>Aparelho 01              | Motor da<br>BBA 1 | Zona 1<br>Grupo<br>IIB T3 | WEG        | -          | 10 CV                 | 7,5                   | 132<br>S/<br>M | 220/380     | 26,6/15,4               | Estrela                | Direta             | 5,8 A                   | 4     | R\$ 10.853,81   |
| Destilaria | Coluna B<br>Aparelho 01              | Motor da<br>BBA 2 | Zona 1<br>Grupo<br>IIB T3 | BUFALO     | -          | 10 CV                 | 7,5                   | 132            | 220/380     | 29/16                   | Estrela                | Direta             | 7,5 A                   | 4     | R\$ 10.853,81   |
| Destilaria | Dosador de<br>Soda para<br>Aparelhos | Motor da<br>BBA 3 | Zona 2<br>Grupo<br>IIB T3 | WEG        | 25/02/2005 | 1 CV                  | 0,75                  | 80             | 220/380     | 3/1,75                  | Estrela                | Direta             | 1,6 A                   | 4     | R\$ 2.944,86    |
| Destilaria | Dosador de<br>Soda para<br>Aparelhos | Motor da<br>BBA 2 | Zona 2<br>Grupo<br>IIB T3 | WEG        | 18/03/2008 | 1 CV                  | 0,75                  | 80             | 220/380/440 | 3,02/1,75/1,51          | Estrela                | Direta             | 1,6 A                   | 4     | R\$ 2.877,13    |
| Destilaria | Dosador de<br>Soda para<br>Aparelhos | Motor da<br>BBA 1 | Zona 2<br>Grupo<br>IIB T3 | WEG        | 31/03/2005 | 0,75 CV               | 0,55                  | 71             | 220/380     | 2,9/1,68                | Estrela                | Direta             | 1,2 A                   | 4     | R\$ 2.758,82    |
| Destilaria | Água para<br>Aparelhos               | Motor da<br>BBA 1 | Zona 2<br>Grupo<br>IIB T3 | WEG        | 01/01/2008 | 60 CV                 | 45                    | 225<br>S/<br>M | 220/380/440 | 143/82,5/71,5           | Estrela                | Direta             | 79 A                    | 4     | R\$ 49.465,35   |
| Destilaria | Água para<br>Aparelhos               | Motor da<br>BBA 2 | Zona 2<br>Grupo<br>IIB T3 | WEG        | -          | 60 CV                 | 45                    | 225<br>S/<br>M | 220/380/440 | 148/82,8/71,5           | Estrela                | Direta             | 76 A                    | 4     | R\$ 49.465,35   |
| Destilaria | Água para<br>Aparelhos               | Motor da<br>BBA 3 | Zona 2<br>Grupo<br>IIB T3 | WEG        | 01/03/2002 | 60 CV                 | 45                    | 225<br>S/<br>M | 220/380/440 | 143/82,5/71,5           | Estrela                | Direta             | 71 A                    | 4     | R\$ 49.465,35   |
| Destilaria | Vinho para<br>Aparelhos              | Motor da<br>BBA 1 | Zona 1<br>Grupo<br>IIB T3 | WEG        | 02/09/2004 | 25 CV                 | 18,5                  | 160<br>L       | 220/380/440 | 64,3/37,2/32,2          | Estrela                | Direta             | 21 A                    | 4     | R\$ 24.465,33   |
| Destilaria | Vinho para<br>Aparelhos              | Motor da<br>BBA 2 | Zona 1<br>Grupo<br>IIB T3 | WEG        | -          | 25 CV                 | 18,5                  | 160<br>L       | 220/380     | 62/36                   | Estrela                | Direta             | 23 A                    | 4     | R\$ 24.465,33   |

| Setor      | Localização           | Descrição                   | Zona                | Fabricante | Ano        | Potência KW(HP-cv) | Potência KW(HP-cv) | Carça<br>a  | Tensão (V)  | Corrente Nominal (A) | Fechamento do Motor | Tipo de Partida       | Corrente de Operação | Polos | Preço (R\$) WEG |           |
|------------|-----------------------|-----------------------------|---------------------|------------|------------|--------------------|--------------------|-------------|-------------|----------------------|---------------------|-----------------------|----------------------|-------|-----------------|-----------|
| Destilaria | Vinho para Aparelhos  | Motor da BBA 3              | Zona 1 Grupo IIB T3 | WEG        | -          | 25 CV              | 18,5               | 160 M       | 220/380     | 50/29                | Estrela             | Direta                | 23 A                 | 4     | R\$             | 24.465,33 |
| Destilaria | Dosador Ciclo Hexano  | Motor da BBA                | Zona 1 Grupo IIB T3 | WEG        | -          | 3 CV               | 2,2                | 90 S        | 220/380     | 9/5,2                | S/I                 | Direta                | S/I                  | 2     | R\$             | 6.476,40  |
| Destilaria | Centrifuga de Vinho 1 | Motor da Centrifuga         | Zona 2 Grupo IIB T3 | WEG        | -          | 50 CV              | 37                 | 200 L       | 220/380/440 | 120/70/61            | Estrela             | Inversor              | 32,1 A               | 4     | R\$             | 33.017,92 |
| Destilaria | Centrifuga de Vinho 2 | Motor da Centrifuga         | Zona 2 Grupo IIB T3 | WEG        | -          | 50 CV              | 37                 | 200 L       | 380/660     | 70/40                | Estrela             | Estrela/<br>Triângulo | S/I                  | 4     | R\$             | 33.017,92 |
| Destilaria | Centrifuga de Vinho 3 | Motor da Centrifuga         | Zona 2 Grupo IIB T3 | WEG        | -          | 75 CV              | 55                 | 225 S/<br>M | 220/380/440 | 102/48               | Estrela             | Soft                  | 51,6 A               | 4     | R\$             | 60.128,25 |
| Destilaria | Centrifuga de Vinho 4 | Motor da Centrifuga         | Zona 2 Grupo IIB T3 | WEG        | -          | 50 CV              | 37                 | 200 M       | 380/660     | 74/43                | Estrela             | Estrela/<br>Triângulo | 73,5 A               | 4     | R\$             | 33.017,92 |
| Destilaria | Coluna A Aparelho 02  | Motor da BBA 1              | Zona 1 Grupo IIB T3 | BUFALO     | -          | 10 CV              | 7,5                | F1 132 M    | 220/380     | 29/16                | Estrela             | Direta                | 9,3 A                | 4     | R\$             | 10.853,81 |
| Destilaria | Coluna B Aparelho 02  | Motor da BBA 2              | Zona 1 Grupo IIB T3 | WEG        | 01/01/2000 | 5 CV               | 3,7                | 100 S/<br>M | 220/380     | 15/8,7               | Estrela             | Direta                | 5,5 A                | 4     | R\$             | 7.936,53  |
| Destilaria | Coluna P Aparelho 02  | Motor da BBA 1              | Zona 1 Grupo IIB T3 | BUFALO     | -          | 5 CV               | 3,7                | 112         | 220/380     | 16/9                 | Estrela             | Direta                | 2,7 A                | 4     | R\$             | 7.936,53  |
| Destilaria | Coluna P Aparelho 02  | Motor da BBA 2              | Zona 1 Grupo IIB T3 | WEG        | 01/05/1996 | 3 CV               | 2,2                | TE 90L      | 220/380     | 8,59/4,97            | Estrela             | Direta                | 2,3 A                | 4     | R\$             | 6.612,35  |
| Destilaria | Coluna B Aparelho 03  | Motor da BBA 1              | Zona 1 Grupo IIB T3 | WEG        | -          | 10 CV              | 7,5                | 132 S/<br>M | 220/380     | 27/15,6              | Estrela             | Direta                | 9,5 A                | 4     | R\$             | 10.853,81 |
| Destilaria | Coluna C Aparelho 03  | Motor da BBA 2              | Zona 1 Grupo IIB T3 | WEG        | -          | 15 CV              | 11                 | 132 S/<br>M | 220/380     | 40/23                | Estrela             | Direta                | 14,1 A               | 4     | R\$             | 20.153,80 |
| Destilaria | Dorna 1               | Motor da BBA 2 Recirculação | Zona 2 Grupo IIB T3 | WEG        | -          | 40 CV              | 30                 | 200 M       | 220/380     | 94/54                | Estrela             | Direta                | 40 A                 | 4     | R\$             | 30.357,80 |

| Setor                   | Localização                              | Descrição                   | Zona                               | Fabricante | Ano        | Potência<br>KW(HP-cv) | Potência<br>KW(HP-cv) | Car<br>ça<br>a | Tensão (V)  | Corrente<br>Nominal (A) | Fechamento<br>do Motor | Tipo de<br>Partida | Corrente de<br>Operação | Polos | Preço (R\$) WEG |
|-------------------------|------------------------------------------|-----------------------------|------------------------------------|------------|------------|-----------------------|-----------------------|----------------|-------------|-------------------------|------------------------|--------------------|-------------------------|-------|-----------------|
| Destilaria              | Tanque<br>medidor de<br>Álcool<br>Anidro | Motor da<br>BBA 1           | Zona 1<br>Grupo<br>IIB T2          | BUFALO     | 04/07/2003 | 25 CV                 | 18,5                  | 60<br>T        | 220/380/440 | 62/36/31                | Estrela                | Soft               | 9,8 A                   | 2     | R\$ 23.901,25   |
| Destilaria              | Tanque de<br>Soda<br>Depósito            | Motor da<br>BBA 1           | Zona 2<br>Grupo<br>IIB T3          | WEG        | -          | 4 CV                  | 3                     | 112            | 220/380     | 11,6/6,6                | Estrela                | Direta             | -                       | 4     | R\$ 6.059,34    |
| Secagem<br>de<br>Açúcar | Peneira<br>1200 KG                       | Motor de<br>Acioname<br>nto | Zona 21<br>Grupo<br>IIIB<br>T246°C | WEG        | -          | 10 CV                 | 7,5                   | 102            | 220/380     | 27/16                   | Estrela                | Direta             | 7,7 A                   | 4     | R\$ 11.629,28   |
| Secagem<br>de<br>Açúcar | Exaustor de<br>Pó Novo                   | Motor de<br>Acioname<br>nto | Zona 21<br>Grupo<br>IIIB<br>T246°C | WEG        | 25/03/2013 | 100 CV                | 75                    | 250<br>S/<br>M | 220/380/440 | 244/141/122             | Estrela                | Soft               | 81 A                    | 4     | R\$ 69.220,75   |
| Secagem<br>de<br>Açúcar | Lavador de<br>Pó Novo                    | Motor                       | Zona 21<br>Grupo<br>IIIB<br>T246°C | WEG        | -          | 60 CV                 | 45                    | 225<br>S/<br>M | 220/380/440 | 146/84,5/73             | Estrela                | Soft               | 36 A                    | 4     | R\$ 52.500,72   |
| Secagem<br>de<br>Açúcar | Ventilador<br>Ar Frio<br>Secador 03      | Motor                       | Zona 21<br>Grupo<br>IIIB<br>T246°C | EBERLE     | -          | 20 CV                 | 15                    | 160            | 220/380     | 52,8/30,5               | Estrela                | Direta             | -                       | 6     | R\$ 25.000,66   |
| Secagem<br>de<br>Açúcar | Esteira de<br>Carregamen<br>to 01        | Motor de<br>Acioname<br>nto | Zona 21<br>Grupo<br>IIIB<br>T246°C | WEG        | 12/03/2015 | 3 CV                  | 2,2                   | 90L            | 220/380     | 8,7/5,04                | Estrela                | Inversor           | 1,3 A                   | 4     | R\$ 5.488,08    |
| Secagem<br>de<br>Açúcar | Máquina de<br>Costura                    | Motor de<br>Acioname<br>nto | Zona 21<br>Grupo<br>IIIB<br>T246°C | WEG        | 01/10/2001 | 1 CV                  | 0,75                  | 80             | 220/380/440 | 3/1,74/1,5              | Estrela                | Direta             | 1,3 A                   | 4     | R\$ 3.172,91    |
| Secagem<br>de<br>Açúcar | Esteira da<br>Máquina de<br>Costura      | Motor de<br>Acioname<br>nto | Zona 21<br>Grupo<br>IIIB<br>T246°C | WEG        | 01/02/2002 | 2 CV                  | 1,5                   | 90S            | 220/380/440 | -                       | Estrela                | Direta             | 0,6 A                   | 4     | R\$ 4.639,53    |
| Secagem<br>de<br>Açúcar | Secador de<br>Açúcar<br>Novo             | Motor de<br>Acioname<br>nto | Zona 21<br>Grupo<br>IIIB<br>T246°C | WEG        | -          | 40 CV                 | 30                    | 200            | 220/380     | 100/58                  | Estrela                | Inversor           | 24,7 A                  | 4     | R\$ 31.481,31   |

| Sector              | Localização                   | Descrição                   | Zona                      | Fabricante | Ano        | Potência KW(HP-cv) | Potência KW(HP-cv) | Carcaça | Tensão (V)  | Corrente Nominal (A) | Fechamento do Motor | Tipo de Partida | Corrente de Operação | Polos | Preço (R\$) WEG |
|---------------------|-------------------------------|-----------------------------|---------------------------|------------|------------|--------------------|--------------------|---------|-------------|----------------------|---------------------|-----------------|----------------------|-------|-----------------|
| Secagem de Açúcar   | Peneira Vibratória 50KG       | Motor de Acionamento        | Zona 21 Grupo IIIB T246°C | WEG        | 01/01/2001 | 5CV                | 3,7                | 132 S   | 220/380/440 | 15,7/9,09/7,85       | Estrela             | Direta          | 7,4 A                | 6     | R\$ 10.704,35   |
| Fábrica de Levedura | Máquina de Costura            | Motor de Acionamento        | Zona 22 Grupo IIIB T300°C | WEG        | -          | 0,5 CV             | 0,37               | 71      | 220/380     | 2,2/1,2              | Estrela             | Direta          | 1,1 A                | 4     | R\$ 2.485,98    |
| Fábrica de Levedura | Esteira da Máquina de Costura | Motor de Acionamento        | Zona 22 Grupo IIIB T300°C | WEG        | 12/05/2005 | 1,5 CV             | 1,1                | 90S     | 220/380     | 5,5/3/18             | Estrela             | Direta          | 2,4 A                | 6     | R\$ 5.891,59    |
| Fábrica de Levedura | Triturador de Levedura 2      | Motor de Acionamento        | Zona 21 Grupo IIIB T300°C | WEG        | -          | 25 CV              | 18,5               | 160     | 220/380     | 60/34                | Estrela             | Direta          | 7,2 A                | 2     | R\$ 22.042,66   |
| Fábrica de Levedura | Triturador de Levedura 1      | Motor de Acionamento        | Zona 21 Grupo IIIB T300°C | WEG        | -          | 25 CV              | 18,5               | 160     | 220/380     | 62/35,9              | Estrela             | Direta          | 7,2 A                | 2     | R\$ 22.042,66   |
| Fábrica de Levedura | Secador 01                    | Motor de Acionamento        | Zona 22 Grupo IIIB T300°C | WEG        | -          | 5 CV               | 3,7                | 100 L   | 220/380     | 13,6/8,1             | Estrela             | Inversor        | 3,1 A                | 4     | R\$ 7.416,35    |
| Fábrica de Levedura | Secador 01                    | Motor de Ventilação Forçada | Zona 22 Grupo IIIB T300°C | WEG        | -          | 0,5 CV             | 0,37               | AL63    | 220/380     | 1,68/0,973           | Estrela             | Direta          | 0,5 A                | 2     | R\$ 2.010,45    |
| Fábrica de Levedura | Secador 02                    | Motor de Acionamento        | Zona 22 Grupo IIIB T300°C | WEG        | -          | 5 CV               | 3,7                | 100     | 220/380     | 14/8                 | Estrela             | Inversor        | 3,5 A                | 4     | R\$ 7.416,35    |
| Fábrica de Levedura | Secador 02                    | Motor de Ventilação Forçada | Zona 22 Grupo IIIB T300°C | WEG        | -          | 0,5 CV             | 0,37               | AL63    | 220/380     | 1,68/0,973           | Estrela             | Direta          | 0,4 A                | 2     | R\$ 2.010,45    |

| Setor                     | Localização                           | Descrição                   | Zona                                | Fabricante | Ano        | Potência<br>KW(HP-cv) | Potência<br>KW(HP-cv) | Car<br>ça<br>ç<br>a | Tensão (V)  | Corrente<br>Nominal (A) | Fechamento<br>do Motor | Tipo de<br>Partida | Corrente de<br>Operação | Polos | Preço (R\$) WEG |           |
|---------------------------|---------------------------------------|-----------------------------|-------------------------------------|------------|------------|-----------------------|-----------------------|---------------------|-------------|-------------------------|------------------------|--------------------|-------------------------|-------|-----------------|-----------|
| Secagem<br>de<br>Açúcar   | Elevador de<br>Canecas 05<br>(Toflux) | Motor de<br>Acioname<br>nto | Zona 21<br>Grupo<br>IIIBB<br>T246°C | WEG        | -          | 10 CV                 | 7,5                   | 132<br>M            | 220/380     | 20/11,7                 | Estrela                | Direta             | 9,3                     | 4     | R\$             | 11.629,28 |
| Secagem<br>de<br>Açúcar   | Exaustor<br>Lavador de<br>Pó (Antigo) | Motor de<br>Acioname<br>nto | Zona 21<br>Grupo<br>IIIB<br>T246°C  | WEG        | -          | 50 CV                 | 37                    | 200<br>L            | 220/380     | 120/70                  | Estrela                | Direta             | 20,1 A                  | 4     | R\$             | 34.764,35 |
| Fábrica<br>de<br>Levedura | Rosca Saída<br>Secadores              | Motor de<br>Acioname<br>nto | Zona 22<br>Grupo<br>IIIB<br>T300°C  | WEG        | 18/01/2006 | 2 CV                  | 1,5                   | 90<br>S             | 220/380/440 | 6,12/3,54/3,06          | Estrela                | Direta             | -                       | 4     | R\$             | 4.639,53  |

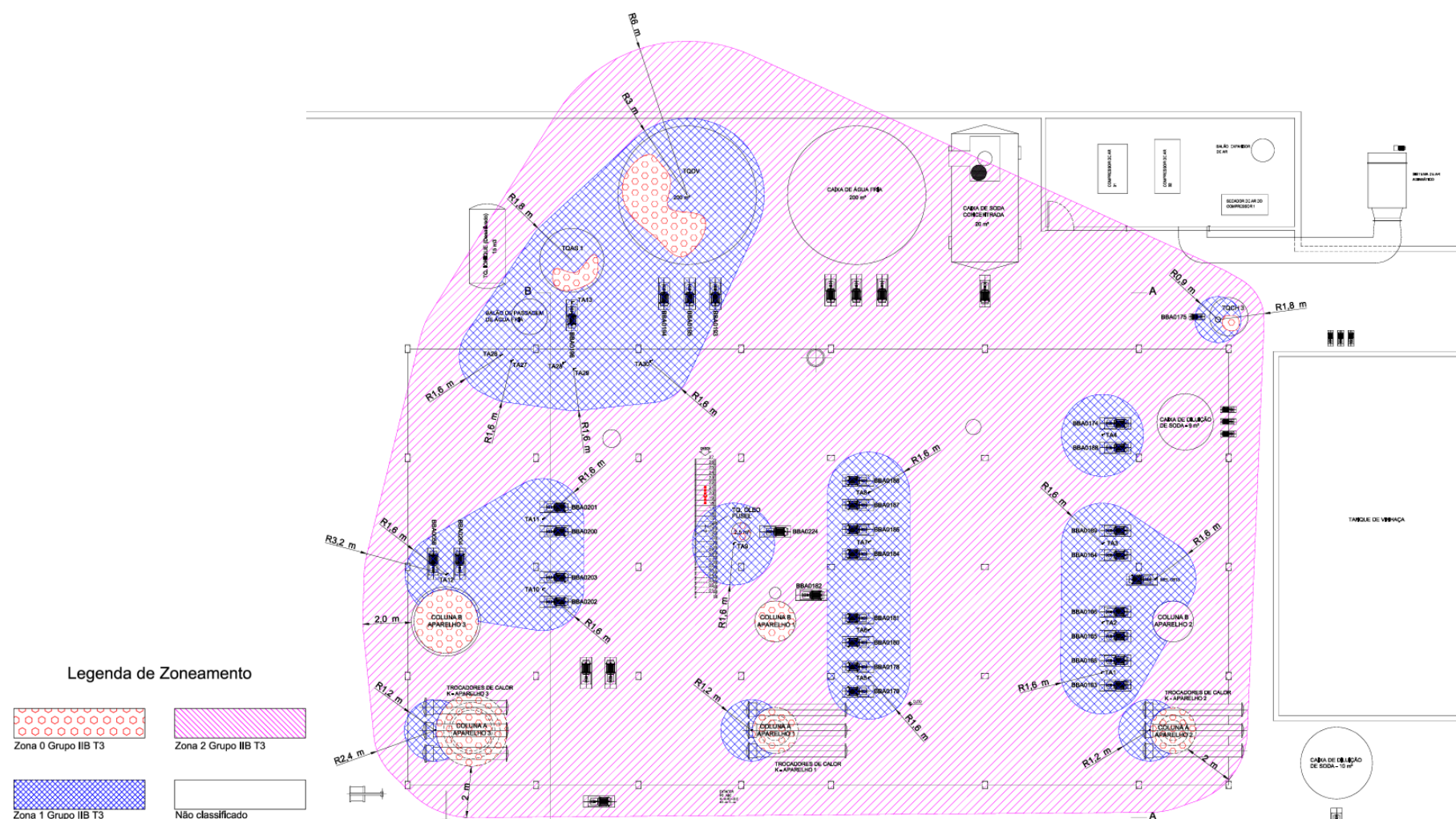
## APÊNDICE B – DETALHAMENTO E RESULTADOS ECONÔMICOS MOTORES ANTIGOS X NOVOS

| TAG      | Área                | Qtd | Situação Atual |       |         |                |                   | Solução Proposta   |                | Resultados Econômicos |         |                    |                |
|----------|---------------------|-----|----------------|-------|---------|----------------|-------------------|--------------------|----------------|-----------------------|---------|--------------------|----------------|
|          |                     |     | Potência (CV)  | Polos | % Carga | Eficiência (%) | Consumo (kWh/ano) | Linha do Motor     | Eficiência (%) | Economia              |         | Investimento (R\$) | Payback (anos) |
|          |                     |     |                |       |         |                |                   |                    |                | %                     | R\$     |                    |                |
| MEL0615  | Destilaria          | 1   | 15             | 04    | 50      | 84,23          | 47.016,0          | W22Xdb IR3 Premium | 88,00          | 4,3                   | 443,52  | 20.153,80          | 45,4           |
| MEL1202  | Fábrica de Levedura | 1   | 2              | 04    | 60      | 78,95          | 8.208,0           | W22Xtb IR3 Premium | 84,91          | 7,0                   | 126,72  | 4.639,53           | 36,6           |
| MEL0364  | Destilaria          | 1   | 25             | 02    | 60      | 82,77          | 96.552,0          | W22Xdb IR3 Premium | 88,24          | 6,2                   | 1314,72 | 23.901,25          | 18,2           |
| MEL1020  | Secagem de Açúcar   | 1   | 10             | 04    | 60      | 85,39          | 37.944,0          | W22Xtb IR3 Premium | 89,82          | 4,9                   | 411,84  | 11.629,28          | 28,2           |
| ME1602   | Secagem de Açúcar   | 1   | 100            | 04    | 44      | 90,56          | 262.368,0         | W22Xtb IR3 Premium | 92,44          | 2,0                   | 1172,16 | 69.220,75          | 59,1           |
| ME301    | Secagem de Açúcar   | 1   | 60             | 04    | 23      | 85,47          | 87.192,0          | W22Xtb IR3 Premium | 87,49          | 2,3                   | 443,52  | 52.500,72          | 118,4          |
| MEL20011 | Secagem de Açúcar   | 1   | 3              | 04    | 60      | 80,49          | 11.808,0          | W22Xtb IR3 Premium | 84,08          | 4,3                   | 110,88  | 5.488,08           | 49,5           |
| MEL0242  | Secagem de Açúcar   | 1   | 1              | 04    | 49      | 70,67          | 3.744,0           | W22Xtb IR3 Premium | 83,52          | 15,4                  | 126,72  | 3.172,91           | 25             |
| MEL0290  | Secagem de Açúcar   | 1   | 2              | 04    | 60      | 76,92          | 8.424,0           | W22Xtb IR3 Premium | 84,11          | 8,5                   | 158,40  | 4.639,53           | 29,3           |
| MEL047   | Secagem de Açúcar   | 1   | 40             | 04    | 16      | 73,51          | 47.016,0          | W22Xtb IR3 Premium | 76,31          | 3,7                   | 380,16  | 31.481,31          | 82,8           |
| MEL0444  | Secagem de Açúcar   | 1   | 5              | 06    | 73      | 82,35          | 23.616,0          | W22Xtb IR3 Premium | 87,69          | 6,1                   | 316,80  | 10.704,35          | 33,8           |
| MEL0308  | Fábrica de Levedura | 1   | 0,5            | 04    | 63      | 58,28          | 2.880,0           | W22Xtb IR3 Premium | 75,19          | 22,5                  | 142,56  | 2.485,98           | 17,4           |
| MEL1032  | Fábrica de Levedura | 1   | 1,5            | 06    | 60      | 69,47          | 6.840,0           | W22Xtb IR3 Premium | 81,48          | 14,7                  | 221,76  | 5.891,59           | 26,6           |
| MEL0377  | Fábrica de Levedura | 1   | 25             | 02    | 60      | 87,20          | 91.656,0          | W22Xtb IR3 Premium | 91,21          | 4,4                   | 887,40  | 22.042,66          | 24,9           |
| -        | Fábrica de Levedura | 1   | 25             | 02    | 60      | 87,20          | 91.656,0          | W22Xtb IR3 Premium | 91,21          | 4,4                   | 887,40  | 22.042,66          | 24,9           |
| MEL0790  | Fábrica de Levedura | 1   | 5              | 04    | 60      | 75,77          | 21.096,0          | W22Xtb IR3 Premium | 84,73          | 10,6                  | 491,40  | 7.416,35           | 15,1           |
| -        | Fábrica de Levedura | 1   | 0,5            | 02    | 60      | 58,42          | 2.736,0           | W22Xtb IR3 Premium | 71,61          | 18,4                  | 110,88  | 2.010,45           | 18,1           |
| MEL0820  | Fábrica de Levedura | 1   | 5              | 04    | 60      | 79,29          | 20.160,0          | W22Xtb IR3 Premium | 84,09          | 5,7                   | 253,44  | 7.416,35           | 29,3           |
| MEL0824  | Fábrica de Levedura | 1   | 0,5            | 02    | 60      | 58,42          | 2.736,0           | W22Xtb IR3 Premium | 71,61          | 18,4                  | 110,88  | 2.010,45           | 18,1           |
| MEL2017  | Destilaria          | 1   | 1              | 04    | 89      | 77,62          | 6.192,0           | W22Xec IR3 Premium | 85,58          | 9,3                   | 126,72  | 2.877,13           | 22,7           |
| MEL0545  | Destilaria          | 1   | 0,75           | 04    | 60      | 63,46          | 3.744,0           | W22Xec IR3 Premium | 78,57          | 19,2                  | 158,40  | 2.758,82           | 17,4           |
| MEL045   | Destilaria          | 1   | 60             | 04    | 93      | 91,40          | 329.688,0         | W22Xec IR3 Premium | 94,09          | 2,9                   | 2075,40 | 49.465,35          | 23,8           |
| MEL0455  | Destilaria          | 1   | 60             | 04    | 91      | 90,60          | 325.440,0         | W22Xec IR3 Premium | 93,37          | 3,0                   | 2122,56 | 49.465,35          | 23,3           |

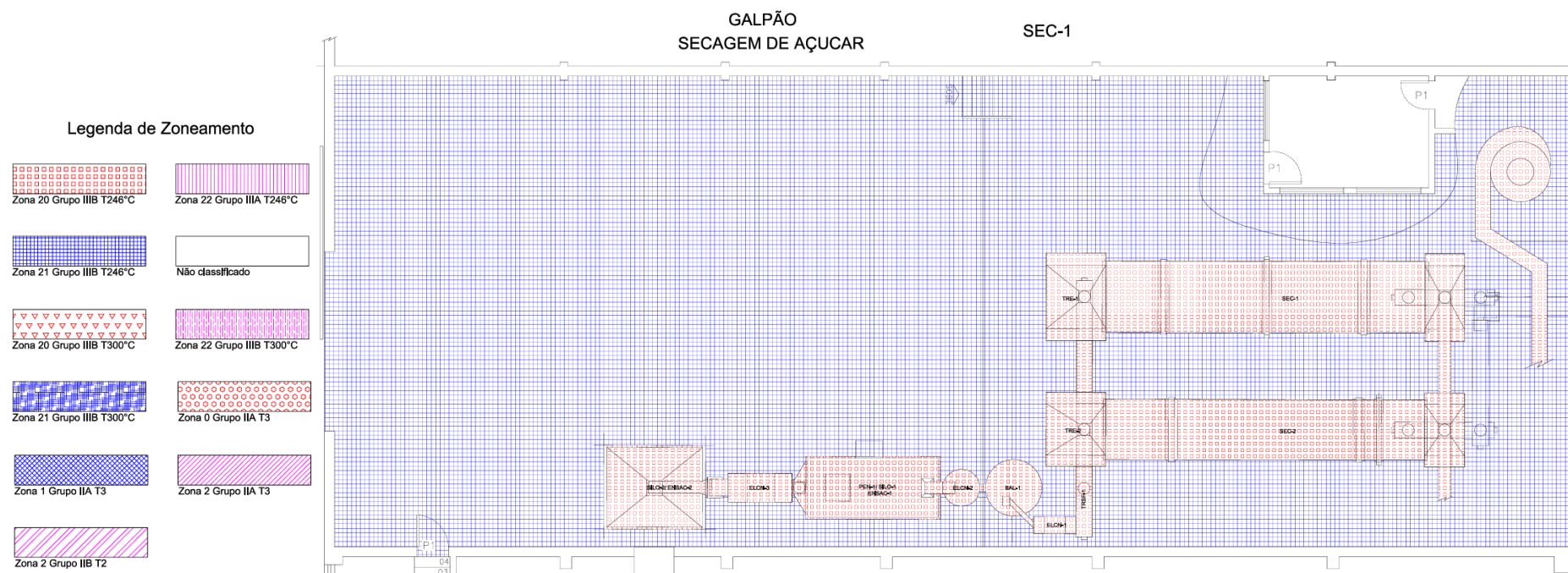
| TAG      | Área              | Qtd | Situação Atual |       |         |                |                   | Solução Proposta   |                | Resultados Econômicos |         |                    |                |
|----------|-------------------|-----|----------------|-------|---------|----------------|-------------------|--------------------|----------------|-----------------------|---------|--------------------|----------------|
|          |                   |     | Potência (CV)  | Polos | % Carga | Eficiência (%) | Consumo (kWh/ano) | Linha do Motor     | Eficiência (%) | Economia              |         | Investimento (R\$) | Payback (anos) |
|          |                   |     |                |       |         |                |                   |                    |                | %                     | R\$     |                    |                |
| MEL0337  | Destilaria        | 1   | 60             | 04    | 82      | 90,66          | 293.040,0         | W22Xec IR3 Premium | 93,65          | 3,2                   | 2059,20 | 49.465,35          | 24             |
| MEL01522 | Destilaria        | 1   | 25             | 04    | 41      | 85,61          | 63.792,0          | W22Xdb IR3 Premium | 87,08          | 1,7                   | 237,60  | 24.465,33          | 103            |
| MEL060   | Destilaria        | 1   | 25             | 04    | 51      | 87,69          | 77.472,0          | W22Xdb IR3 Premium | 89,35          | 1,9                   | 316,80  | 24.465,33          | 77,2           |
| MEL0340  | Destilaria        | 1   | 25             | 04    | 51      | 87,69          | 77.472,0          | W22Xdb IR3 Premium | 91,60          | 4,3                   | 728,64  | 24.465,33          | 33,6           |
| MEL0829  | Destilaria        | 1   | 3              | 02    | 60      | 77,65          | 12.240,0          | W22Xdb IR3 Premium | 85,71          | 9,4                   | 253,44  | 6.476,40           | 25,6           |
| MEL1547  | Destilaria        | 1   | 50             | 04    | 26      | 82,86          | 83.592,0          | W22Xec IR3 Premium | 85,74          | 3,4                   | 617,76  | 33.017,92          | 53,5           |
| MEL0637  | Destilaria        | 1   | 50             | 04    | 60      | 91,70          | 174.312,0         | W22Xec IR3 Premium | 92,93          | 1,3                   | 506,88  | 33.017,92          | 65,1           |
| MEL0300  | Destilaria        | 1   | 75             | 04    | 34      | 87,55          | 153.792,0         | W22Xec IR3 Premium | 90,82          | 3,6                   | 1219,68 | 60.128,25          | 49,3           |
| MEL0012  | Destilaria        | 1   | 50             | 04    | 102     | 90,98          | 298.656,0         | W22Xec IR3 Premium | 93,12          | 2,3                   | 1504,80 | 33.017,92          | 21,9           |
| MEL059   | Destilaria        | 1   | 10             | 04    | 27      | 74,72          | 19.512,0          | W22Xdb IR3 Premium | 78,49          | 4,8                   | 205,92  | 10.853,81          | 52,7           |
| MEL0172  | Destilaria        | 1   | 5              | 04    | 50      | 79,74          | 16.704,0          | W22Xdb IR3 Premium | 84,86          | 6,0                   | 221,76  | 7.936,53           | 35,8           |
| MEL0203  | Destilaria        | 1   | 5              | 04    | 60      | 81,92          | 19.512,0          | W22Xdb IR3 Premium | 84,73          | 3,3                   | 142,56  | 7.936,53           | 55,7           |
| MEL0532  | Destilaria        | 1   | 3              | 04    | 60      | 73,33          | 12.960,0          | W22Xdb IR3 Premium | 81,48          | 10,0                  | 285,12  | 6.612,35           | 23,2           |
| MEL0520  | Destilaria        | 1   | 10             | 04    | 31      | 75,98          | 22.032,0          | W22Xdb IR3 Premium | 81,01          | 6,2                   | 300,96  | 10.853,81          | 36,1           |
| MEL1061  | Destilaria        | 1   | 1              | 04    | 89      | 76,72          | 6.264,0           | W22Xec IR3 Premium | 85,58          | 10,3                  | 142,56  | 2.944,86           | 20,7           |
| MEL0482  | Destilaria        | 1   | 10             | 04    | 60      | 85,39          | 37.944,0          | W22Xdb IR3 Premium | 90,36          | 5,5                   | 459,36  | 10.853,81          | 23,6           |
| MEL0270  | Destilaria        | 1   | 10             | 04    | 60      | 80,79          | 40.104,0          | W22Xdb IR3 Premium | 88,93          | 9,2                   | 807,84  | 10.853,81          | 13,4           |
| MEL0189  | Secagem de Açúcar | 1   | 10             | 04    | 36      | 81,08          | 23.976,0          | W22Xtb IR3 Premium | 84,91          | 4,5                   | 237,60  | 11.629,28          | 48,9           |
| MEL0492  | Secagem de Açúcar | 1   | 50             | 04    | 5       | 59,68          | 22.320,0          | W22Xtb IR3 Premium | 61,46          | 2,9                   | 142,56  | 34.764,35          | 243,9          |
| MEL0623  | Destilaria        | 1   | 4              | 04    | 60      | 78,95          | 16.416,0          | W22Xec IR3 Premium | 88,24          | 10,5                  | 380,16  | 6.059,34           | 15,9           |
| MEL041   | Secagem de Açúcar | 1   | 20             | 06    | 60      | 87,29          | 74.232,0          | W22Xtb IR3 Premium | 89,02          | 1,9                   | 316,80  | 25.000,66          | 78,9           |
| MEL1047  | Destilaria        | 1   | 40             | 04    | 61      | 87,73          | 150.192,0         | W22Xec IR3 Premium | 90,42          | 3,0                   | 982,80  | 30.357,80          | 30,9           |

## ANEXO A – DESENHOS DE CLASSIFICAÇÃO DE ÁREA

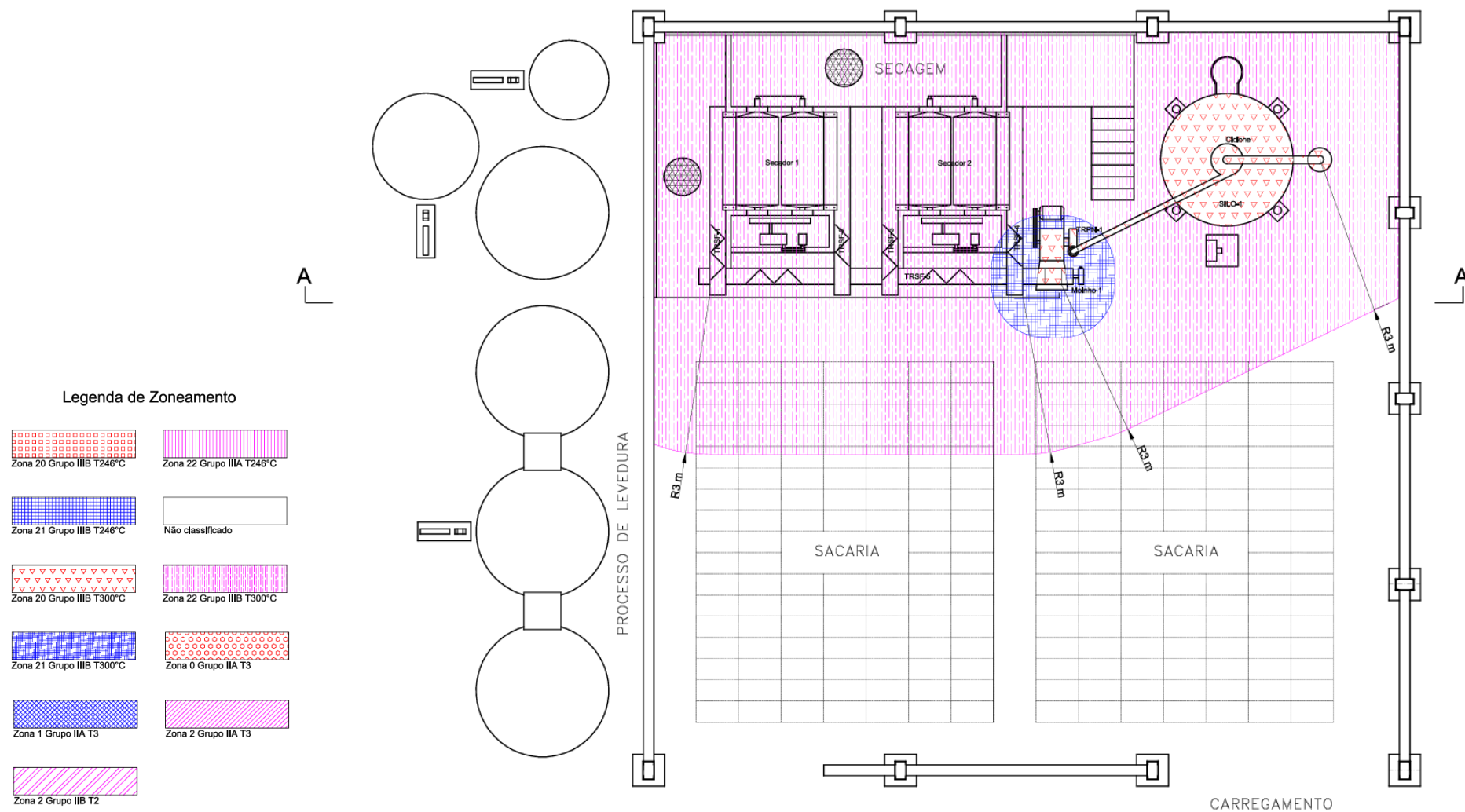
Setor de Destilaria



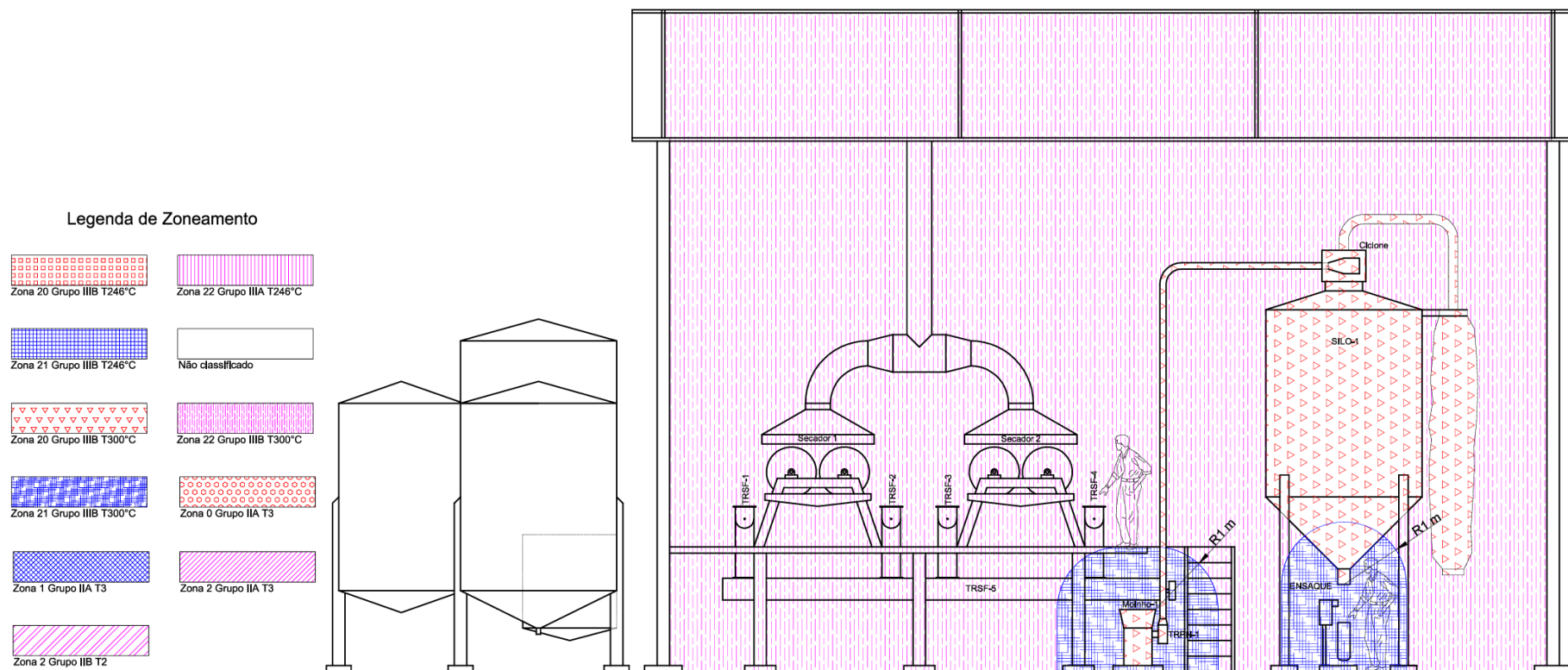
## Setor de Secagem de Açúcar



## Setor de Fabricação de Levedura Seca



## Corte A-A do Setor de Fabricação de Levedura Seca





## Fatura CEMIG de Consumo de Energia Elétrica referente a Março de 2023

| Classe Industrial      | Subclasse Industrial | Modalidade Tarifária | TUSD Livre A3 Azul | Anterior<br>28/02 | Datas de Leitura<br>Atual<br>31/03 | Nº de dias<br>31 | Próxima<br>30/04 |           |              |
|------------------------|----------------------|----------------------|--------------------|-------------------|------------------------------------|------------------|------------------|-----------|--------------|
| Valores Faturados      |                      |                      |                    |                   |                                    |                  |                  |           |              |
| Itens da Fatura        | Unid.                | Quant.               | Preço Unit. (R\$)  | Valor (R\$)       | PIS/COFINS                         | Base Calc. ICMS  | Aliq. ICMS       | ICMS      | Tarifa Unit. |
| Componente Fio HFP     | kW                   | 2.967                | 11,31400843        | 33.568,65         | 1.238,68                           | 33.568,65        | 18,00            | 6.042,35  | 8,86000000   |
| Componente Fio HP      | kW                   | 2.900                | 30,62188737        | 88.803,46         | 3.276,84                           | 88.803,46        | 18,00            | 15.984,62 | 23,98000000  |
| Componente Encargo HFP | kWh                  | 424.582              | 0,11842677         | 50.281,85         | 1.855,39                           | 50.281,85        | 18,00            | 9.050,73  | 0,09274000   |
| Componente Encargo HP  | kWh                  | 43.312               | 0,11842677         | 5.129,28          | 189,26                             | 5.129,28         | 18,00            | 923,27    | 0,09274000   |
| Energia Reativa HFP    | kWh                  | 25.827               | 0,31158217         | 8.047,20          | 296,93                             | 8.047,20         | 18,00            | 1.448,49  | 0,24400000   |
| Energia Reativa HP     | kWh                  | 1.764                | 0,31158217         | 549,61            | 20,27                              | 549,61           | 18,00            | 98,93     | 0,24400000   |
| TOTAL                  |                      |                      |                    | 186.380,05        | 6.877,37                           | 186.380,05       |                  | 33.548,39 |              |

|                    |                       |       |
|--------------------|-----------------------|-------|
| Demanda Fora Ponta | Grandezas Contratadas | 2.850 |
|                    | Demanda Ponta         | 2.850 |

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |  |  |  |  |  |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|--|--|--|--|
| Informações Gerais                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |  |  |  |  |  |
| RECIBO DE QUITAÇÃO DE DÉBITOS Nº 02/2023 A Cemig, em atendimento à Lei nº 12.007, de 29/07/09, declara quitados os débitos do cliente em referência (contrato 5012292420), relativos ao fornecimento de energia elétrica a esta unidade consumidora, referente aos vencimentos de 01/01/2018 a 31/12/2022, excetuando eventuais débitos que sejam posteriormente apurados diante de possível verificação de irregularidades ou de revisão de faturamento, que abrangam o período em questão. Tarifa vigente conforme Res Anel nº 3.046, de 21/06/2022. Conforme DECRETO Nº 48.093, DE 10 DE DEZEMBRO DE 2020, não será exigido o recolhimento do ICMS sobre a parcela de Demanda de Potência não utilizada |  |  |  |  |  |

| Histórico de Consumo |             |       |        |              |    |
|----------------------|-------------|-------|--------|--------------|----|
| Mês/Ano              | Demanda(kW) |       |        | Energia(kWh) |    |
|                      | HP          | HFP   | HP     | HFP          | HR |
| MAR/23               | 2.900       | 2.967 | 43.312 | 424.582      | 0  |
| FEV/23               | 506         | 870   | 16.339 | 208.359      | 0  |
| JAN/23               | 497         | 832   | 15.766 | 243.540      | 0  |
| DEZ/22               | 340         | 1.832 | 12.204 | 248.111      | 0  |
| NOV/22               | 0           | 1.897 | 0      | 15.009       | 0  |
| OUT/22               | 1.285       | 1.997 | 13.382 | 134.797      | 0  |
| SET/22               | 2.049       | 1.961 | 13.673 | 98.333       | 0  |
| AGO/22               | 1.728       | 2.091 | 7.408  | 25.761       | 0  |
| JUL/22               | 1.715       | 2.837 | 4.713  | 17.049       | 0  |
| JUN/22               | 2.321       | 2.850 | 9.219  | 59.082       | 0  |
| MAI/22               | 0           | 2.347 | 0      | 33.401       | 0  |
| ABR/22               | 2.118       | 2.897 | 22.644 | 335.740      | 0  |
| MAR/22               | 515         | 976   | 27.169 | 253.506      | 0  |

| Reservado ao Fisco |                       |              |             |
|--------------------|-----------------------|--------------|-------------|
|                    | Base de cálculo (R\$) | Aliquota (%) | Valor (R\$) |
| ICMS               | 186.380,05            | 18,00        | 33.548,39   |
| PASEP              | 152.831,66            | 0,80         | 1.222,62    |
| COFINS             | 152.831,66            | 3,70         | 5.654,75    |