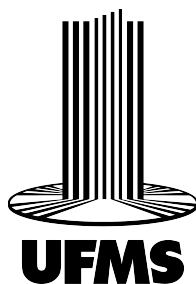


UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO DO SUL
FACULDADE DE ENGENHARIAS, ARQUITETURA E URBANISMO E GEOGRAFIA
CURSO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

Análise de Eficiência Energética e Enquadramento Tarifário com Ferramenta Computacional: Estudo de Caso em uma Agroindústria

Leonardo dos Santos Drexler

Campo Grande - MS
20 de Novembro de 2025



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO DO SUL
FACULDADE DE ENGENHARIAS, ARQUITETURA E URBANISMO E GEOGRAFIA
CURSO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

Análise de Eficiência Energética e Enquadramento Tarifário com Ferramenta Computacional: Estudo de Caso em uma Agroindústria

Leonardo dos Santos Drexler

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
como parte obrigatória para obtenção de grau de
Bacharelado em Engenharia Elétrica da Univer-
sidade Federal de Mato Grosso do Sul – UFMS.

Orientador: Prof. Dr. Cristiano Quevedo Andrea

Campo Grande - MS
20 de Novembro de 2025

Análise de Eficiência Energética e Enquadramento Tarifário com Ferramenta Computacional: Estudo de Caso em uma Agroindústria

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como parte obrigatória para obtenção de grau de Bacharelado em Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul – UFMS.

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Cristiano Quevedo Andrea

Prof. Dr. Jair de Jesus Fiorentino

Prof. Dr. Luigi Galotto Junior

Campo Grande - MS
20 de Novembro de 2025

Agradecimentos

Inicialmente, agradeço a todos os familiares que, mesmo de longe, estiveram me incentivando e colaborando para esta etapa da minha vida.

A minha mulher Lara Barbosa de Oliveira que sempre esteve presente e auxiliou a continuar e permanecer resiliente em minha graduação, como também em minha vida.

Aos meus pais, Vilmar Luiz Drexler e Rosely Aparecida dos Santos, minha eterna gratidão. Sem o auxílio e o apoio incondicional de vocês, indubitavelmente, não teria sido possível chegar a esta etapa de conclusão.

Agradeço o Professor Dr. Cristiano Quevedo Andrea por seu tempo e dedicação para à elaboração desta monografia, assim, como também a todos os professores que estiveram presentes em minha graduação.

Aos amigos feitos durante esse percurso, agradeço imensamente pela contribuição, parceria e pelos conhecimentos compartilhados, que foram essenciais para a elaboração deste trabalho.

Resumo

A eficiência energética é um conceito de suma importância para um desenvolvimento sustentável e econômico, impulsionando a constante busca por novas ferramentas e tecnologias. O trabalho apresentado tem como objetivo o desenvolvimento de um projeto de eficiência energética completo com o auxílio de uma ferramenta computacional de simulação de custos e enquadramento tarifário com linguagem de programação Python. A metodologia empregada baseia-se em dados reais de equipamentos, aplicados em uma simulação representativa de um ambiente industrial. O uso de referências bibliográficas, normas técnicas e regulamentadoras confere maior confiabilidade ao *software* desenvolvido. O uso do sistema demonstra a facilidade da obtenção dos resultados, proporcionando clareza e denotando as melhores ações para alcançar uma melhor economia e eficiência energética.

Palavras-chave: Eficiência energética, Tecnologias, Python, Economia.

Abstract

Energy efficiency is a concept of paramount importance for sustainable and economic development, driving the constant search for new tools and technologies. The work presented aims to develop a complete energy efficiency project with the aid of a computational tool for cost simulation and tariff classification using the Python programming language. The methodology employed is based on real equipment data, applied in a simulation representative of an industrial environment. The use of bibliographic references, technical and regulatory standards confers greater reliability to the developed software. The use of the system demonstrates the ease of obtaining results, providing clarity and indicating the best actions to achieve better energy savings and efficiency.

Keywords: Energy Efficiency, Technologies, Python, Economy.

Lista de ilustrações

Figura 1 –	Consumo (em GWh) de Energia Elétrica no Brasil.	11
Figura 2 –	Distribuição de Consumo de Eletricidade no Brasil em 2024.	12
Figura 3 –	Linha do Tempo das Políticas de Eficiência Energética.	16
Figura 4 –	Fluxograma Python	46
Figura 5 –	Comparação Entre o Consumo Mensal Antigo e o Novo.	49
Figura 6 –	Custo Mensal Cenário Antigo x Novo.	50
Figura 7 –	Melhor Modalidade Tarifária.	50
Figura 8 –	Demonstrativo Fatura Atual.	51
Figura 9 –	Demonstrativo Fatura Nova (<i>Retrofit</i>).	51
Figura 10 –	Viabilidade Financeira ACR.	52
Figura 11 –	Média Mensal do PLD (R\$/MWh) no Submercado Sudeste/Centro-Oeste - 2025.	53
Figura 12 –	Comparativo Cenário Antigo x <i>Retrofit</i> x <i>ACL</i>	53
Figura 13 –	Viabilidade ACL.	53
Figura 14 –	Selo Procel.	68
Figura 15 –	Planilha Utilizada na Simulação.	68

Lista de tabelas

Tabela 1	–	Estrutura de Componentes Tarifários (TE e TUSD).	19
Tabela 2	–	Tabela de Tarifas TUSD + TE - Grupo A (Azul).	22
Tabela 3	–	Tabela de Tarifas TUSD + TE - Grupo A (Verde).	22
Tabela 4	–	Tabela de Tarifas TUSD + TE - Modalidade Convencional Baixa Tensão.	23
Tabela 5	–	Tabela de Tarifas TUSD + TE - Modalidade Tarifa Branca (Grupo B).	23
Tabela 6	–	Nível de Rendimento Classe IE2 - Alto rendimento	29
Tabela 7	–	Nível de Rendimento Classe IE3 - <i>Premium</i>	30
Tabela 8	–	Levantamento de Ativos.	34
Tabela 9	–	Rotina de Trabalho e Horas de Uso	36
Tabela 10	–	Quadro de Cargas e Demanda Elétrica.	38
Tabela 11	–	Tabela de Tarifas e Encargos da Fatura de Energia A4 - Azul. . . .	39
Tabela 12	–	Tabela de Tarifas e Encargos da Fatura de Energia A4 - Verde. . .	39
Tabela 13	–	Dados do Cliente e Contrato.	39
Tabela 14	–	Consumo Mensal (Fora Ponta e Ponta).	40
Tabela 15	–	Demonstrativo de Faturamento de Energia Média 12 meses.	41
Tabela 16	–	Tabela Comparativa: Vapor Metálico vs. LED.	42
Tabela 17	–	Relação de Equipamentos Atualizados e Custo de Implementação. .	47
Tabela 18	–	Quadro de Cargas e Demanda Elétrica Atualizado.	48

Abreviações

ABRACEEL	Associação Brasileira dos Comercializadores de Energia
ACL	Ambiente de Contratação Livre
ACR	Ambiente de Contratação Regulado
AEE	Ações de Eficiência Energética
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
APE	Autoprodução de Energia
CCEE	Câmara de Comercialização de Energia Elétrica
CGEE	Comitê Gestor de Eficiência Energética
CNI	Confederação Nacional da Indústria
CONMETRO	Conselho Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial
CONPET	Programa Nacional da Racionalização do Uso dos Derivados do Petróleo e do Gás Natural
EMS	Energisa Mato Grosso do Sul
ENBPar	Empresa Brasileira de Participações em Energia Nuclear e Binacional
IEA	<i>International Energy Agency</i>
INMETRO	Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia
INPM	Instituto Nacional de Pesos e Medidas
LED	<i>Light Emitting Diode</i>
MME	Ministério de Minas e Energia
OPEX	Despesas Operacionais
PBE	Programa Brasileiro de Etiquetagem
PLD	Preço de Liquidação das Diferenças
PROCEL	Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica
SIN	Sistema Interligado Nacional
SINMETRO	Sistema Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial
TE	Tarifa de Energia Elétrica
TMA	Taxa Mínima de Atratividade
TUSD	Tarifa de Uso do Sistema de Distribuição
VPL	Valor Presente Líquido

Sumário

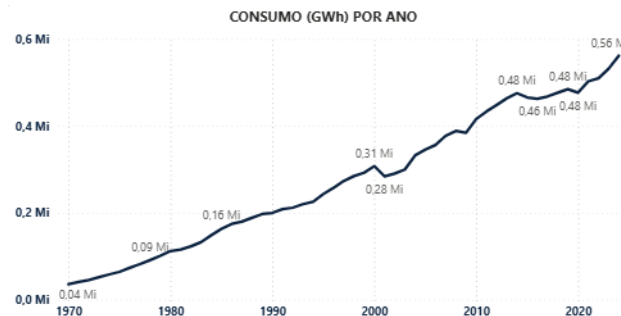
Abreviações	8
1 Introdução	11
1.1 Objetivo	12
1.1.1 Objetivo Geral	12
1.1.2 Objetivos Específicos	13
1.2 Organização do Trabalho	13
2 Revisão Bibliográfica	14
2.1 Eficiência Energética na Indústria	14
2.1.1 Modelagem técnica de eficiência energética	16
2.2 Estrutura Tarifária e Faturamento	19
2.2.1 Composição Tarifária	19
2.2.2 Grupos e Modalidades Tarifária	20
2.2.3 Faturamento Grupo A	24
2.3 Cargas e Tecnologias	27
2.3.1 Principais Cargas na Indústria	27
2.3.2 Níveis de Rendimento	28
2.3.2.1 Classe de rendimento IE1 - <i>Standard</i>	28
2.3.2.2 Classe de rendimento IE2 - Alto rendimento	29
2.3.2.3 Classe de rendimento IE3 - <i>Premium</i>	30
2.3.2.4 Classe de rendimento IE4 - <i>Super Premium</i>	31
2.3.2.5 Classe de rendimento IE5 - <i>Ultra Premium</i>	31
2.4 Mercado Livre de Energia	31
2.5 Ferramenta Computacional	32
3 Metodologia	33
3.1 Definição do Estudo de Caso	33
3.1.1 Caracterização da Indústria	33
3.1.2 Linha de Base Energética	35
3.2 Proposição das Ações de Eficiência Energética	41
3.2.1 Modernização do Sistema de Iluminação	41
3.2.2 Retrofit dos Motores Elétricos	42
3.2.3 Melhoria da Gestão Contratual	43

3.3	Análise e Critérios de Viabilidade	43
3.3.1	Análise de Viabilidade Econômica	44
3.3.2	Sistema Computacional para Análise Energética	45
4	Resultados	47
4.1	Equipamentos simulados	47
4.2	Resultados de Simulação	49
5	Conclusão	55
	Referências	57
	Apêndices	60
	APÊNDICE A Código	61
	Anexos	67
	ANEXO A Figuras.	68

1 Introdução

A energia elétrica tem um papel fundamental para a sociedade moderna e, com o passar dos anos, torna-se cada vez mais relevante. A necessidade de maiores quantidades de energia devido ao aumento da população e avanços tecnológicos (Inteligência Artificial, Carros elétricos etc...), conforme ilustrado na [Figura 1](#), impulsionaram a criação de novas fontes de geração e também novos conceitos de uso racional de energia, dentre os quais se destaca a eficiência energética.

Figura 1 – Consumo (em GWh) de Energia Elétrica no Brasil.



Fonte: ([EPE, 2024](#)).

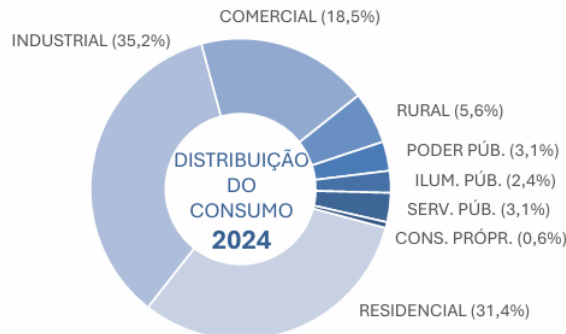
A eficiência energética tem como princípio o uso eficiente da energia, que pode ser definido como a capacidade de manter o nível de carga e utilizar a mesma quantidade de energia com uma menor quantidade de recursos, o qual também é descrito como a realização do mesmo trabalho com menor consumo. Em 1981, por meio da Portaria MIC/GM46, o Governo Federal iniciou políticas de eficiência energética, investindo e incentivando o setor elétrico ([EPE, 2024](#)).

Um dos programas de grande ênfase para a eficiência energética é o [Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica \(PROCEL\)](#), instituído em 30 de dezembro de 1985. O programa tem como objetivo promover conhecimento e conscientização sobre o uso eficiente da energia elétrica, contribuindo com um Brasil mais sustentável. Para ajudar os consumidores, o programa criou o selo PROCEL, que indica os equipamentos mais eficientes, onde até os dias de hoje, a obtenção do selo representa credibilidade e eficiência ([PROCEL, 1993](#)).

A busca por metodologias e tecnologias eficientes é realizada grande parte pelo setor industrial que conforme visto na [Figura 2](#), é responsável por 35,2% do consumo total do Brasil. Nesse contexto, a adoção de práticas eficientes não apenas promove um desenvolvimento sustentável, assim como também um menor impacto ambiental, redução do custo operacional e consequentemente, aumentando, a sua lucratividade, porém, segundo a [Confederação Nacional da Indústria \(CNI\)](#), 38% das máquinas e equipamentos

industriais estão próximas ou ultrapassaram o ciclo de vida recomendado, tendo em média 14 anos de vida (CNI, 2023).

Figura 2 – Distribuição de Consumo de Eletricidade no Brasil em 2024.



Fonte: (EPE, 2024).

Além disso, uma grande proporção de pequenas e médias indústrias não tem contratos de energia otimizados e, portanto, enfrentam custos elevados nas suas faturas de energia. Esses fatores ocorrem principalmente por mal dimensionamento da demanda ou enquadramento tarifário, sendo significativos para unidades consumidoras alocadas no grupo tarifário A.

Considerando essa problemática, é apresentado neste trabalho um estudo de caso de um cenário fictício o qual se baseia em parâmetros reais de potência/carga de uma indústria real de médio porte, no qual se desenvolve um projeto de eficiência energética com o auxílio de um *software* em linguagem de programação Python.

O projeto aborda como proposta a troca de equipamentos defasados, a adequação tarifária, dimensionamento correto das demandas e a migração da unidade para o Mercado Livre de Energia, cujo procedimentos operacionais são regidos principalmente pela Resolução Normativa nº 1.000/2021 e também procedimentos da [Câmara de Comercialização de Energia Elétrica \(CCEE\)](#). Desta forma, os resultados buscam demonstrar o impacto energético e financeiro de um estudo de eficiência energética no âmbito industrial.

1.1 Objetivo

1.1.1 Objetivo Geral

O trabalho tem como objetivo desenvolver um projeto de eficiência energética completo com o auxílio de um *software* em programação Python, o qual colabora para quantificar e demonstrar os resultados obtidos de forma visual e amigável. Por meio de inserção dos dados solicitados, o *software* demonstrará os custos, eficiência e a viabilidade do projeto por meio de cálculos financeiros.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Desenvolvimento de um sistema de simulação;
- Eficiência energética pela troca de equipamentos defasados;
- Adequação tarifária e demanda contratada;
- Viabilidade de migração para o Mercado Livre de Energia;
- Viabilidade do projeto;

1.2 Organização do Trabalho

Finalizada a contextualização e objetivos, o trabalho é organizado e estruturado da seguinte forma:

O Capítulo 1, descreve a contextualização do trabalho, o qual apresenta o tema central, introduz a problemática do estudo e os objetivos gerais e específicos.

O Capítulo 2, aborda a fundamentação teórica utilizada para o desenvolvimento do trabalho, como regulamentações, tarifas, Mercado Livre de Energia, linguagem de programação Python e equipamentos eficientes.

No Capítulo 3, é apresentada a metodologia do trabalho, onde é realizada a caracterização do cenário industrial hipotético, proposições de melhoria e ferramentas (análises).

No Capítulo 4, são demonstrados os resultados obtidos da simulação realizada.

No Capítulo 5, abordam-se as conclusões, pontos de melhoria e propostas de continuidade do trabalho. A parte final são apresentadas as referências utilizadas para o desenvolvimento do trabalho.

2 Revisão Bibliográfica

2.1 Eficiência Energética na Indústria

A energia elétrica está presente em todas as áreas, direta ou indiretamente, e a indústria é uma das áreas com maior consumo energético, como pode ser visto na [Figura 1](#). O alto consumo das indústrias vem dos equipamentos elétricos e sendo grande parte desses equipamentos defasados, com o ciclo de vida útil recomendado para melhor eficiência energética já ultrapassado, conforme detalhado pela Confederação Nacional da Indústria ([CNI, 2023](#)).

Devido à importância da energia elétrica e a necessidade do seu uso eficiente e consciente, o Governo Federal iniciou em 1981 com a Portaria MIC/GM46 políticas de eficiência energética que incentiva e investe no setor elétrico, o que gerou a criação de diversos programas de grande importância para o setor elétrico ([Figura 3](#)), sendo alguns deles detalhados a seguir ([EPE, 2024](#)).

- **INMETRO**

O [Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia \(INMETRO\)](#) é um dos programas criados pelas políticas de eficiência energética, vinculada ao Ministério do Desenvolvimento, Indústria, Comércio e Serviços. O [INMETRO](#) integra uma estrutura sistêmica e é responsável pela Secretaria Executiva do [Conselho Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial \(CONMETRO\)](#) (colegiado interministerial), que é o responsável normativo do [Sistema Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial \(SINMETRO\)](#).

O [CONMETRO](#), o [SINMETRO](#) e o [INMETRO](#) foram criados pela Lei nº 5.966, de 11 de Dezembro de 1973, o instituto teve como papel a substituição do [Instituto Nacional de Pesos e Medidas \(INPM\)](#), tem como objetivo fortalecimento de empresas nacionais, aumentar a produtividade por meio de ferramentas e mecanismos para melhoria da qualidade, segurança e confiabilidade dos produtos e serviços ([INMETRO, 2018](#)).

- **PROCEL**

O [PROCEL](#) é outro programa das políticas de eficiência energética do Governo Federal, sendo coordenado pelo [Ministério de Minas e Energia \(MME\)](#) e executado pela [Empresa Brasileira de Participações em Energia Nuclear e Binacional \(ENBPar\)](#). Foi instituído em 30 de Dezembro de 1985, pela Portaria Interministerial nº 1.877 e desde

então, o PROCEL contribui para aumentar a eficiência de bens e serviços, o que mantém em desenvolvimento hábitos e conhecimentos sobre a eficiência energética.

Com a Lei nº 13.280, de 03 de Maio de 2016, a qual alterou a Lei nº 9.991, de 24 de Julho de 2000, o programa começou a contar com o Plano Anual de Aplicação e Recursos (PAR) que é acompanhado pelo [Comitê Gestor de Eficiência Energética \(CGEE\)](#), proporcionando transparência e credibilidade aos investimentos realizados.

O [PROCEL](#) por meio do Decreto nº 9.863, de 27 de Junho de 2019, foi reafirmado na promoção das ações de eficiência energética elétrica na geração, transmissão e distribuição de energia, como também o usuário final, aumentando a competitividade do País, a eficiências energética dos produtos elétricos e redução de gases de efeito estufa ([Ministério de Minas e Energia \(MME\)](#), s.d).

- **PBE**

O [Programa Brasileiro de Etiquetagem \(PBE\)](#) é um programa de etiquetagem visando o desempenho dos produtos com foco na eficiência energética, com isso estimulando a competitividade e a inovação tecnológica, podendo ser utilizado como instrumento para aparelhos e equipamentos mais eficientes, seja para uso da energia elétrica e água, como também outros parâmetros como ruídos e segurança, o [PBE](#) é coordenado pelo [INMETRO](#).

Em relação à eficiência energética, o programa está de acordo com a Lei nº 10.295, de 17 de Outubro de 2001 (Lei de Eficiência Energética). O Inmetro com base na Lei de Eficiência Energética, começou exigir níveis mínimos de desempenho dos produtos que é estabelecido pelo [CGEE](#).

Os programas que se relacionam com o [PBE](#) sobre a eficiência energética são coordenados em parceria com o [Programa Nacional da Racionalização do Uso dos Derivados do Petróleo e do Gás Natural \(CONPET\)](#) e [PROCEL](#), portanto as iniciativas premiam os produtos que se desempenham com maior eficiência na etiquetagem do Inmetro ([INMETRO, 2013](#)).

- **ANEEL**

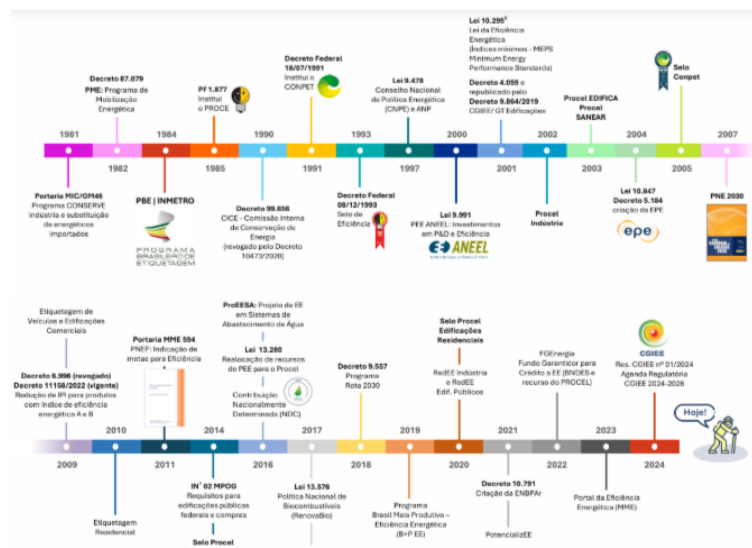
A [Agência Nacional de Energia Elétrica \(ANEEL\)](#) uma autarquia em um regime especial que é vinculada ao [MME](#), o que é um dos principais programas da linha de políticas energéticas, foi criada para regular todo o setor elétrico brasileiro, foi instituído por meio da Lei nº 9.427, de 26 de Dezembro de 1996 e do Decreto nº 2.335, de 6 de Outubro de 1997.

A ANEEL iniciou suas atividades em Dezembro de 1997 e tem como principais atribuições a regulação da geração, transmissão, distribuição e comercialização de energia elétrica; fiscalizar diretamente ou indireta por meio de parcerias com órgãos estaduais às concessões, permissões e serviços de energia elétrica; implementar políticas e diretrizes do Governo Federal em relação a exploração de energia elétrica e aproveitamento dos recursos energéticos; normativas envolvendo tarifas; intermediar divergências entre as esferas de agentes e consumidores; promover outorgas de concessão, permissão e autorização de empreendimentos e serviços de energia elétrica.

Em geral, a ANEEL é um dos principais órgãos de energia elétrica do Brasil, ou até mesmo o principal, pois, todos os assuntos que envolvem energia elétrica é regulamentado por este programa, com isso demonstrando a importância da agência e as políticas de eficiência energética (ANEEL, 2022a).

Esta seção detalha alguns dos principais programas desenvolvidos pelo Governo Federal em relação a energia elétrica, que visto na linha do tempo das políticas de eficiências energética (Figura 3) tem diversos programas que envolvem o uso racional e consciente da energia elétrica (EPE, 2024).

Figura 3 – Linha do Tempo das Políticas de Eficiência Energética.



Fonte: (EPE, 2024) - Atlas da Eficiência Energética

2.1.1 Modelagem técnica de eficiência energética

A maior parte da economia esperada do estudo vem da substituição dos equipamentos (exemplo: iluminação e motores elétricos), portanto a fórmula geral para identificar a economia é dada por:

$$\text{Economia}_{\text{kW}} = (P_{\text{antiga}} - P_{\text{nova}}) \quad (2.1)$$

Para a economia do consumo energético utiliza-se (2.1) multiplicado pelas horas de uso do equipamento (Tabela 9), o que resulta em:

$$\text{Economia}_{\text{kWh}} = (P_{\text{antiga}} - P_{\text{nova}}) \times \text{Horas de Uso} \quad (2.2)$$

Por meio de (2.3) encontramos o valor da economia em Reais (R\$) obtida com o novo consumo energético do equipamento. No caso desta demanda analisada, deve-se utilizar os valores de potência ativa sem a multiplicação pelas horas de uso, dado por:

$$\text{Economia}_{\text{R\$}} = (\text{Economia}_{\text{kWh}}) \times \text{Tarifa}_{\text{kWh(R\$)}} \quad (2.3)$$

$$\text{Economia}_{\text{R\$}} = (\text{Economia}_{\text{kW}}) \times \text{Tarifa}_{\text{kW(R\$)}} \quad (2.4)$$

- **Iluminação:**

A economia para a iluminação tem o mesmo princípio descrito em (2.2). Neste caso, calcula-se de forma direta tal parâmetro. Este fator pode ser visto na Seção 3.2.1, sendo a principal diferença de tecnologias mais novas é a eficiência da quantidade de Lumens por Watts (lm/W), portanto a equação para a iluminação é a Equação 2.5 e a economia em Reais (R\$) a Equação 2.6.

$$\text{Economia Iluminação}_{\text{kWh}} = (P_{\text{Vapor}} - P_{\text{LED}}) \times \text{Horas de Uso} \quad (2.5)$$

$$\text{Economia Iluminação}_{\text{R\$}} = (\text{Economia Iluminação}_{\text{kWh}}) \times \text{Tarifa}_{\text{kWh(R\$)}} \quad (2.6)$$

- **Motores elétricos:**

Diferentemente da iluminação e cargas simples, a análise dos motores elétricos tem outros fatores que devem ser levados em consideração, como o fator de potência e o rendimento (η) e que respectivamente elevam o custo de energia reativa e o outro no custo da energia (consumo e demanda).

O rendimento (η) tem grande relação com as perdas, que conforme (SOUZA; TRINDADE, 2022) é composta pelas perdas por efeito Joule no rotor (40%), perdas por efeito Joule no estator (40%), perdas por Histerese e Foucault (20%), perdas por atrito e ventilação (10%) e perdas adicionais (10%). Portanto, a atualização de motores elétricos de indução com maior eficiência tem o foco na redução das perdas aumentando o rendimento (η) e que pode ser calculada por (2.7).

$$\eta(\%) = \frac{\text{Potência Mecânica (kw)}}{\text{Potência Consumida (kw)}} \times 100 \quad (2.7)$$

A potência elétrica ($P_{\text{elétrica}}$), o que de fato é faturado pela concessionária, é uma relação entre a potência mecânica ($P_{\text{mecânica}}$) e o rendimento (η), sendo a $P_{\text{mecânica}}$ a potência útil de saída (potência que a carga exige em seu eixo), o qual é descrito em (2.8).

$$\text{Potência elétrica (kW)} = \frac{\text{Potência Mecânica (kW)}}{\eta(\text{rendimento})} \quad (2.8)$$

De acordo com (2.8), a economia de energia não vem da redução da potência do motor elétrico, mas do aumento do rendimento onde diminui as perdas elétricas, o qual reduz a potência consumida ($P_{\text{elétrica}}$) e consequentemente reduz o custo do **Consumo (kWh)** e **Demanda ativa (kW)**, o que pode ser observado por (2.9) e (2.10) respectivamente.

$$\text{Economia Consumo}_{\text{kWh}} = \left(\frac{P_{\text{mecânica}}}{\eta_{\text{antigo}}} - \frac{P_{\text{mecânica}}}{\eta_{\text{novo}}} \right) \times \text{Horas de Uso} \quad (2.9)$$

E para demanda:

$$\text{Economia Demanda}_{\text{kW}} = (P_{\text{Elétrica}}_{\text{antiga}} - P_{\text{Elétrica}}_{\text{nova}}) \quad (2.10)$$

O custo da economia é similar ao cálculo da iluminação, porém, a tarifa a ser utilizada é conforme as taxas da concessionária vigente e horários tarifários (Hora Ponta e Fora Ponta), neste trabalho, são as tarifas da [Energisa Mato Grosso do Sul \(EMS\)](#) e tarifas da [Tabela 11](#). Os valores encontrados nas equações 2.9 e 2.10, em conjunto com a [Tabela 11](#), são aplicados nas equações gerais 2.3 e 2.4.

Os motores elétricos de indução com melhor classe de rendimento como o IE3 - *Premium*, além do rendimento o fator de potência são superiores e bem próximo do esperado (0,92), uma fórmula simples de encontrar o fator de potência é por (2.11).

$$\text{FP} = \frac{P}{S} = \frac{\text{Potência Ativa (W)}}{\text{Potência Aparente (VA)}} \quad (2.11)$$

Para determinar o montante de energia reativa excedente (kVARh) causado por um baixo fator de potência, utiliza-se a fórmula da [Equação 2.12](#). Esta fórmula é baseada no Anexo VIII da Resolução Normativa nº 956, de 7 de Dezembro de 2021 ([ANEEL, 2021](#)).

$$\text{ERE (kVARh)} = \text{Consumo(kWh)} \times \left(\sqrt{\left(\frac{1}{FP_{\text{médio}}}\right)^2 - 1} - \sqrt{\left(\frac{1}{0,92}\right)^2 - 1} \right) \quad (2.12)$$

O custo da multa por energia reativa é dada por (2.13).

$$\text{Custo ERE}_{\text{R\$}} = (\text{ERE}_{\text{kVARh}}) \times \text{Tarifa kVARh}_{(\text{R\$})} \quad (2.13)$$

Em uma situação onde o fator de potência novo fique abaixo de 0,92, o sistema computacional utilizando o fator de potência atualizado dos motores elétricos, irá realizar os cálculos com as Equações (2.12) e (2.13) e irá trazer o valor de economia da energia reativa (kVARh). A correção da energia reativa se dá pela instalação de banco capacitores (QVar), porém, detalhado na Seção 3.2.2 o frigorífico irá estudar a instalação posteriormente.

2.2 Estrutura Tarifária e Faturamento

A estrutura tarifária é descrito pela Resolução Normativa ANEEL nº 1003, de 1 de Fevereiro de 2022 como um conjunto de regras e critérios que colaboram para o faturamento da energia elétrica pelas concessionárias de distribuição. É composta por diversos parâmetros que integram o custo, como incentivos, equilíbrio de custo entre os diversos consumidores e por fim todo o processo da energia elétrica: geração, transmissão e distribuição de energia elétrica (ANEEL, 2022c).

2.2.1 Composição Tarifária

A fatura de energia elétrica é composta por diversos critérios que é convertido em custo. Conforme o Quadro 1 da REN nº 1003, os componentes principais da composição tarifária para o grupo (A) são: (I) transporte da energia; (II) perdas do processo; (III) encargos e (IV) energia. Os componentes são divididos entre duas tarifas principais da fatura de energia elétrica, visto na Tabela 1. Todos os anos é realizado resoluções de reajuste e revisão tarifária para todos os grupos e subgrupos (ANEEL, 2022c).

Tabela 1 – Estrutura de Componentes Tarifários (TE e TUSD).

Tarifa de Energia Elétrica (TE)		(TUSD) Tarifa de Uso do Sistema de Distribuição			
Energia	Encargos	FIO A (TRANSMISSÃO)	FIO B (DISTRIBUIÇÃO)	Encargos	Perdas

Fonte: Adaptado de (ANEEL, 2022c).

A Tarifa de Energia Elétrica (TE) é definida nos processos de reajuste e revisão de cada concessionária de distribuição, sendo diferenciada para cada modalidade tarifária

e posto horário. A tarifa TE é dividida em duas componentes, a primeira parte é referente aos custos de energia elétrica que se relaciona com o lucro obtido pela concessionária de energia (distribuição, venda e manutenções) e a outra componente se relaciona com os encargos e tributos (ANEEL, 2022c).

Outro custo da energia elétrica é a [Tarifa de Uso do Sistema de Distribuição \(TUSD\)](#), os componentes regulatórios que formam são divididos em dois custos conforme visto na tarifa (TE) também, sendo um dos custos relacionados com os encargos, tributos perda nas linhas de transmissão e distribuição e por fim como o nome diz o custo relacionado com a transmissão da energia elétrica (FIO A e FIO B), que tem como base os custos operacionais, *payback* dos investimentos e deterioração da linha como um todo. Para cada enquadramento tarifário, subgrupo, modalidade tarifária e posto horário a tarifa se diferencia (ANEEL, 2022c).

2.2.2 Grupos e Modalidades Tarifária

O grupo tarifário, conforme definido pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), é uma classificação das unidades consumidoras de acordo com a tensão de fornecimento de energia elétrica. Há dois principais grupos sendo eles o Grupo A (média e alta tensão) e o Grupo B (baixa tensão). Entre os grupos principais à divisões de subgrupos (ANEEL, 2021):

- **Grupo A:** A1, A2, A3, A3a, A4 e AS.
- **Grupo B:** B1, B2, B3, B4.

Desta forma, segundo a Resolução Normativa nº 1.000/2021, define-se o Grupo A e seus subgrupos da seguinte forma:

XXIII - grupo A: grupamento composto de unidades consumidoras com conexão em tensão maior ou igual a 2,3 kV, ou atendidas a partir de sistema subterrâneo de distribuição em tensão menor que 2,3 kV, e subdividido nos seguintes subgrupos:

- a) subgrupo A1: tensão de conexão maior ou igual a 230 kV;
- b) subgrupo A2: tensão de conexão maior ou igual a 88 kV e menor ou igual a 138 kV;
- c) subgrupo A3: tensão de conexão igual a 69 kV;
- d) subgrupo A3a: tensão de conexão maior ou igual a 30 kV e menor ou igual a 44 kV;

e) subgrupo A4: tensão de conexão maior ou igual a 2,3 kV e menor ou igual a 25 kV; e

f) subgrupo A5: tensão de conexão menor que 2,3 kV, a partir de sistema subterrâneo de distribuição.

(ANEEL, 2021, art. 2º, inc. XXIII)

O grupo B é definido pela REN nº 1000/2021 da seguinte forma:

XXIV - grupo B: grupamento composto de unidades consumidoras com conexão em tensão menor que 2,3 kV e subdividido nos seguintes subgrupos:

a) subgrupo B1: residencial;

b) subgrupo B2: rural;

c) subgrupo B3: demais classes; e

d) subgrupo B4: Iluminação Pública.

(ANEEL, 2021, art. 2º, inc. XXIV)

A classificação destes grupos permitem as concessionárias de distribuição ajustar os preços de acordo com perfil de consumidores e adequar a tarifas específicas para cada grupo e suas condições de uso do sistema conforme detalhado pela REN nº 1000/2021 e o módulo 7 (Procedimentos de Regulação tarifária - PRORET) da REN nº 1003/2022 (ANEEL, 2022c).

As modalidades tarifárias são um conjunto de tarifas aplicadas ao consumo da energia elétrica e à demanda de potência ativa exigida pela unidade consumidora. A maior parte da aplicação destas modalidades é para o Grupo A (média e alta tensão) devido ao alto consumo e potência ativa (ANEEL, 2021).

- **Grupo A:**

Modalidade Horária Azul: Tarifas específicas de consumo e demanda, conforme as horas de utilização do dia (posto tarifário) disponível para todo os subgrupos (A). As tarifas vigentes utilizadas para o trabalho é vista na [Tabela 2](#).

Tabela 2 – Tabela de Tarifas TUSD + TE - Grupo A (Azul).

GRUPO	CLASSES	TUSD + TE					
		DEMANDA (R\$/kW)		ULTRAPASSAGEM		CONSUMO (R\$/kWh) BDV	
		PONTA	FORA PONTA	PONTA	F. PONTA	PONTA	FORA PONTA
A2 (88kV a 138kV)	SERVIÇO PÚBLICO	48,38	17,19	96,76	34,38	0,55662	0,38228
	RURAL	48,38	17,19	96,76	34,38	0,55662	0,38228
	RURAL IRRIGAÇÃO	48,38	17,19	96,76	34,38	0,55662	0,07645
	DEMAIS CLASSES	48,38	17,19	96,76	34,38	0,55662	0,38228
A3a (30 kV a 44kV)	SERVIÇO PÚBLICO	66,70	34,28	133,40	68,56	0,59644	0,42210
	RURAL	66,70	34,28	133,40	68,56	0,59644	0,42210
	RURAL IRRIGAÇÃO	66,70	34,28	133,40	68,56	0,59644	0,08442
	DEMAIS CLASSES	66,70	34,28	133,40	68,56	0,59644	0,42210
A3 (69 kV)	SERVIÇO PÚBLICO	62,34	21,63	124,68	43,26	0,56212	0,38778
	RURAL	62,34	21,63	124,68	43,26	0,56212	0,38778
	RURAL IRRIGAÇÃO	62,34	21,63	124,68	43,26	0,56212	0,07755
	DEMAIS CLASSES	62,34	21,63	124,68	43,26	0,56212	0,38778
A4 (13,8 kV)	SERVIÇO PÚBLICO	66,70	34,28	133,40	68,56	0,59644	0,42210
	RURAL	66,70	34,28	133,40	68,56	0,59644	0,42210
	RURAL IRRIGAÇÃO	66,70	34,28	133,40	68,56	0,59644	0,08442
	DEMAIS CLASSES	66,70	34,28	133,40	68,56	0,59644	0,42210

Fonte: Adaptado de (Energisa, 2024a).

Modalidade Horária Verde: Tarifas específicas de consumo e uma única tarifa de demanda de potência ativa, conforme as horas de utilização do dia (posto tarifário) disponível para os subgrupos **A3a**, **A4**, **AS**. As tarifas utilizadas é vista na [Tabela 3](#).

Tabela 3 – Tabela de Tarifas TUSD + TE - Grupo A (Verde).

GRUPO	CLASSES	TUSD + TE					
		DEMANDA (R\$/kW)		ULTRAPASSAGEM		CONSUMO (R\$/kWh) BDV	
		PONTA	FORA PONTA	PONTA	F. PONTA	PONTA	FORA PONTA
A3a (30 kV a 44kV)	SERVIÇO PÚBLICO	-	34,28	-	68,56	2,21553	0,42210
	RURAL	-	34,28	-	68,56	2,21553	0,42210
	RURAL IRRIGAÇÃO	-	34,28	-	68,56	2,21553	0,08442
	DEMAIS CLASSES	-	34,28	-	68,56	2,21553	0,42210
A4 (13,8 kV)	SERVIÇO PÚBLICO	-	34,28	-	68,56	2,21553	0,42210
	RURAL	-	34,28	-	68,56	2,21553	0,42210
	RURAL IRRIGAÇÃO	-	34,28	-	68,56	2,21553	0,08442
	DEMAIS CLASSES	-	34,28	-	68,56	2,21553	0,42210

Fonte: Adaptado de (Energisa, 2024a).

- **Grupo B:**

Modalidade tarifária Convencional: Tarifa única de consumo de energia elétrica, para os subgrupos **B1, B2, B3 e B4**, visto na [Tabela 4](#).

Tabela 4 – Tabela de Tarifas TUSD + TE - Modalidade Convencional Baixa Tensão.

TARIFA	CLASSES	CONSUMO (R\$/kWh)
B1	Residencial sem benefício	0,87017
	Residencial - Consumo até 30 kWh	0,26796
	Residencial- Consumo de 31 a 100 kWh	0,45937
	Residencial - Consumo de 101 a 220 kWh	0,68905
	Residencial - Consumo acima de 220 kWh	0,76562
B2	RURAL	0,87017
	RURAL IRRIGAÇÃO	0,28715
	COOPERATIVA DE ELETRIF. RURAL	0,87017
	SERVIÇO DE IRRIGAÇÃO	0,87017
B3	COMERCIAL SERVIÇOS E OUTROS	0,87017
	INDUSTRIAL	0,87017
	PODERES PÚBLICOS	0,87017
	SERVIÇO PÚBLICO	0,87017
	ILUMINAÇÃO PÚBLICA	-
B4	B4a - Rede de Distribuição	0,47859
	B4b - Bulbo da Lâmpada	0,52211

Fonte: Adaptado de ([Energisa, 2024a](#)).

Modalidade tarifária branca: Tarifa diferenciada de consumo de energia, conforme horas de uso (posto horário), com exceção dos subgrupos **B4 e classe baixa renda do B1** as tarifas são vistas na [Tabela 5](#).

Tabela 5 – Tabela de Tarifas TUSD + TE - Modalidade Tarifa Branca (Grupo B).

GRUPO	CLASSES	TUSD + TE (R\$/kWh)		
		PONTA	INTERIM.	FORA PONTA
B1	RESIDENCIAL	1,64504	1,07092	0,67113
B2	RURAL	1,74115	1,12858	0,69035
	RURAL IRRIGAÇÃO	1,74115	1,12858	0,22781
	COOPERATIVA DE ELETRIF. RURAL	1,74115	1,12858	0,69035
	SERVIÇO PÚBLICO DE IRRIGAÇÃO	1,74115	1,12858	0,69035
B3	COMERCIAL SERVIÇOS E OUTROS	1,83725	1,18624	0,70957
	INDUSTRIAL	1,83725	1,18624	0,70957
	PODERES PÚBLICOS	1,83725	1,18624	0,70957
	SERVIÇO PÚBLICO	1,83725	1,18624	0,70957

Fonte: Adaptado de ([Energisa, 2024a](#)).

O posto tarifário é o período de horas do dia que é utilizado para determinar **Horário ponta e Horário fora ponta**, onde o mesmo é determinado para aplicação de tarifas diferenciadas, considerando a seguinte divisão conforme REN nº 1000/2021 da [ANEEL](#).

XXXVIII - posto tarifário: período em horas para aplicação das tarifas de forma diferenciada ao longo do dia, considerando a seguinte divisão:

a) posto tarifário ponta: período composto por 3 horas diárias consecutivas definidas pela distribuidora considerando a curva de carga de seu sistema elétrico, aprovado pela ANEEL para toda a área de concessão ou permissão, não se aplicando aos sábados, domingos, terça-feira de carnaval, sexta-feira da Paixão, Corpus Christi e aos feriados nacionais dos dias 1º de janeiro, 21 de abril, 1º de maio, 7 de setembro, 12 de outubro, 2 de novembro, 15 de novembro, 20 de novembro e 25 de dezembro; (Redação dada pela REN ANEEL 1.101, de 27.08.2024);

b) posto tarifário intermediário: período de duas horas, sendo uma hora imediatamente anterior e outra imediatamente posterior ao horário de ponta, aplicado apenas para o grupo B; e

c) posto tarifário fora de ponta: período composto pelo conjunto das horas diárias consecutivas e complementares àquelas definidas nos postos ponta e, para o grupo B, intermediário.

([ANEEL](#), 2021, art. 2º, inc. XXXVIII)

2.2.3 Faturamento Grupo A

Esta seção apresenta o faturamento de energia elétrica do Grupo A no ambiente de contratação cativo, onde o cenário industrial hipotético do trabalho está inserida. A fatura apresenta alguns elementos principais que contribuem para o valor total em (R\$), sendo eles:

- Consumo da energia elétrica:
- Demanda de potência ativa:
- Encargos:
- Bandeira tarifária:
- Modalidade tarifária:

O consumo de energia elétrica é um dos principais componentes da fatura de energia, sendo ele diretamente relacionado com o uso dos equipamentos que de alguma forma

utiliza a energia elétrica, esta componente é medida em Quilowatts (kW), representando a quantidade de energia utilizada. Para o faturamento do consumo é realizado o cálculo do quilowatts - hora (kWh), conforme descrito em (2.14) e em seguida para o custo efetivo deve ser utilizado as tarifas de acordo com o enquadramento tarifário e posto horário. Em (2.15) e (2.16) é apresentado de forma geral o conceito do calculo do custo (R\$) para horário ponta e fora ponta com as tarifas estabelecidas pela distribuidora de energia elétrica (R\$/kWh) (ANEEL, 2021).

$$\text{Consumo}_{\text{kWh}} = \text{Potência}_{\text{kW}} \times \text{Horas de Uso} \quad (2.14)$$

$$\text{Custo}_{\text{Ponta}} = \text{Consumo}_{\text{kWh_P}} \times \text{Tarifa}_{\text{P}} \quad (2.15)$$

$$\text{Custo}_{\text{Fora Ponta}} = \text{Consumo}_{\text{kWh_FP}} \times \text{Tarifa}_{\text{FP}} \quad (2.16)$$

A gestão correta do consumo dos equipamentos tem grande impacto no custo final da fatura de energia elétrica, o qual como visto é um dos principais componentes. O *retrofit* de equipamentos de baixo rendimento, mudança de horário de utilização e medidas de eficiência energética podem trazer uma economia significativa (EPE, 2018).

A demanda de potência ativa é um componente importante no faturamento da energia, desempenhando um papel fundamental da estrutura da rede elétrica que a concessionária deve manter para um atendimento seguro e contínuo. Esta componente é visto de duas formas: demanda contratada e demanda faturada, sendo a primeira relacionada ao contrato de potência ativa máxima exigido pelo usuário durante um período de 15 minutos e a segunda relacionada com a demanda medida média demandada pelo usuário no período de 15 minutos, o que é a demanda efetivamente faturada.

O faturamento da demanda varia de acordo com o enquadramento tarifário do consumidor e das tarifas vigentes da concessionária de distribuição, porém, seguindo critérios estabelecidos pela ANEEL. A demanda faturada é encontrada pela comparação da demanda contratada exigida e a demanda média medida, com base nos critérios estabelecidos pela REN nº 1000/2021 e visto no conjunto de equações descritas a seguir (ANEEL, 2021):

$$D_{\text{FAT}} = D_C, \quad \text{se } D_{\text{MED}} < D_C \quad (2.17)$$

$$D_{\text{FAT}} = D_{\text{MED}}, \quad \text{se } D_C \leq D_{\text{MED}} \leq D_{T5\%} \quad (2.18)$$

$$D_{\text{FAT}} = D_{\text{MED}} + (D_{\text{UP}} = 2 \times (D_{\text{MED}} - D_C)), \quad \text{se } D_{\text{T5\%}} < D_{\text{MED}} \quad (2.19)$$

- D_{FAT} : Demanda refletida em custo (R\$) na fatura de energia elétrica;
- D_{MED} : Demanda consumida;
- D_{NC} : Demanda não consumida;
- D_C : Demanda contratada;
- D_{UP} : Demanda de ultrapassagem;
- $D_{\text{T5\%}}$: Tolerância de ultrapassagem de 5% do valor da demanda contratada.

O gerenciamento correto da demanda ativa (kW) é importante tanto quanto o consumo (kWh), pois, os dois refletem um grande custo na fatura de energia elétrica. Deste modo, encontrar um ponto ótimo de contratação de demanda ativa é essencial para um custo menor ([Comerc Energia, 2023](#)).

Encargos é outro componente do faturamento de energia elétrica, sendo visto direta e indiretamente como no caso dos encargos setoriais inseridos nas tarifas (TE) e (TUSD). Estas tarifas também contam com arrecadações de tributos federais como o Programa de Integração Social (PIS) e Contribuição para o Financiamento da Seguridade Social (COFINS); Tributos estaduais que se dão pelo Imposto sobre Operações relativas à Circulação de Mercadorias (ICMS); Tributos municipais com o Custeio do Serviço de Iluminação Pública (COSIP); Tributos moratórios por parte da concessionária de energia que consiste em multa, juros de mora e atualização monetária ([Energisa, 2024b](#)).

Bandeiras tarifárias é um tributo utilizado para informação e conscientização do uso da energia elétrica, apresentando as condições de geração e o custos que o envolvem. Devido a momentos de pouca geração como à escassez hídrica onde as hidrelétricas estão com baixo nível de água em sua represa, portanto necessitando o uso de outras fontes energéticas de maior custo (termoelétrica). Foram iniciadas em 2015 no Brasil, com o objetivo de incentivar a eficiência energética dos consumidores e apresentar de forma transparente a situação do [Sistema Interligado Nacional \(SIN\)](#). As bandeiras são divididas em quatro patamares, os quais são descritos pela [ANEEL](#) da seguinte forma ([ANEEL, 2022b](#)):

- **Bandeira Verde:** Condição favorável, sem acréscimo de tarifas.
- **Bandeira Amarela:** Condição de geração abaixo do favorável, pequeno acréscimo no consumo (kWh) de R\$ 0,01885.

- **Bandeira Vermelha I:** Condição de geração muito abaixo do favorável, acréscimo no consumo (kWh) de R\$ 0,04463.
- **Bandeira Vermelha II:** Condição de geração crítica, acréscimo no consumo (kWh) de R\$ 0,07877.

Um fator adicional considerado no faturamento de energia elétrica do Grupo A refere-se às modalidades tarifárias, detalhadas na Seção 2.2.2. As tarifas diferenciadas para as modalidades azul e verde estão apresentadas, respectivamente, nas Tabelas 2 e 3.

O custo de energia elétrica é composto por diversos fatores como descritos durante a seção 2.2.3, porém, de maneira geral o conjunto de equações em sequência apresenta a diferença do cálculo das modalidades **Azul** e **Verde**, conforme descrito a seguir:

Azul:

$$Custo_{Dem} = (D_{FAT_{FP}} \times Tar_{Dem_{FP}}) + (D_{FatP} \times Tar_{Dem_P}) \quad (2.20)$$

$$Custo_{Cons} = (E_{Cons_{FP}} \times Tar_{E_{FP}}) + (E_{ConsP} \times Tar_{E_P}) \quad (2.21)$$

$$Custo_{Mod} = Custo_{Dem} + Custo_{Cons} \quad (2.22)$$

Verde:

$$Custo_{Dem} = (D_{Fat} \times Tar_{Dem}) \quad (2.23)$$

$$Custo_{Cons} = (E_{Cons_{FP}} \times Tar_{E_{FP}}) + (E_{ConsP} \times Tar_{E_P}) \quad (2.24)$$

$$Custo_{Mod} = Custo_{Dem} + Custo_{Cons} \quad (2.25)$$

As equações (2.7) à (2.12) estão baseadas em normas estabelecidas pela ANEEL e para sua utilização é levado em conta todos os componentes de faturamento, como encargos setoriais da TUSD, TE e posto horários (ANEEL, 2021).

2.3 Cargas e Tecnologias

Nesta seção é apresentado as principais cargas da indústria, seus impactos no SIN e tecnologias superiores para uma melhor eficiência energética.

2.3.1 Principais Cargas na Indústria

O setor industrial é um dos maiores consumidores de energia do sistema elétrico brasileiro e grande parte desse impacto é relacionado com os motores elétricos. Descrito pela Norma Técnica nº 10005/2017, de 10 de Novembro de 2017, os motores correspondem a 25% de toda a energia consumida no Brasil e representa cerca de 68% a 70% da energia de uma indústria. Essas máquinas estão presentes em quase todo equipamento

industrial, como compressores, bombas de grande porte, serras industriais, fresadoras e entre diversos outros equipamentos (INMETRO, 2017).

O consumo energético restante de aproximadamente 30% é rateado entre todas as outras cargas do sistema, como iluminação, computadores, cargas leves entre outras. No contexto do objeto de estudo e detalhado pelo CNI, as máquinas e equipamentos industriais estão defasados e ultrapassados com uma média de 14 anos de vida (CNI, 2023). Ainda de acordo com a pesquisa realizada pelo INMETRO em 2012 ocorreu perdas de energia na ordem de Tera Watts x hora (tWh) no Brasil, ocasionadas por motores reconicionados (INMETRO, 2017).

Na intenção de reduzir perdas energéticas no Brasil, o governo desenvolveu diversas normas e regras que estabelecem níveis mínimos de rendimento para os motores elétricos. Em 8 de dezembro de 2005, a Portaria Interministerial nº 553 (Brasil, 2005) definiu a classe mínima de rendimento IE2 – Alto Rendimento. A Portaria Interministerial nº 1, de 29 de junho de 2017 (Brasil, 2017), elevou a classe mínima para IE3 – Premium, permanecendo esta normativa vigente.

2.3.2 Níveis de Rendimento

O nível de rendimento é um componente importante na eficiência energética, pois, como visto em (2.26), o aumento do rendimento (η) atrelado com as perdas do motor, faz com que se reduza a diferença entre a potência mecânica e a potência elétrica, o que torna o consumo menor e mais econômico. Estes níveis são classificados em cinco classes de rendimento: IE1 - *Standard*, IE2 - Alto rendimento, IE3 - *Premium*, IE4 - *Super Premium* e IE5 - *Ultra Premium*.

$$n(\%) = \frac{\text{Potência Elétrica (kW)} + \text{Perdas}}{\text{Potência Elétrica (kW)}} \cdot 100 \quad (2.26)$$

Os valores das classes de rendimentos e outros parâmetros estão regulados pelas normas ABNT NBR nº 7094/2000 (Brasil, 2005) e ABNT NBR nº 17.094-1/2017 (Brasil, 2017).

2.3.2.1 Classe de rendimento IE1 - *Standard*

A classe de rendimento IE1 (*Standard*) é o nível mais baixo e com a menor eficiência, são motores elétricos com tecnologia antiga, ultrapassados e não cumprem os níveis mínimos de rendimento estabelecidos pelas Portarias Interministeriais nº 553/2005 e nº 1/2017. Estes motores têm uma média de rendimento (η) na faixa de 80% (SOUZA; TRINDADE, 2022).

2.3.2.2 Classe de rendimento IE2 - Alto rendimento

Pela portaria nº 553/2005 estabeleceu a classe IE2 - Alto rendimento como nível mínimo exigido para os motores elétricos que entrou em vigor a partir de 12 de dezembro de 2009. Os níveis de rendimento da classe IE2 é apresentado na [Tabela 6 \(Brasil, 2005\)](#).

Tabela 6 – Nível de Rendimento Classe IE2 - Alto rendimento

Potência nominal		Polos			
cv ou hp	kW	2	4	6	8
1,0	0,75	80,0	80,5	80,0	70,0
1,5	1,1	82,5	81,5	77,0	77,0
2,0	1,5	83,5	84,0	83,0	82,5
3,0	2,0	85,0	85,0	83,0	84,0
4,0	3,0	85,0	86,0	85,0	84,5
5,0	3,7	87,5	87,5	87,5	85,5
6,0	4,5	88,0	88,5	87,5	85,5
7,5	5,5	88,5	89,5	88,0	85,5
10	7,5	89,5	89,5	88,5	88,5
12,5	9,2	89,5	90,0	88,5	88,5
15	11	90,2	91,0	90,2	88,5
20	15	90,2	91,0	90,2	89,5
25	18,5	91,0	92,4	91,7	89,5
30	22	91,0	92,4	91,7	91,0
40	30	91,7	93,0	93,0	91,0
50	37	92,4	93,0	93,0	91,7
60	45	93,0	93,6	93,6	91,7
75	55	93,0	94,1	93,6	93,0
100	75	93,6	94,5	94,1	93,0
125	90	94,5	94,5	94,1	93,6
150	110	94,5	95,0	95,0	93,6
175	132	94,7	95,0	95,0	-
200	150	95,0	95,0	95,0	-
250	185	95,4	95,0	-	-

Fonte: Adaptado de ([Brasil, 2005](#)).

2.3.2.3 Classe de rendimento IE3 - *Premium*

A classe IE3 (*Premium*) é atualmente a exigência mínima de rendimento para motores elétricos, trazendo uma redução no consumo de energia elétrica superior as outras classes anteriores. Esta classe foi estabelecida pela Portaria Interministerial nº 1/2017 que conforme a [Tabela 7](#), é visto o rendimento nominal mínimo.

Tabela 7 – Nível de Rendimento Classe IE3 - *Premium*

Potência nominal		Polos			
cv ou hp	kW	2	4	6	8
0,16	0,12	62,0	66,0	64,0	59,5
0,25	0,18	65,6	69,5	67,5	64,0
0,33	0,25	69,5	73,4	69,0	68,0
0,50	0,37	73,4	78,2	75,3	72,0
0,75	0,55	76,8	79,0	79,5	74,0
1	0,75	80,5	83,5	82,5	75,5
1,5	1,1	84,0	86,5	87,5	78,5
2	1,5	85,5	86,5	88,5	84,0
3	2,2	86,5	89,5	89,5	85,5
4	3	88,5	89,5	89,5	86,5
5	3,7	88,5	89,5	89,5	86,5
6	4,4	88,5	89,5	89,5	86,5
7,5	5,5	89,5	91,7	91,0	86,5
10	7,5	90,2	91,7	91,0	89,5
12,5	9,2	91,0	92,4	91,7	89,5
15	11	91,0	92,4	91,7	89,5
20	15	91,0	93,0	91,7	90,2
25	18,5	91,7	93,6	93,0	90,2
30	22	91,7	93,6	93,0	91,7
40	30	92,4	94,1	94,1	91,7
50	37	93,0	94,5	94,1	92,4
60	45	93,6	95,0	94,5	92,4
75	55	93,6	95,4	94,5	93,6
100	75	94,1	95,4	95,0	93,6
125	90	95,0	95,4	95,0	94,1
150	110	95,0	95,8	95,8	94,1
175	132	95,4	96,2	95,8	94,5
200	150	95,4	96,2	95,8	94,5
250	185	95,8	96,2	95,8	95,0
300	220	95,8	96,2	95,8	95,0
350	260	95,8	96,2	95,8	95,0
400	300	95,8	96,2	95,8	95,0
450	330	95,8	96,2	95,8	95,0
500	370	95,8	96,2	95,8	95,0

Fonte: Adaptado de ([Brasil, 2017](#)).

2.3.2.4 Classe de rendimento IE4 - Super *Premium*

Os modelos com esta tecnologia atendem os parâmetros mais alto de eficiência energética, oferecendo uma redução de perdas entre 20% a 40%. Os motores com a classe de rendimento IE4 - Super *Premium* ultrapassa em um nível o mínimo exigido, portanto sendo crucial para ambientes que buscam um nível superior de eficiência energética (SOUZA et al., 2021).

2.3.2.5 Classe de rendimento IE5 - *Ultra Premium*

O nível mais alto de eficiência atualmente disponível no mercado está presente, em sua maioria, em motores síncronos de ímã permanente (MSIP) e motores síncronos de relutância (MSREL), podendo, conforme estudos, atingir ou ultrapassar os níveis IE4 e IE5. De forma geral a classe de rendimento IE5 - *Ultra Premium* ultrapassa dois níveis de rendimento mínimo e consegue patamares de redução de 20% em relação a classe IE4 - *Super Premium* (SOUZA et al., 2021).

2.4 Mercado Livre de Energia

O Mercado Livre de Energia é um ambiente de contratação de energia elétrica que permite o consumidor negociar valores diretamente com geradores e comercializadores, possibilitando a obtenção de valores mais competitivos. A contratação deste tipo de ambiente contratual era restrito para grandes consumidores, porém, com a abertura em 2024 todos os consumidores do Grupo A (média e alta tensão) receberam a permissão de negociação no [Ambiente de Contratação Livre \(ACL\)](#) (CCEE, 2024).

De acordo com a [Associação Brasileira dos Comercializadores de Energia \(ABRACEEL\)](#) 80% da energia consumida pelas indústrias está alocada no Mercado Livre de Energia [ACL](#), demonstrando a viabilidade da migração devido a competitividade do mercado e negociações diretamente com a geradora ou comercializadora. A associação também cita o funcionamento do Mercado Livre de Energia de seguinte forma:

Produtores entregam e recebem energia ao sistema, em seu centro de gravidade, assumido parcela das perdas entre o ponto de geração e este centro de gravidade. Consumidores, de forma análoga, entregam e recebem energia ao sistema, em seu centro de gravidade, assumido parcela das perdas entre este centro de gravidade e o ponto de consumo. O sistema garante oferta e qualidade do produto. Diferenças entre o contratado e o produzido ou consumido são liquidadas pelo Preço de Liquidação de Diferenças (PLD), definido em 4 submercados e 3 patamares de carga,

por modelo computacional. Esta liquidação é feita pela CCEE. Contratos protegem os agentes do preço de curto prazo e são obrigatórios para 100% da carga, sem restrições de prazo no caso do mercado livre. Contratos podem ser registrados após a medição do consumo efetivo. A não comprovação, além da exposição ao pagamento do PLD, implica no pagamento de penalidades para falta de lastro de contratos de energia e potência.

(ABRACEEL, 2025)

Devido a esses fatores, a migração do [Ambiente de Contratação Regulado \(ACR\)](#) para o [ACL](#) pelos consumidores do Grupo A aparenta ser vantajosa, sendo necessária a realização de uma simulação para verificar sua viabilidade.

2.5 Ferramenta Computacional

Para o desenvolvimento da ferramenta computacional foi utilizado a linguagem de programação Python, o que é considerada uma linguagem de alto nível, código aberto, conhecida globalmente por sua versatilidade e fácil uso. De forma técnica pode ser definida como uma linguagem interpretada, orientada a objetos, funcional, tipada e de *script*. Por sua facilidade de uso, versatilidade e gratuidade, o Python tornou-se uma das linguagens de programação mais populares da atualidade. (Python Software Foundation, 2025).

A programação orientada a objetos permite estruturação de código organizado, modulados e reutilizável e os objetos podem ser definidos como instâncias de classes que apresenta os atributos e os métodos. Esse conceito favorece a reutilização do código, o encapsulamento dos dados e torna a estrutura lógica do programa mais limpa e eficiente. (MELO et al., 2019).

O Python oferece diversos recursos, *frameworks* e suporte multiplataforma (*mobile*, *web*, *desktop*, entre outros). Devido à sua popularidade, conta com inúmeras bibliotecas desenvolvidas e aprimoradas pela comunidade, o que facilita seu uso, amplia suas funcionalidades e possibilita a obtenção de resultados avançados e complexos por meio de módulos prontos. (Didática Tech, 2024).

3 Metodologia

Este estudo tem como objetivo realizar a análise da eficiência energética de uma indústria. Para isso, adota-se um metodologia estruturada em etapas, conforme visto a seguir:

- Etapa 1: Apresentação do problema e do objeto de estudo;
- Etapa 2: Apresentação das propostas de melhoria.
- Etapa 3: Análises, critérios e ferramentas;

3.1 Definição do Estudo de Caso

A energia elétrica representa uma parcela significativa dos custos de uma indústria, exigindo uma gestão que vai além do pagamento da fatura. A utilização de equipamentos eficientes e contratos de fornecimento adequados são fatores cruciais para redução de custos e aumento de saúde financeira. O estudo baseia-se em um cenário fictício, antigo e defasado, sem a adoção de práticas de gestão de eficiência energética. A partir desse contexto, propõem-se melhorias nos equipamentos, adequações contratuais e a análise da viabilidade do ambiente de contratação, por meio do desenvolvimento de um sistema em Python voltado ao auxílio em cálculos e simulações futuras.

3.1.1 Caracterização da Indústria

O Frigorífico Pantanal (Cenário fictício) é uma empresa familiar de médio porte fundada em 2007 nas redondezas de Campo Grande, Mato Grosso do Sul. O início do empreendimento se teve pela origem pecuarista da família, que na intenção de valorizar a matéria-prima, optou-se na fundação de uma planta de abate, desossa e processamento de bovinos.

O crescimento da planta foi orgânico e modesto até meados de 2020, e com novos contratos, a demanda aumentou significativamente, tornando-se necessário o melhoramento do setor de processamento e o aumento da grade de funcionários. O faturamento bruto da empresa aumentou significativamente, mas com o decorrer do tempo, o faturamento líquido (lucro) diminuiu, sendo o principal vilão os custos operacionais.

Com foco em aumentar a lucratividade e reduzir as **Despesas Operacionais (OPEX)**, a gestão identificou um impacto significativo nos custos de energia elétrica. A partir disso, foram levantados os dados dos ativos consumidores ([Tabela 8](#)) e verificada a viabilidade

de realizar *retrofit* em diversos equipamentos de baixa eficiência. A empresa sempre priorizou a manutenção e rebobinamento dos motores já instalados e com isso reduzindo a eficiência e consequentemente aumentando o custo.

Tabela 8 – Levantamento de Ativos.

Setor	Equipamentos	Qtd.	Potência	Ano	Tipo
Refrigeração	Compressor 1	1	150 CV	2007	IE1 (rebobinado)
	Compressor 2	1	150 CV	2007	IE1 (rebobinado)
	Bomba de água	2	15 CV	2016	IE2 - Alto rendimento
	Ventiladores (cond.)	4	10 CV	2016	IE2 - Alto rendimento
	Ventiladores (Câm. Fria)	20	2 CV	2016	IE2 - Alto rendimento
	Iluminação	15	400 W	2007	Vapor metálico
Abate e Desossa	Serra de corte	3	5 CV	2007	IE1 - <i>Standard</i>
	Esteira de desossa	3	3 CV	2007	IE1 - <i>Standard</i>
	Transporte Aéreo	1	15 CV	2007	IE1 (rebobinado)
	Iluminação	25	400 W	2007	Vapor metálico
Processo	Moedor de Carne	1	20 CV	2020	IE3 - <i>Premium</i>
	Embaladora a vácuo	1	10 CV	2020	IE3 - <i>Premium</i>
	Iluminação	20	40 W	2020	LED
Utilidades / Limpeza	Compressor de ar	1	50 CV	2007	IE1 (rebobinado)
	Bomba de Alta pressão	2	10 CV	2007	IE1 (rebobinado)
	Iluminação	10	400 W	2007	Vapor metálico
ADM e Apoio	Ar Condicionado	3	1500 W	2020	<i>Inverter</i>
	Equipamentos ADM	Lote	Diversos	2020	Diversos
	Iluminação	18	15 W	2020	LED

Fonte: Autor.

Para voltar a ter competitividade, a empresa optou inicialmente no melhoramento da parte de eficiência energética, que como visto nos dados da gestão, há diversos equipamentos para *retrofit* e possível ajustes de contrato de faturas de energia elétrica. Para isso foi repassado à uma consultoria de que tratará das prospecções energéticas.

3.1.2 Linha de Base Energética

Para o desenvolvimento do projeto de eficiência energética na empresa, a consultoria levantou os seguintes dados:

- Rotina de trabalho e funcionamento dos equipamentos;
- Quadro geral de análise de cargas e demanda;
- Faturas de energia elétrica.

Em primeiro momento, é apresentado a rotina de trabalho e funcionamento dos equipamentos, o qual traz informações importantes para um correto dimensionamento de contrato de energia elétrica.

O frigorífico opera sob um **regime de trabalho contínuo, 24 horas por dia, 7 dias por semana**. A produção nunca para, e o fluxo das tarefas é dividido em 3 turnos (manhã, tarde e noite).

- **Turno 1 (Manhã):** Recepção do gado, abate, desossa inicial e separação de cortes (horário 02:00hr às 10:00hr);
- **Turno 2 (Tarde):** Desossa, processamento dos cortes especiais, embalagem e preparação para o armazenamento (horário 10:00hr às 18:00hr);
- **Turno 3 (Noite):** Processamento de cortes comuns, limpeza e higienização da unidade, preparação das câmaras frias e armazenagem dos produtos, se necessário manutenção preventiva (horário 18:00hr às 02:00hr).

O funcionamento dos equipamentos é bastante interligado com os turnos de trabalho, o qual pode ser visto na [Tabela 9](#).

Tabela 9 – Rotina de Trabalho e Horas de Uso

Setor	Equipamentos	Horas / Dia	Dias / Semana	Total Horas / Semana	Observações Simplificadas
Refrigeração	Compressor 1 e 2	24	7	168	(Todos os Turnos) - Operação contínua da cadeia do frio.
	Bomba de água	24	7	168	(Todos os Turnos) - Suporte ao sistema de refrigeração.
	Ventiladores (cond. e Câm. Fria)	24	7	168	(Todos os Turnos) - Circulação e condensação do ar.
	Iluminação (Ná-quinhas)	24	7	168	(Todos os Turnos) - Iluminação.
Abate e Desossa	Serra de corte	16	7	112	(Turno 1 e 2) - Operação principal durante o abate.
	Esteira de desossa	16	7	112	(Turno 1 e 2) - Processo contínuo de desossa.
	Transporte Aéreo	16	7	112	(Turno 1 e 2) - Movimentação de carcaças.
	Iluminação	24	7	168	(Todos os Turnos) - Iluminação para produção e limpeza.
Processamento	Moedor de Carne	16	7	112	(Turno 2 e 3) - Processamento de cortes e sub-cortes.
	Embaladora a vácuo	16	7	112	(Turno 2 e 3) - Embalagem de produtos.
	Iluminação	24	7	168	(Todos os Turnos) - Iluminação para produção e limpeza.
Utilidades / Limpeza	Compressor de ar	24	7	168	(Todos os Turnos) - Ferramentas, automação e limpeza.
	Bomba de Alta pressão	8	7	56	(Turno 3) - Limpeza e higienização pesada.
	Iluminação	24	7	168	(Todos os Turnos) - Iluminação de áreas de acesso.
ADM e Apoio	Ar Condicionado	12	5	60	(Turno 1 e 2) - horário ADM 06:00hr às 18:00hr.
	Equipamentos ADM	12	5	60	(Turno 1 e 2) - horário ADM 06:00hr às 18:00hr.
	Iluminação	12	5	60	(Turno 1 e 2) - horário ADM 06:00hr às 18:00hr.

Fonte: Autor.

Para a elaboração do quadro geral de análise de cargas e demanda da indústria fictícia, os parâmetros de rendimento e fator de potência dos motores elétricos foram estimados com base em seu ano de fabricação, classe de rendimento e operação e alinhamento com a legislação em vigor na data de aquisição. Os motores mais antigos, fabricados em 2007 com classe de rendimento IE1, tiveram seus parâmetros ajustados para refletir a vida útil e as perdas do processo de rebobinagem. Estudos indicam que motores antigos com rendimento IE1 podem operar com rendimentos em patamares próximos de 80% (SOUZA; TRINDADE, 2022).

Desta forma, para os equipamentos rebobinados, adotou-se um rendimento médio de 80% e 82% para os não rebobinados, sendo ambos com fator de potência de 0,80.

Os equipamentos instalados em 2016 já refletem a primeira grande atualização na legislação de eficiência energética. Estes motores tem como rendimento mínimo à classe de rendimento IE2 - Alto Rendimento, conforme estabelecido pela Portaria Interministerial nº 553, de 8 de dezembro de 2005 (Brasil, 2005). Portanto, adotou-se valores ligeiramente menores que o mínimo devido ao tempo de operação dos equipamentos e com fator de potência médio 0,88.

Por fim, os motores instalados em 2020, seguem o padrão mínimo de rendimento atual, a classe IE3 - Premium . A obrigatoriedade de comercialização de motores com este rendimento foi instituída pela Portaria Interministerial nº 1, de 29 de junho de 2017 e que entrou em vigor 30 de agosto de 2019 (Brasil, 2017).

O quadro de análise de cargas e demanda apresenta o levantamento detalhado das cargas da instalação, consolidando informações sobre potência, rendimento e fator de potência, conforme mostrado na Tabela 10. Os dados teóricos são valiosos para análise da eficiência energética, principalmente na comparação com as informações obtidas das faturas de energia elétrica.

Tabela 10 – Quadro de Cargas e Demanda Elétrica.

Setor	Nome	Unid.	Potência Unitária	Potência Total (kW)	Potência Total (kVA)	FD	FP	$\eta = \text{Rend. (\%)}$	Demanda (kW)
Refrigeração (QGR)	Compressor Para-fuso 1	1	150 CV	138,0 kW	172,5 kVA	0,9	0,80	80 %	124,2 kW
	Compressor Para-fuso 2	1	150 CV	138,0 kW	172,5 kVA	0,9	0,80	80 %	124,2 kW
	Bomba de água (condensador)	2	15 CV	24,5 kW	30,3 kVA	0,9	0,81	90 %	22,08 kW
	Ventiladores (condensador)	4	10 CV	33,1 kW	40,3 kVA	0,9	0,82	89 %	29,77 kW
	Ventiladores (Câmara fria)	20	2 CV	35,5 kW	45,5 kVA	0,9	0,78	83 %	31,92 kW
	Iluminação (máquinas)	15	400 W	6,0 kW	6,4 kVA	1	0,94	-	6,0 kW
Abate e Desossa (QGAD)	Serra de corte	3	5 CV	13,5 kW	18 kVA	0,7	0,75	82 %	9,42 kW
	Esteira de desossa	3	3 CV	8,1 kW	10,2 kVA	0,7	0,79	82 %	5,65 kW
	Transporte Aéreo (NOREA)	1	15 CV	13,8 kW	17,3 kVA	0,7	0,8	80 %	9,67 kW
	Iluminação (produção)	25	400 W	10,0 kW	10,6 kVA	1	0,94	-	10 kW
Processamento (QGP)	Moedor de Carne	1	20 CV	15,8 kW	19,5 kVA	0,7	0,81	93 %	11,1 kW
	Embaladora a vácuo	1	10 CV	8,0 kW	9,6 kVA	0,7	0,84	91,7 %	5,62 kW
	Iluminação (processamento)	20	40 W	0,8 kW	0,8 kVA	1	0,98	-	0,8 kW
Utilidades / Limpeza (QGUL)	Compressor de ar	1	50 CV	46,0 kW	57,5 kVA	0,7	0,80	80 %	32,2 kW
	Bomba de Alta pressão	2	10 CV	18,4 kW	23 kVA	0,7	0,80	80 %	12,88 kW
	Iluminação (pátio)	10	400 W	4,0 kW	4,3 kVA	1	0,94	-	4 kW
Administrativo e Apoio (QGAA)	Ar Condicionado (escritórios)	3	1500 W	4,5 kW	4,6 kVA	0,7	0,98	-	3,2 kW
	Equipamentos escritórios	Lote	Diversos equipamentos	5,0 kW	5,2 kVA	0,7	0,96	-	3,5 kW
	Iluminação (escritórios)	18	15 W	0,27 kW	0,3 kVA	1	0,98	-	0,27 kW
TOTAIS				523,25 kW	648,29 kVA	-	-	-	446,41 kW

Fonte: Autor.

Em finalização da linha de base energética foi realizado um levantamento das faturas de energia elétrica durante um período de 12 meses. Nas Tabelas 11 e 12 são mostrados os valores das tarifas/encargos para a modalidade tarifária A4 - Azul e A4 - Verde respectivamente, para o ano de 2024.

Tabela 11 – Tabela de Tarifas e Encargos da Fatura de Energia A4 - Azul.

TARIFAS E ENCARGOS DA FATURA DE ENERGIA (AZUL)				
Demanda	Demanda - Ponta	R\$ 66,70	Demanda - Fora Ponta	R\$ 34,28
	Ultrapassagem - Ponta	R\$ 133,40	Ultrapassagem - Fora Ponta	R\$ 68,56
Consumo - Energia (TE)	Consumo - Ponta (TE)	R\$ 0,48885	Consumo - Fora Ponta (TE)	R\$ 0,31451
Consumo - Distribuição (TUSD)	Consumo - Ponta (TUSD)	R\$ 0,10759	Consumo - Fora Ponta (TUSD)	R\$ 0,10759
Energia Reativa	Tarifa (kVARh)	R\$ 0,33048	-	
COSIP	Valor Fixo Municipal	R\$ 302,69	-	
Bandeira	Verde	-	-	
	Amarela	R\$ 0,01885	-	
	Vermelha I	R\$ 0,04463	-	
	Vermelha II	R\$ 0,07877	-	
PIS	Incide no Custo de Fornecimento	0,67%	-	
COFINS	Incide no Custo de Fornecimento	3,07%	-	
ICMS	Incide no Custo de Fornecimento	17%	-	

Fonte: Adaptado de (Energisa, 2024a; Energisa, 2024b).

Tabela 12 – Tabela de Tarifas e Encargos da Fatura de Energia A4 - Verde.

TARIFAS E ENCARGOS DA FATURA DE ENERGIA (VERDE)				
Demanda	Demanda - Ponta	-	Demanda - Fora Ponta	R\$ 34,28
	Ultrapassagem - Ponta	-	Ultrapassagem - Fora Ponta	R\$ 68,56
Consumo - Energia (TE)	Consumo - Ponta (TE)	R\$ 0,48885	Consumo - Fora Ponta (TE)	R\$ 0,31451
Consumo - Distribuição (TUSD)	Consumo - Ponta (TUSD)	R\$ 1,72668	Consumo - Fora Ponta (TUSD)	R\$ 0,10759
Energia Reativa	Tarifa (kVARh)	R\$ 0,33048	-	
COSIP	Valor Fixo Municipal	R\$ 302,69	-	
Bandeira	Verde	-	-	
	Amarela	R\$ 0,01885	-	
	Vermelha I	R\$ 0,04463	-	
	Vermelha II	R\$ 0,07877	-	
PIS	Incide no Custo de Fornecimento	0,67%	-	
COFINS	Incide no Custo de Fornecimento	3,07%	-	
ICMS	Incide no Custo de Fornecimento	17%	-	

Fonte: Adaptado de (Energisa, 2024a; Energisa, 2024b).

A [Tabela 13](#) detalha os dados do cliente, concessionária de energia e ano vigente.

Tabela 13 – Dados do Cliente e Contrato.

CLIENTE	ENDEREÇO	GRUPO	CONCESSIONÁRIA	REFERÊNCIA
Frigorífico Pantanal LTDA	Zona rural, S/N, Campo Grande, MS	A4 - Azul	Energisa Mato Grosso do Sul (EMS)	2024

Fonte: Autor.

Na [Tabela 14](#) é apresentado o consumo energético mensal da indústria, o qual é indispensável para encontrar o custo da fatura de energia elétrica. Portanto com todos os dados apresentados durante a Seção 3.1.2 é visto em ([Tabela 15](#)) a média de 12 meses das faturas de energia elétrica referentes ao ano de 2024.

Tabela 14 – Consumo Mensal (Fora Ponta e Ponta).

Setor	Nome	Consumo mensal Fora Ponta	Consumo mensal Ponta
Refrigeração (QGR)	Compressor Parafuso 1	90.252 kWh	9.108 kWh
	Compressor Parafuso 2	90.252 kWh	9.108 kWh
	Bomba de água (condensado)	16.045 kWh	1.619 kWh
	Ventiladores (condensador)	21.633 kWh	2.183 kWh
	Ventiladores (Câmara fria)	23.198 kWh	2.341 kWh
	Iluminação (máquinas)	3.924 kWh	396 kWh
Abate e desossa (QGAD)	Serra de corte	6.462 kWh	0 kWh
	Esteira de desossa	3.877 kWh	0 kWh
	Transporte Aéreo (NOREA)	6.624 kWh	0 kWh
	Iluminação (produção)	6.540 kWh	660 kWh
Processamento (QGP)	Moedor de Carne	6.553 kWh	1.045 kWh
	Embaladora a vácuo	3.323 kWh	530 kWh
	Iluminação (processamento)	523 kWh	53 kWh
Utilidades / Limpeza (QGUL)	Compressor de ar	30.084 kWh	3.036 kWh
	Bomba de Alta pressão	3.202 kWh	1.214 kWh
	Iluminação (pátio)	2.616 kWh	264 kWh
Administrativo e Apoio (QGAA)	Ar Condicionado (escritórios)	1.187 kWh	0 kWh
	Equipamentos escritórios	1.320 kWh	0 kWh
	Iluminação (escritórios)	70 kWh	0 kWh
TOTAIS		317.685 kWh	31.557 kWh

Fonte: Autor.

Tabela 15 – Demonstrativo de Faturamento de Energia Média 12 meses.

ITENS	Quantidade	Unid.	Preço unit. Tarifa	Valor(R\$)
Demanda contratada ponta	400	kW	R\$ 66,70	R\$ 26.680,00
Demanda consumida ponta	415	kW	-	-
Demanda contratada F. ponta	400	kW	R\$ 34,28	R\$ 13.712,00
Demanda consumida F. ponta	446	kW	-	-
Ultrapassagem Deman. FP.	46	kW	R\$ 68,56	R\$ 3.153,76
Consumo - Ponta (TE)	31.557	kWh	R\$ 0,48885	R\$ 15.426,63
Consumo - Fora Ponta (TE)	317.685	kWh	R\$ 0,31451	R\$ 99.915,13
Consumo - Ponta (TUSD)	31.557	kWh	R\$ 0,10759	R\$ 3.395,22
Consumo - Fora Ponta (TUSD)	317.685	kWh	R\$ 0,10759	R\$ 34.179,73
Energia Reativa Excedente (kVARh)	109.419	kVARh	R\$ 0,33048	R\$ 36.160,81
SUBTOTAL (FORNECIMENTO)				R\$ 232.623,28
PIS	0,67%	%	-	R\$ 1.558,58
COFINS	3,07%	%	-	R\$ 7.141,53
ICMS	17%	%	-	R\$ 39.545,96
COSIP	1	Fixo	R\$ 302,69	R\$ 302,69
Bandeira Amarela	350.182	kWh	R\$ 0,01885	R\$ 6.600,93
SUBTOTAL (TRIBUTOS)				R\$ 55.149,69
VALOR A PAGAR (TOTAL)				R\$ 287.772,96

Fonte: Autor.

3.2 Proposição das Ações de Eficiência Energética

A partir da caracterização da indústria e apresentação da linha de base energética (Seção 3.1), foram identificados os principais pontos de maior custo e baixa eficiência. Nesta seção, são detalhadas as [Ações de Eficiência Energética \(AEE\)](#) e que servirão como base para análise e modelagem técnica realizadas pelo sistema computacional desenvolvido.

3.2.1 Modernização do Sistema de Iluminação

O levantamento dos dados identificou uma grande quantidade de luminárias de tecnologia antiga e um alto consumo individual (400 kW), como as de vapor metálico. A

iluminação tem uma grande presença em todos os setores e no tempo de uso, portanto a necessidade a atualização desta tecnologia é essencial.

A ação proposta para esta problemática é a substituição de toda a iluminação antiga e obsoleta por tecnologias atuais e equivalentes como *Light Emitting Diode (LED)*. A substituição destas iluminações tem como impacto além da eficiência energética, que conforme *International Energy Agency (IEA)* prolongam sua vida útil e colabora com a redução de emissões de CO_2 (*International Energy Agency (IEA)*, 2023).

De acordo com o *PROCEL* as lâmpadas de vapor de mercúrio tem uma eficiência de até 55 lm/W para potências entre 80 a 1000 W e lâmpadas LED com eficiência até 60 lm/W que crescem a cada ano (*PROCEL*, 2010). Atualmente a tecnologia LED superou patamares acima de 100 lm/W, que como visto em *IEA* na última década melhorou 4 lm/W a cada ano (*International Energy Agency (IEA)*, 2023). A vida útil entre essas duas tecnologias tem uma grande diferença e o LED chegando ao dobro de horas (*CAMPOS; DINIZ; ENIK*, 2015). Na *Tabela 16* é resumido a comparação dos dados encontrados.

Tabela 16 – Tabela Comparativa: Vapor Metálico vs. LED.

Característica	Vapor Metálico	LED
Eficiência Luminosa	60 lm/W	120 lm/W
Vida Útil Mediana	20.000 horas	50.000 horas
Índice de Repr. de Cor (IRC)	Bom (65 - 90)	Excelente (> 80, tipicamente)
Tempo para Acionamento	Lento (minutos)	Instantâneo
Necessidade de Manutenção	Alta (troca de lâmpadas e reatores)	Muito Baixa

Fonte: Autor.

3.2.2 Retrofit dos Motores Elétricos

A maior parte do consumo de energia elétrica do frigorífico é devido aos seus equipamentos que contém motores elétricos de baixa eficiência (IE1 - *Standard*) onde alguns já passaram por processos de rebobinagem, como os compressores de parafuso (150 CV). Assim, a necessidade de atualização é crucial para um projeto de eficiência energética. A ação consiste no *retrofit* (substituição) de todos os motores com rendimento inferiores à classe IE3 - *Premium*.

Os motores de classe IE1 têm uma estimativa de rendimento em torno de 80% conforme (*SOUZA; TRINDADE*, 2022) e motores com novas tecnologias como a classe IE3 tem uma estimativa de rendimento superior a 92% conforme (*ABNT*, 2018). As atualizações resultam em uma grande economia de energia para realizar a mesma quantidade

de trabalho. A classe IE3 - *Premium* também resulta em fator de potência superior, o que contribui para redução de energia reativa.

A multa por consumo reativo excedente tem um custo elevado na fatura de energia elétrica, portanto a substituição por motores com rendimentos e fator de potência maiores é crucial para redução de custo energético. Em caso de o fator de potência ficar abaixo do recomendado (0,92), a instalação de banco de capacitores será estudada posteriormente pela gestão da indústria frigorífica.

Esta ação está alinhada com a Portaria Interministerial nº 1, de 29 de junho de 2017, que tornou o padrão IE3 - Premium obrigatório, demonstrando evidências que os motores antigos estão com tecnologias ultrapassadas e ineficientes ([Brasil, 2017](#)).

3.2.3 Melhoria da Gestão Contratual

Com base nos dados apresentados na linha de base energética, notou-se diversos fatores que favorecem um alto custo energético e entre eles problemas contratuais. O alto consumo de energia consumida no horário de ponta (18:00hr às 21:00Hr), risco de multas por baixo fator de potência e pagamentos por ultrapassagem de demanda ativa.

O deslocamento de cargas não essenciais para produção (ex: bombas de alta pressão da limpeza) para horário fora ponta é uma alternativa para redução de custo da demanda ponta, porém, neste trabalho será mantido a mesma rotina de trabalho e ter foco em um contrato adequado para atender a rotina e demanda solicitada.

A simulação computacional analisará o perfil energético da indústria, trazendo a modalidade tarifária adequada e um valor ótimo de demanda ativa (ponta e fora ponta), evitando pagamentos por demanda mal dimensionada. O *software* também irá simular a viabilidade de migração do [ACR](#) para [ACL](#). Estes ambientes de contratação permitem negociação dos preços, prazos e fornecedores, com isso obtendo um potencial de grande redução de custo.

3.3 Análise e Critérios de Viabilidade

Uma vez definidas as Ações de Eficiência Energética ([AEE](#)), esta Seção 3.3 descreve a metodologia e critérios utilizados para analisar as ferramentas técnicas e viabilidade econômica das propostas. A modelagem técnica de eficiência energética apresenta as ferramentas e fórmulas de economias de energia e demanda ativa, enquanto na análise de viabilidade econômica utiliza indicadores e ferramentas financeiras para determinar o *payback* e atratividade do investimento. As ferramentas e análises apresentadas, serão implementadas no sistema computacional desenvolvido, que é detalhado no final desta seção.

3.3.1 Análise de Viabilidade Econômica

Nesta etapa é detalhado os indicadores utilizados para validação econômica do projeto, onde para cada equipamento substituído será levantado o seu custo e economia gerada pelas ações de eficiência energética (AEE), os indicadores são:

- *Payback* Simples;
- Valor Presente Líquido (VPL).

O indicador *Payback* é o mais simples e intuitivo, a definição deste parâmetro consiste na quantidade de tempo que a economia gerada se aproxima do investimento inicial válido no curto prazo, desprezando as correções em aplicações. Com base nesta premissa se obtém uma estimativa de tempo que aquele projeto pode começar a gerar lucro. Em (3.1) é apresentado o indicador *Payback* Simples.

$$\text{Payback (anos)} = \frac{\text{Investimento Inicial}}{\text{Economia Anual}} \quad (3.1)$$

O Valor Presente Líquido (VPL) é um método financeiro que analisa o projeto considerando a inflação durante os anos, fazendo uma simulação de receitas e despesas do futuro no presente, tornando um indicador mais robusto que o *payback* simples.

Uma definição básica para o VPL é que este indicador traz todos os fluxos de caixa futuros para o valor presente, descontados por uma taxa de juros chamada Taxa Mínima de Atratividade (TMA), sendo o conceito de que o valor do dinheiro no tempo pode variar.

As principais vantagens deste método é que considera o valor do dinheiro no tempo, analisa todas as receitas e despesas durante a vida útil do projeto e traz um resultado de geração de valor. A grande desvantagem deste indicador é a dependência da TMA que é uma taxa de juros subjetiva e tem um impacto muito grande no método, o qual assume que os fluxos de caixa serão investidos e com rendimentos iguais da TMA para todas as simulações, o que não é muito realista.

O VPL tem como foco na visualização da geração de valor, diferentemente do *Payback* que foca na visualização do tempo de retorno do investimento. O Valor Presente Líquido (VPL) é dado por (3.2).

$$VPL = \sum_{t=1}^n \frac{FC_t}{(1 + TMA)^t} - I_0 \quad (3.2)$$

Onde:

- VPL: É o resultado;
- (FC_t) : É o fluxo de caixa no período t ;
- TMA: Taxa Mínima de Atratividade;
- n : Período de análise;
- t : Representa o tempo;
- (I_0) : Investimento inicial;

O resultado de (3.2) pode ser interpretado de seguinte modo:

- $VPL > 0$: Projeto economicamente viável;
- $VPL < 0$: Projeto economicamente inviável;
- $VPL = 0$: Projeto indiferente não gera prejuízo e nem lucro;

3.3.2 Sistema Computacional para Análise Energética

A ferramenta computacional foi desenvolvida totalmente em linguagem Python devido a sua versatilidade, robustez e sendo relativamente simples comparada com diversas outras linguagens disponíveis no mercado. Foram utilizadas bibliotecas para auxiliar o desenvolvimento e análise de dados, como a biblioteca *Dash* para interfaces, *Pandas*, para a manipulação dos dados de entrada (tabelas) e também a *NumPy*, para realização dos cálculos técnicos, financeiros e demais usos de ferramentas matemáticas.

O sistema é organizado em dois lados: *Backend* e *frontend* que respectivamente se refere a parte interna do sistema, onde envolve toda a estrutura do código e é realizado os processos (ex: o circuito interno de um sistema eletrônico) e a parte frontal (ex: o sistema eletrônico externo) é o que o usuário visualiza e interage. O *software* foi desenvolvido seguindo a estrutura lógica de funcionamento e resumidamente é apresentando da seguinte forma:

- **Entrada (*Input*):**

Na etapa inicial é realizado a entrada dos dados do projeto que em resumo são os dados a serem analisados pelo sistema computacional. A coleta será por meio de planilhas Excel (ex: tabelas) e dados inseridos pelo usuário como por exemplo as taxas financeiras.

- **Processamento:**

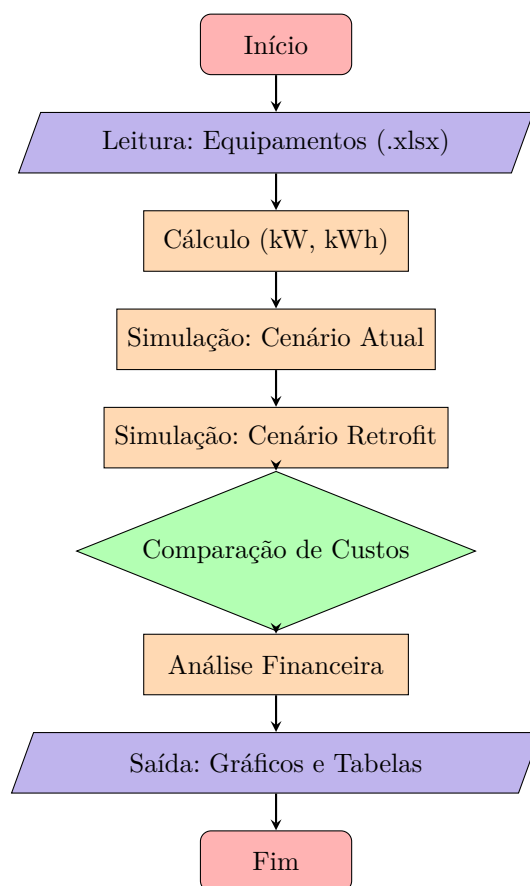
Nesta etapa o *software* é responsável de tratar os dados coletados dos *inputs* e realizar o que foi projetado, como os cálculos de consumo, custo do cenário base e a simulação das Ações de Eficiência Energética (AEE) descritas na Seção 2.1.1 e os indicadores econômicos visto na Seção 3.3.1. O processamento do sistema é inteiramente realizado pelo 'lado' *Backend*, portanto o usuário não interage.

- **Saída (*Outputs*):**

Por último é os resultados do tratamento de dados que o sistema computacional realizou, entregando dados importantes para a validação do projeto de eficiência energética, como dados de comparação Antes vs. Depois, valores de indicadores econômicos e gráficos detalhando as economias do projeto.

Para uma melhor visualização do sistema computacional é ilustrado na Figura 4 um fluxograma simples detalhando o funcionamento lógico do *software*.

Figura 4 – Fluxograma Python



Fonte: Autor.

4 Resultados

4.1 Equipamentos simulados

Na [Tabela 17](#) são apresentados os equipamentos com tecnologias superiores (*retrofit*) utilizados e também os preços de aquisição para a viabilidade econômica.

Tabela 17 – Relação de Equipamentos Atualizados e Custo de Implementação.

Nome	Modelo	Potência Unitária	FP	$\eta =$ Rend. (%)	Unid.	Preço Unitário (R\$)	Preço Total (R\$)
Compressor Para-fuso 1	WEG W22 IR3 Premium	150 CV	0,86	95,8	1	R\$ 98.237,34	R\$ 98.237,34
Compressor Para-fuso 2	WEG W22 IR3 Premium	150 CV	0,86	95,8	1	R\$ 98.237,34	R\$ 98.237,34
Bomba de água (condensador)	WEG W22 IR3 Premium	15 CV	0,83	92,4	2	R\$ 8.833,97	R\$ 17.667,94
Ventiladores (condensador)	WEG W22 IR3 Premium	10 CV	0,84	91,7	4	R\$ 11.592,98	R\$ 46.371,92
Ventiladores (Câmara fria)	WEG W22 IR3 Premium	2 CV	0,8	86,5	20	R\$ 2.583,73	R\$ 51.674,60
Iluminação (máquinas)	Lâmpada LED 150 W	150 W	0,96	-	15	R\$ 126,31	R\$ 1.894,65
Serra de corte	WEG W22 IR3 Premium	5 CV	0,77	89,5	3	R\$ 4.269,99	R\$ 12.809,97
Esteira de desossa	WEG W22 IR3 Premium	3 CV	0,8	87,5	3	R\$ 3.220,26	R\$ 9.660,78
Transporte Aéreo (NOREA)	WEG W22 IR3 Premium	15 CV	0,83	92,4	1	R\$ 8.833,97	R\$ 8.833,97
Iluminação (produção)	Lâmpada LED 150 W	150 W	0,96	-	25	R\$ 126,31	R\$ 3.157,75
Compressor de ar	WEG W22 IR3 Premium	50 CV	0,83	94,5	1	R\$ 28.431,00	R\$ 28.431,00
Bomba de Alta pressão	WEG W22 IR3 Premium	10 CV	0,84	91,7	2	R\$ 11.592,98	R\$ 23.185,96
Iluminação (pátio)	Lâmpada LED 150 W	150 W	0,96	-	10	R\$ 126,31	R\$ 1.263,10
TOTAL							R\$ 401.426,32

Fonte: Autor.

A instalação dos equipamentos listados na [Tabela 17](#) resulta em uma alteração completa do consumo do cenário hipotético. O efeito dessa modernização é detalhado na [Tabela 18](#), o qual apresenta o quadro de cargas e demanda elétrica atualizado, onde é possível observar a redução da potência consumida. A [Tabela 10 e 18](#) é a base para análise final da economia e viabilidade do projeto.

Tabela 18 – Quadro de Cargas e Demanda Elétrica Atualizado.

Setor	Nome	Unid.	Potência Unitária	Potência Total (kW)	Potência Total (kVA)	FD	FP	$\eta = \text{Rend. (\%)}$	Demanda (kW)
Refrigeração (QGR)	Compressor Para-fuso 1	1	150 CV	115,24 kW	134 kVA	0,9	0,86	95,8 %	103,72 kW
	Compressor Para-fuso 2	1	150 CV	115,24 kW	134 kVA	0,9	0,86	95,8 %	103,72 kW
	Bomba de água (condensador)	2	15 CV	23,9 kW	28,8 kVA	0,9	0,83	92,4 %	21,5 kW
	Ventiladores (condensador)	4	10 CV	32,08 kW	38,2 kVA	0,9	0,84	91,7 %	28,88 kW
	Ventiladores (Câmara fria)	20	2 CV	34 kW	42,5 kVA	0,9	0,8	86,5 %	30,6 kW
	Iluminação (máquinas)	15	150 W	2,25 kW	2,34 kVA	1	0,96	-	2,25 kW
Abate e Desossa (QGAD)	Serra de corte	3	5 CV	12,34 kW	16,02 kVA	0,7	0,77	89,5 %	8,63 kW
	Esteira de desossa	3	3 CV	7,57 kW	9,46 kVA	0,7	0,80	87,5 %	5,3 kW
	Transporte Aéreo (NOREA)	1	15 CV	11,95 kW	14,4 kVA	0,7	0,83	92,4 %	8,36 kW
	Iluminação (produção)	25	150 W	3,75 kW	3,9 kVA	1	0,96	-	3,75 kW
Processamento (QGP)	Moedor de Carne	1	20 CV	15,8 kW	19,5 kVA	0,7	0,81	93 %	11,1 kW
	Embaladora a vácuo	1	10 CV	8,0 kW	9,6 kVA	0,7	0,84	91,7 %	5,62 kW
	Iluminação (processamento)	20	40 W	0,8 kW	0,816 kVA	1	0,98	-	0,8 kW
Utilidades / Limpeza (QGUL)	Compressor de ar	1	50 CV	38,94 kW	46,92 kVA	0,7	0,83	94,5 %	27,26 kW
	Bomba de Alta pressão	2	10 CV	16,05 kW	19,11 kVA	0,7	0,84	91,7 %	11,24 kW
	Iluminação (pátio)	10	150 W	1,5 kW	1,56 kVA	1	0,96	-	1,5 kW
Administrativo e Apoio (QGAA)	Ar Condicionado (escritórios)	3	1500 W	4,5 kW	4,6 kVA	0,7	0,98	-	3,2 kW
	Equipamentos escritórios	Lote	Diversos equipamentos	5,0 kW	5,2 kVA	0,7	0,96	-	3,5 kW
	Iluminação (escritórios)	18	15 W	0,27 kW	0,3 kVA	1	0,98	-	0,27 kW
TOTAIS				449,29 kW	531,26 kVA	-	-	-	381,18 kW

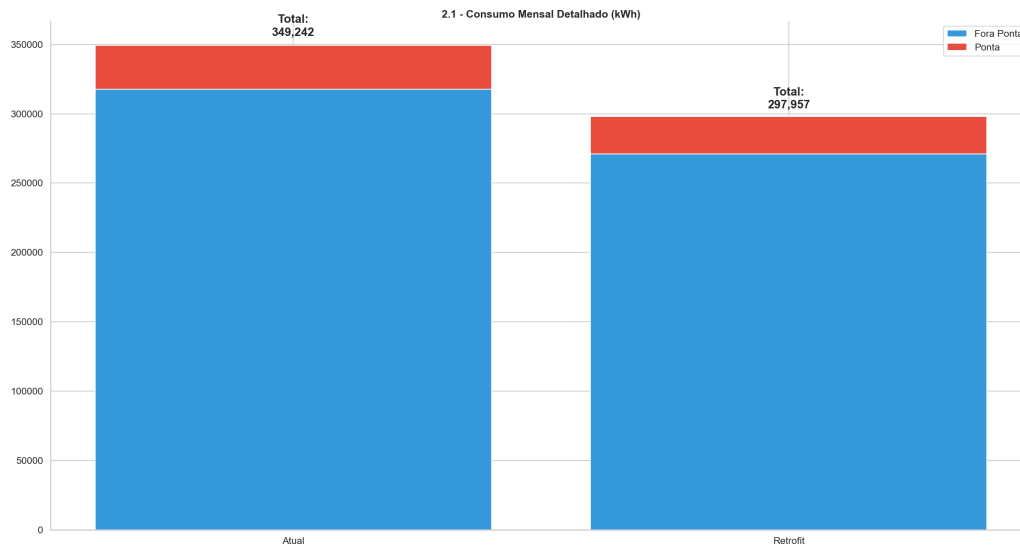
Fonte: Autor.

4.2 Resultados de Simulação

No primeiro momento é realizado o tratamento dos dados inseridos (tarifas e valores fixos) e do arquivo em Excel para a simulação do sistema computacional, o qual o resultado é detalhado durante a Seção 4.2.

A Figura 5 demonstra o primeiro impacto direto do *retrofit* do equipamentos, que confirma a redução de potência elétrica consumida visto na Tabela 18.

Figura 5 – Comparação Entre o Consumo Mensal Antigo e o Novo.



Fonte: Autor.

A simulação foi realizada com o mesmo modo de operação para ambos os casos, o qual mudando o formato de trabalho da indústria pode trazer potenciais economias, como exemplo a diminuição da operação no posto horário ponta.

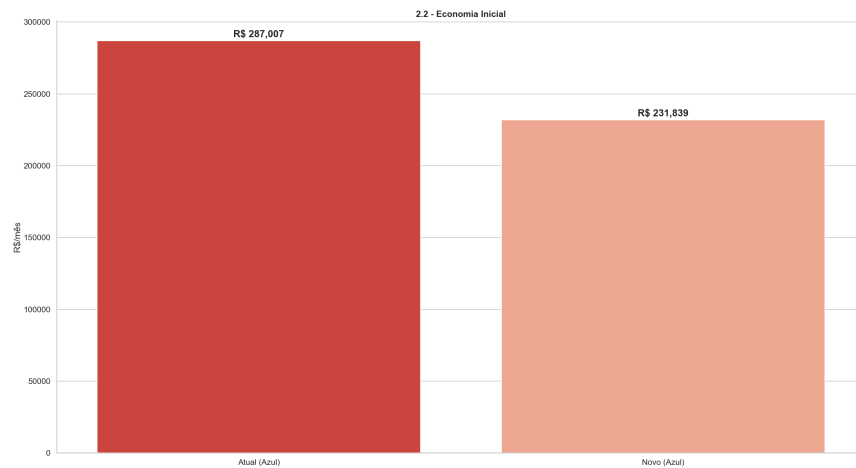
O cenário antigo conta com um consumo total de **349.242 kWh** e com o *retrofit* dos equipamentos o novo consumo pode chegar à **297.957 kWh**, o qual gera uma economia de **51.285 kWh** que representa aproximadamente 15% de diminuição. A economia de custo (R\$) pode ser vista utilizando as Equações (2.15) e (2.16) resultando em:

$$\text{Custo}_{\text{Ponta}} = 4.651 \text{ kWh}_P \times 0.59644_P = R\$2.774,04 \quad (4.1)$$

$$\text{Custo}_{\text{Fora Ponta}} = 46.634 \text{ kWh}_{FP} \times 0.4221_{FP} = R\$19.684,21 \quad (4.2)$$

O custo em (4.1) e (4.2) é observado somente pelo lado do consumo elétrico. Na Figura 6 é visto o custo simulado pelo sistema computacional para os dois cenários de modalidade tarifária A4 - Azul.

Figura 6 – Custo Mensal Cenário Antigo x Novo.



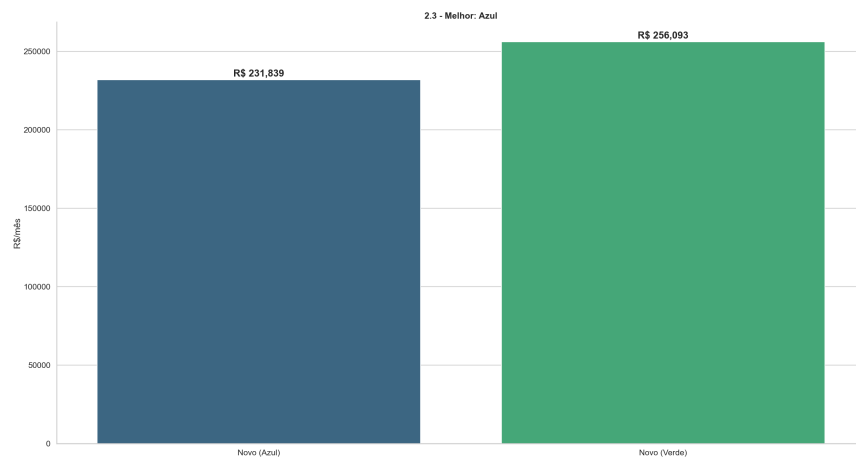
Fonte: Autor.

Na primeira etapa de comparações a simulação demonstra uma viabilidade do *retrofit*, o qual é vista na diferença do consumo, porém, a [Equação 4.3](#) já incluso impostos e a energia reativa excedente, apresenta uma economia de **R\$ 55.168,00/mês**, resultando em 19,2% de custo a menos.

$$\text{Economia}_{R\$} = \text{Custo}_{\text{Atual}} - \text{Custo}_{\text{Novo}} = R\$287.007 - R\$231.839 = R\$ 55.168,00 \quad (4.3)$$

O sistema computacional também identifica a modalidade tarifária com menor custo. A operação permaneceu igual para os dois cenários, portanto o sistema identificou o melhor custo benefício para o [ACR](#), visto na [Figura 7](#).

Figura 7 – Melhor Modalidade Tarifária.



Fonte: Autor.

Com a simulação é confirmado a modalidade A4 - Azul, portanto a permanência do contrato é viável e sendo necessário somente adequação de demanda contratada (kW) e tais mudanças detalhado no demonstrativo de fatura apresentados em sequência.

- Demonstrativo de Fatura Antiga (Simulada).

Na [Figura 8](#) são detalhados os custos encontrados pela simulação, e apresentados em sua totalidade na [Figura 6](#).

Figura 8 – Demonstrativo Fatura Atual.

ITENS	Qtde.	Unid.	Tarifa	Valor (R\$)
Demanda Ponta	400.00	kW	66.70000	26,680.00
Demanda consumida ponta	414.75	kW		
Demanda Fora Ponta	400.00	kW	34.28000	13,712.00
Demanda consumida F. ponta	446.41	kW		
Ultrapassagem F. Ponta	46.41	kW	68.56000	3,181.68
Consumo Ponta (TE)	31,556.78	kWh	0.48885	15,426.53
Consumo F. Ponta (TE)	317,685.05	kWh	0.31451	99,915.13
Consumo Ponta (TUSD)	31,556.78	kWh	0.10759	3,395.19
Consumo F. Ponta (TUSD)	317,685.05	kWh	0.10759	34,179.73
Energia Reativa Exced.	107,460.21	kVARh	0.33048	35,513.45
SUBTOTAL (FORNECIMENTO)				232,003.72
PIS	0.67%			1,554.42
COFINS	3.07%			7,122.51
ICMS	17%			39,440.63
COSIP	1.00		302.69000	302.69
Bandeira Amarela	349,241.83	kWh	0.01885	6,583.21
SUBTOTAL (TRIBUTOS)				55,903.47
VALOR A PAGAR (TOTAL)				287,007.19

Fonte: Autor.

- Demonstrativo de Fatura Nova (Simulada).

Por fim, na [Figura 9](#) é detalhado o custo do faturamento de energia elétrica com a modernização dos equipamentos da indústria.

Figura 9 – Demonstrativo Fatura Nova (*Retrofit*).

ITENS	Qtde.	Unid.	Tarifa	Valor (R\$)
Demanda Ponta	351.96	kW	66.70000	23,475.57
Demanda consumida ponta	351.96	kW		
Demanda Fora Ponta	381.17	kW	34.28000	13,066.67
Demanda consumida F. ponta	381.17	kW		
Consumo Ponta (TE)	26,905.80	kWh	0.48885	13,152.90
Consumo F. Ponta (TE)	271,050.76	kWh	0.31451	85,248.17
Consumo Ponta (TUSD)	26,905.80	kWh	0.10759	2,894.80
Consumo F. Ponta (TUSD)	271,050.76	kWh	0.10759	29,162.35
Energia Reativa Exced.	60,858.27	kVARh	0.33048	20,112.44
SUBTOTAL (FORNECIMENTO)				187,112.91
PIS	0.67%			1,253.66
COFINS	3.07%			5,744.37
ICMS	17%			31,809.19
COSIP	1.00		302.69000	302.69
Bandeira Amarela	297,956.56	kWh	0.01885	5,616.48
SUBTOTAL (TRIBUTOS)				44,726.39
VALOR A PAGAR (TOTAL)				231,839.29

Fonte: Autor.

Os valores do levantamento ([Tabela 15](#)) e da simulação computacional ([Figura 8](#)) apresentam uma pequena divergência, causada principalmente por arredondamentos. Uma variação mínima no fator de potência global da indústria podem alterar o resultado final. Apesar disso, a simulação demonstrou confiabilidade em seus resultados.

Os indicadores financeiros da Seção 3.3.1 viabilizam economicamente o projeto, os quais são implementados no sistema computacional e seus resultados apresentados na Figura 10.

Figura 10 – Viabilidade Financeira ACR.

Indicador	Valor
Investimento	R\$ 401.426,32
Econ. Anual	R\$ 662.014,76
Payback	7,3 meses
VPL (5a)	R\$ 1.984.988,72

Fonte: Autor.

Com base em (3.1), apresenta-se a Equação 4.4, que detalha o resultado do *Payback* encontrado pela simulação computacional.

$$\text{Payback} = \frac{\text{Invest. Inicial}}{\text{Econ. Mensal}} = \frac{401.426,32}{55.168,00} \approx 7,3 \text{ meses} \quad (4.4)$$

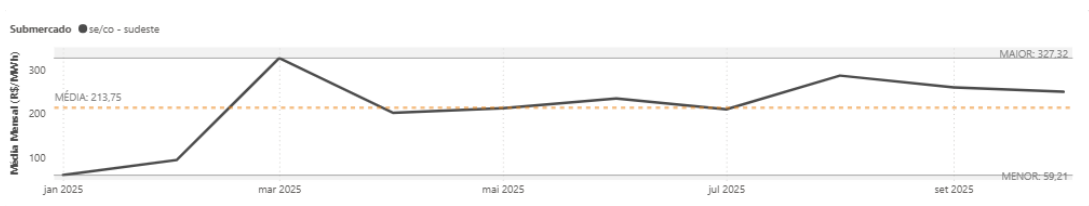
E o resultado do VPL (3.2) é detalhado na Equação 4.5, foi levado em consideração a Taxa Mínima de Atratividade (TMA) de 12% em um período de 5 anos.

$$VPL = \sum_{t=1}^5 \frac{662.014,76}{(1 + 0,12)^t} - 401.426,32 \approx \text{R\$ } 1.984.988,73 \quad (4.5)$$

Ambos os indicadores demonstraram uma viabilidade muito positiva para implementação do projeto de eficiência energética no ambiente cativo. Por fim, com a viabilidade do projeto é simulado a migração do ACR para o ACL.

O ACL é negociado a tarifa TE diretamente com a fonte geradora, portanto para este estudo é simulado sem nenhum contrato vigente, o qual fica exposto a volatilidade do mercado. A energia elétrica comercializada geralmente é com base no Preço de Liquidação das Diferenças (PLD) (preço de curto prazo (*spot*)) + Margem de lucro do comercializador, o PLD também funciona como referência de volatilidade. O gráfico ilustrado na Figura 11 representa a variação da Média Mensal do PLD para o submercado Sudeste/Centro-Oeste em 2025, dados retirado diretamente da CCEE.

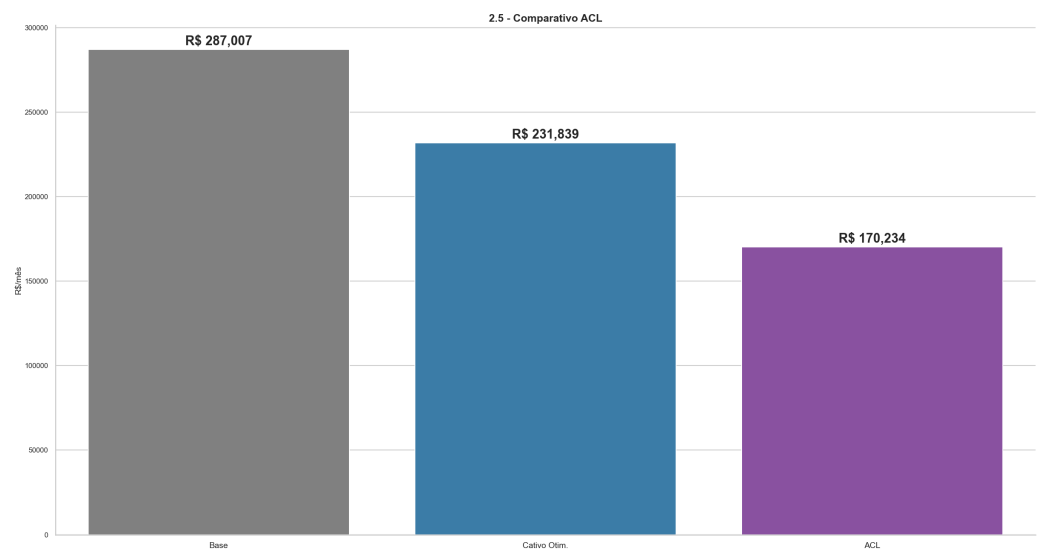
Figura 11 – Média Mensal do PLD (R\$/MWh) no Submercado Sudeste/Centro-Oeste - 2025.



Fonte: Adaptado de CCEE (2025).

Neste contexto é simulado o cenário otimizado (*retrofit* + modalidade tarifária adequada) com a tarifa média do mercado curto prazo (**213,75 R\$ /MWh**) + Margem de Lucro Simulada (**97,25 R\$/MWh**). O resultado é visto na [Figura 12](#).

Figura 12 – Comparativo Cenário Antigo x *Retrofit* x *ACL*.



Fonte: Autor.

E os novos indicadores financeiros para a viabilidade de migração do cenário antigo (*ACR*) para o *ACL* é apresentado na [Figura 13](#) e detalhados nas Equações (4.6) e (4.7), que respectivamente é o *Payback* Simples e o *VPL*.

Figura 13 – Viabilidade ACL.

Indicador	Valor
Investimento	R\$ 401,426.32
Econ. Anual	R\$ 1,401,279.55
Payback	3,4 meses
VPL (5a)	R\$ 4,649,872.86

Fonte: Autor.

As equações são:

$$\text{Payback} = \frac{\text{Invest. Inicial}}{\text{Econ. Mensal}} = \frac{401.426,32}{116.773,00} \approx 3.4 \text{ meses} \quad (4.6)$$

E o resultado do VPL segue o padrão da TMA de 12% em um período de 5 anos.

$$VPL = \sum_{t=1}^5 \frac{1.401.276,00}{(1 + 0,12)^t} - 401.426,32 \approx \text{R\$ } 4.649.872,86 \quad (4.7)$$

Os dados simulados e apresentados demonstra uma viabilidade enorme no *retrofit* + adequação tarifária, porém, com a migração essa economia chega a dobrar com um custo de **R\$ 116.773,00** que representa 40,7% de economia em relação ao cenário base.

5 Conclusão

Ao longo deste trabalho foi desenvolvido ferramentas e análises para buscar uma eficiência energética sólida e plausível para implementação. O estudo atingiu o objetivo de redução de custo e consumo com eficácia, como também o desenvolvimento da ferramenta computacional em Python capaz de simular, quantificar e analisar cenários de eficiência energética em um ambiente industrial. Através do estudo de caso do Frigorífico Pantanal, foi possível a validação do projeto de eficiência energética, a colaboração eficaz da ferramenta computacional e a importância de uma gestão energética.

As análises realizadas demonstraram que a modernização dos equipamentos é o primeiro passo na busca da redução de custos. A substituição de motores antigos e com tecnologias ultrapassadas como o IE1 - *Standard* por modelos de alto rendimento (IE3 *Premium*), somada à troca da iluminação (Vapor metálico) por tecnologia [LED](#), resultou em uma redução de consumo de energia elétrica de aproximadamente 15% (51.285 kWh).

Os dois cenários otimizados e simulados obtiveram resultados de grande satisfação e confiabilidade do ponto de vista econômico, apresentando uma alta atratividade para o investimento:

- No Ambiente de Contratação Regulado ([ACR](#)): Apenas com o *retrofit* e a adequação da demanda permanecendo em A4 - Azul, obteve-se uma economia mensal de R\$ 55.168,00 (redução de 19,2% nos custos), com um *payback* estimado de 7,3 meses e um VPL positivo de aproximadamente R\$ 1,9 milhões em um período de 5 anos.
- No Ambiente de Contratação Livre ([ACL](#)): A simulação de migração para o Mercado Livre revelou-se um cenário ainda mais vantajoso. A economia mensal saltou de R\$ 55.168,00 ([ACR](#)) para R\$ 116.773,00 (redução de 21,5%) totalizando uma economia de 40,7% em relação ao cenário base, portanto reduziu o tempo de retorno do investimento (*payback*) para apenas 3,4 meses e elevando o VPL para cerca de R\$ 4,6 milhões.

Conclui-se, que a eficiência energética não se limita apenas a redução de consumo e questões ambientais, mas é um fator muito importante para um fluxo saudável de caixa, aumenta a competitividade da indústria e mantém a saúde financeira estabilizada. O *software* em Python mostrou-se uma ferramenta robusta e flexível para auxiliar na tomada de decisão, permitindo a visualização da combinação entre a modernização (*retrofit*) e gestão energética, o qual oferece saldos positivos de investimentos.

Para trabalhos futuros é sugerida a implementação de novos módulos no *software* que contribuí para novas análises, como a implementação de banco de capacitores para correção de fator de potência, a migração para o [Autoprodução de Energia \(APE\)](#) ou a inserção de geração própria, bem como a automação em tempo real da máquina para encontrar oportunidades de economia em postos horários.

Referências

- ABNT. *NBR 17094-1: Máquinas elétricas girantes - Parte 1: Motores de indução trifásicos - Requisitos*. Rio de Janeiro, 2018. Disponível em: <https://www2.uesb.br/biblioteca/wp-content/uploads/2022/03/NBR-17094-M%C3%81QUINAS-EL%C3%89TRICAS-GIRANTES-PARTE-1-MOTORES-DE-INDU%C3%87%C3%83O-TRIF%C3%81SICOS-REQUESITOS.pdf>. Acesso em: 01 out. 2025.
- ABRACEEL. *Mercado Livre*. 2025. Associação Brasileira dos Comercializadores de Energia. Disponível em: <https://abraceel.com.br/mercado-livre/>. Acesso em: 30 out. 2025.
- ANEEL. *Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional – PRODIST: Módulo 8 – Qualidade do Serviço de Energia Elétrica*. 2021. Anexo VIII da Resolução Normativa nº 956, de 7 de dezembro de 2021. Disponível em: https://www2.aneel.gov.br/cedoc/aren2021956_2_7.pdf. Acesso em: 08 out. 2025.
- ANEEL. *Resolução Normativa nº 1.000, de 7 de dezembro de 2021*. 2021. Estabelece as Regras de Prestação do Serviço Público de Distribuição de Energia Elétrica. Disponível em: <https://biblioteca.aneel.gov.br/acervo/rest/multimedia/187900>. Acesso em: 24 jul. 2025.
- ANEEL. *A ANEEL*. 2022. GOV. Disponível em: <https://www.gov.br/aneel/pt-br/aceso-a-informacao/institucional/a-aneel>. Acesso em: 21 out. 2025.
- ANEEL. *Bandeiras Tarifárias*. 2022. GOV. Disponível em: <https://www.gov.br/aneel/pt-br/assuntos/tarifas/bandeiras-tarifarias>. Acesso em: 29 out. 2025.
- ANEEL. *Resolução Normativa REN nº 1.003, de 1 de Fevereiro de 2022*. Brasília: [s.n.], 2022. GOV. Disponível em: <https://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren20221003.pdf>. Acesso em: 25 out. 2025.
- Brasil. *Portaria Interministerial nº. 553, de 8 de dezembro de 2005*. 2005. Diário Oficial da União. Estabelece os níveis mínimos de eficiência energética para motores elétricos trifásicos de indução (Motores IE2). Disponível em: https://antigo.mctic.gov.br/mctic/opencms/legislacao/portarias_interministeriais/migracao/Portaria_Interministerial_MMEMCTMDIC_n_553_de_08122005.html. Acesso em: 18 ago. 2025.
- Brasil. *Portaria Interministerial nº. 1, de 29 de junho de 2017*. 2017. Diário Oficial da União. Institui a obrigatoriedade de comercialização de motores com o patamar de rendimento IE3 (Premium). Disponível em: https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/conselhos-e-comites/cgiee/arquivos/portarias/2017-portaria-interministerial-mme-mctic-mdic-n_1-2017-motores-eletricos-trifasicos.pdf. Acesso em: 18 ago. 2025.
- CAMPOS, R. P. d.; DINIZ, I. J.; ENIK, J. P. *EFICIÊNCIA ENERGÉTICA – ESTUDO DE CASO*. Curitiba: [s.n.], 2015. Trabalho de Conclusão de Curso (Tecnologia em Automação Industrial). Disponível em: https://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/9429/2/CT_COALT_2015_1_01.pdf. Acesso em: 01 out. 2025.

CCEE. *Mercado Livre - ACL*. 2024. Câmara de Comercialização de Energia Elétrica. Disponível em: <https://www.ccee.org.br/mercado-livre-acl>. Acesso em: 30 out. 2025.

CCEE. *Painel de Preços: Preço de Liquidação das Diferenças (PLD)*. 2025. Disponível em: <https://www.ccee.org.br/web/guest/precos/painel-precos>. Acesso em: 14 nov. 2025.

CNI. *Sondagem Especial: Idade e Ciclo de Vida das Máquinas e Equipamentos no Brasil*. 2023. Disponível em: https://static.portaldaindustria.com.br/media/filer_public/88/c3/88c3a7d5-2902-41ef-8eec-ca7a309c7a5a/sondespecial_idadedasmaquinas_julho2023.pdf. Acesso em: 23 jul. 2025.

Comerc Energia. *Demanda Contratada: o que é e como funciona*. 2023. Disponível em: <https://www.comerc.com.br/panorama/demanda-contratada>. Acesso em: 28 out. 2025.

Didática Tech. *A linguagem Python*. 2024. Disponível em: <https://didatica.tech/a-linguagem-python/>. Acessado em: 1 nov. 2025.

Energisa. *Quadro de Tarifas EMS*. 2024. Disponível em: <https://ajuda.energisa.com.br/wp-content/uploads/2024/05/Quadro-de-Tarifas-EMS.pdf>. Acesso em: 23 ago. 2025.

Energisa. *Tributos e Encargos Regulatórios*. 2024. Disponível em: <https://www.energisa.com.br/tributos-e-encargos-regulatorios>. Acesso em: 23 ago. 2025.

EPE. *Eficiência Energética*. 2018. ABCDEnergia. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/abcdenergia/eficiencia-energetica>. Acesso em: 28 out. 2025.

EPE. *Atlas de Eficiência Energética Brasil 2024*. 2024. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-857/Atlas%20da%20Efici%C3%Aancia%20Energ%C3%A9tica%20Brasil%202024.pdf>. Acesso em: 23 jul. 2025.

INMETRO. *Orientações Gerais para fabricantes e importadores sobre a Regulamentação de produtos no âmbito do Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE)*. Brasília, 2013. Disponível em: <https://www.bing.com/search?q=programa+de+etiquetagem&q=HS&pq=progr&sc=12-5&cvid=A0A3E36442764B939433EA12514B63D4&FORM=QBRE&sp=1&ghc=1&lq=0>. Acesso em: 21 out. 2025.

INMETRO. *Relatório de Análise de Impacto Regulatório: Motores Elétricos Recondicionados*. Brasília, 2017. Disponível em: <https://www.gov.br/inmetro/pt-br/assuntos/regulamentacao/analise-de-impacto-regulatorio/realizadas/2017/motores-eletricos-recondicionados/relatorio>. Acesso em: 30 out. 2025.

INMETRO. *Apresentação Institucional*. 2018. GOV. Disponível em: <https://www.gov.br/inmetro/pt-br/acesso-a-informacao/institucional/apresentacaof>. Acesso em: 21 out. 2025.

International Energy Agency (IEA). *Energy Efficiency 2023*. Paris, 2023. Disponível em: <https://www.iea.org/reports/energy-efficiency-2023>. Acesso em: 01 out. 2025.

- MELO, L. S. et al. Python-based multi-agent platform for application on power grids. *International Transactions on Electrical Energy Systems*, v. 29, n. 6, p. e12012, 2019. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/2050-7038.12012>.
- Ministério de Minas e Energia (MME). *Procel - Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica*. BRASIL: [s.n.], s.d. Disponível em: <https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/secretarias/sntep/procel>. Acesso em: 21 out. 2025.
- PROCEL. *Selo Procel*. 1993. Disponível em: <http://www.procelinfo.com.br/main.asp?TeamID={88A19AD9-04C6-43FC-BA2E-99B27EF54632}>. Acesso em: 23 jul. 2025.
- PROCEL. *Manual de Iluminação Eficiente*. Rio de Janeiro, 2010. Disponível em: <https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/ee/publicacoes-e-estudos/ManualdeiluminacaoeficienteProcel.pdf>. Acesso em: 14 de out. 2025.
- Python Software Foundation. *About Python*. 2025. Disponível em: <https://www.python.org/about/>. Acessado em: 1 nov. 2025.
- SOUZA, D. F. d. et al. Os motores elétricos e a eficiência energética – tendências e desafios. *O Setor Elétrico*, v. 16, p. 34–38, jul 2021. Disponível em: <https://www.asetoreletrico.com.br/wp-content/uploads/2021/08/Cap5-Eficiencia-Energetica.pdf>. Acessado em: 01 nov. 2025.
- SOUZA, E. S. d.; TRINDADE, W. W. L. d. *EFICIÊNCIA ENERGÉTICA: substituição dos motores convencionais por motores de alto rendimento na indústria, estudo de caso*. [S.l.], 2022. Disponível em: <https://repositorio-api.animaeducacao.com.br/server/api/core/bitstreams/200b01f6-d306-45ca-aeb1-3779afae907d/content>. Acesso em: 23 jul. 2025.

Apêndices

APÊNDICE A – Código

```

1 import pandas as pd
2 import numpy as np
3 import numpy_financial as npf
4 import matplotlib.pyplot as plt
5 import seaborn as sns
6 import os
7
8 sns.set_theme(style="whitegrid", context="talk")
9 plt.rcParams.update({'font.size': 14, 'figure.figsize': (10, 7)})
10
11 # =====
12 # 1. PREMISSAS
13 # =====
14 INVESTIMENTO_TOTAL = 401426.32
15 DIAS_UTEIS, DIAS_FDS = 22, 8
16 TOLERANCIA = 1.05
17
18 TARIFAS = {
19     'azul': {
20         'dem_p': 66.70, 'dem_fp': 34.28,
21         'dem_ult_p': 66.70*2, 'dem_ult_fp': 34.28*2,
22         'te_p': 0.48885, 'tUSD_p': 0.10759,
23         'te_fp': 0.31451, 'tUSD_fp': 0.10759,
24         'cons_p': 0.48885+0.10759, 'cons_fp': 0.31451+0.10759
25     },
26     'verde': {
27         'dem': 34.28, 'dem_ult': 34.28*2,
28         'te_p': 0.48885, 'tUSD_p': 1.72668,
29         'te_fp': 0.31451, 'tUSD_fp': 0.10759,
30         'cons_p': 0.48885+1.72668, 'cons_fp': 0.31451+0.10759
31     },
32     'acl': {
33         'tUSD_fio': 34.28,
34         'energia': 0.311,
35         'encargos': 0.05
36     },
37     'reativo': 0.33048,
38     'bandeira': 0.01885
39 }
40
41 CONSTANTES = {'TMA': 0.12, 'PERIODO': 5, 'COSIP': 302.69, 'ICMS': 0.17, 'PIS':
42     ↪ 0.0067, 'COFINS': 0.0307}
43 # =====
44 # 2. LEITURA
45 # =====
46 NOME_ARQUIVO = 'equipamentos.xlsx'
47 try:

```

```

48     caminho_base = os.path.dirname(os.path.abspath(__file__))
49 except NameError:
50     caminho_base = os.getcwd()
51
52 caminho = os.path.join(caminho_base, NOME_ARQUIVO)
53
54 print(f"--- INICIANDO ---")
55 try:
56     df = pd.read_excel(caminho, engine='openpyxl')
57     cols = ['CV_Atual', 'CV_Novo', 'Qtd', 'Horas_Dia_Util', 'Horas_Dia_FDS', '
↪ Horas_Ponta_Dia', 'Rend_Atual', 'FP_Atual', 'Rend_Novo', 'FP_Novo', 'FD']
58     if not all(c in df.columns for c in cols):
59         print(f"ERRO: Faltam colunas no Excel.")
60         exit()
61     for c in cols: df[c] = pd.to_numeric(df[c], errors='coerce').fillna(0)
62     for c in ['Rend_Atual', 'Rend_Novo', 'FP_Atual', 'FP_Novo']: df[c] = df[c].
↪ replace(0, 1)
63     print("Dados carregados do Excel.")
64 except FileNotFoundError:
65     print("AVISO: Arquivo 'equipamentos.xlsx' não encontrado. Usando dados de
↪ exemplo.")
66     data_mock = {
67         'CV_Atual': [10, 15], 'CV_Novo': [8, 12], 'Qtd': [2, 1],
68         'Horas_Dia_Util': [10, 10], 'Horas_Dia_FDS': [0, 0], 'Horas_Ponta_Dia':
↪ [3, 0],
69         'Rend_Atual': [0.9, 0.88], 'FP_Atual': [0.92, 0.92],
70         'Rend_Novo': [0.95, 0.94], 'FP_Novo': [0.95, 0.95], 'FD': [1, 1]
71     }
72     df = pd.DataFrame(data_mock)
73 except Exception as e:
74     print(f"ERRO: {e}")
75     exit()
76
77 # =====
78 # 3. CÁLCULOS
79 # =====
80 def calcular_tudo(df):
81     df['kW_At'] = ((df['CV_Atual']*0.736)/df['Rend_Atual'])*df['Qtd']
82     df['kW_Nv'] = ((df['CV_Novo']*0.736)/df['Rend_Novo'])*df['Qtd']
83     df['Dem_At'], df['Dem_Nv'] = df['kW_At']*df['FD'], df['kW_Nv']*df['FD']
84
85     H_P = df['Horas_Ponta_Dia']*DIAS_UTEIS
86     H_FP = (df['Horas_Dia_Util']-df['Horas_Ponta_Dia'])*DIAS_UTEIS + df['
↪ Horas_Dia_FDS']*DIAS_FDS
87
88     df['kWh_P_At'], df['kWh_FP_At'] = df['kW_At']*H_P, df['kW_At']*H_FP
89     df['kWh_P_Nv'], df['kWh_FP_Nv'] = df['kW_Nv']*H_P, df['kW_Nv']*H_FP
90
91     def reativo(kwh, fp):
92         return kwh * np.maximum(0, np.sqrt((1/fp)**2 - 1) - np.sqrt((1/0.92)**2
↪ - 1))
93
94     return {
95         'atual': {'kwh_p': df['kWh_P_At'].sum(), 'kwh_fp': df['kWh_FP_At'].sum()
↪ ,
96                 'dem_p': df[df['Horas_Ponta_Dia']>0]['Dem_At'].sum(), 'dem_fp'
↪ : df['Dem_At'].sum(),

```

```

107         'kvarh': reativo(df['kWh_P_At']+df['kWh_FP_At'], df['FP_Atual'
108     ↪ ]).sum()),
109     'novo': {'kwh_p': df['kWh_P_Nv'].sum(), 'kwh_fp': df['kWh_FP_Nv'].sum()
110     ↪ ,
111             'dem_p': df[df['Horas_Ponta_Dia']>0]['Dem_Nv'].sum(), 'dem_fp'
112     ↪ : df['Dem_Nv'].sum(),
113             'kvarh': reativo(df['kWh_P_Nv']+df['kWh_FP_Nv'], df['FP_Novo'
114     ↪ ]).sum())}
115     }
116 DADOS = calcular_tudo(df)
117
118 # =====
119 # 4. MOTOR ÚNICO DE FATURAMENTO
120 # =====
121 def calcular_fatura(dados, mod='azul', dc_p=0, dc_fp=0, detalhado=False):
122     t = TARIFAS[mod]
123     c_p = dc_p if dc_p > 0 else dados['dem_p']
124     c_fp = dc_fp if dc_fp > 0 else dados['dem_fp']
125     ult_p = max(0, dados['dem_p'] - c_p) if dados['dem_p'] > (c_p * TOLERANCIA)
126     ↪ else 0
127     ult_fp = max(0, dados['dem_fp'] - c_fp) if dados['dem_fp'] > (c_fp *
128     ↪ TOLERANCIA) else 0
129
130     L = []
131     custo_forn = 0
132
133     if mod == 'azul':
134         L = [['Demanda Ponta', c_p, t['dem_p']], ['Ultrapassagem Ponta', ult_p,
135     ↪ t['dem_ult_p']],
136             ['Demanda Fora Ponta', c_fp, t['dem_fp']], ['Ultrapassagem F. Ponta
137     ↪ ', ult_fp, t['dem_ult_fp']],
138             ['Consumo Ponta (TE)', dados['kwh_p'], t['te_p']], ['Consumo F.
139     ↪ Ponta (TE)', dados['kwh_fp'], t['te_fp']],
140             ['Consumo Ponta (TUSD)', dados['kwh_p'], t['tUSD_p']], ['Consumo F.
141     ↪ Ponta (TUSD)', dados['kwh_fp'], t['tUSD_fp']]]
142     elif mod == 'verde':
143         c_unica = max(c_p, c_fp); dem_med_unica = max(dados['dem_p'], dados['
144     ↪ dem_fp'])
145         ult_unica = max(0, dem_med_unica - c_unica) if dem_med_unica > (c_unica
146     ↪ * TOLERANCIA) else 0
147         L = [['Demanda Única', c_unica, t['dem']], ['Ultrapassagem Demanda',
148     ↪ ult_unica, t['dem_ult']],
149             ['Consumo Ponta (TE)', dados['kwh_p'], t['te_p']], ['Consumo Ponta
150     ↪ (TUSD)', dados['kwh_p'], t['tUSD_p']],
151             ['Consumo F. Ponta (TE)', dados['kwh_fp'], t['te_fp']], ['Consumo F
152     ↪ . Ponta (TUSD)', dados['kwh_fp'], t['tUSD_fp']]]
153     elif mod == 'acl':
154         dem_fio = max(c_p, c_fp)
155         total_kwh = dados['kwh_p'] + dados['kwh_fp']
156         L = [['TUSD Fio (Demanda)', dem_fio, t['tUSD_fio']],
157             ['Energia ACL', total_kwh, t['energia']],
158             ['Encargos CCEE', total_kwh, t['encargos']]]
159
160     if dados['kvarh'] > 1: L.append(['Energia Reativa Exced.', dados['kvarh'],
161     ↪ TARIFAS['reativo']])
162
163     for item in L: custo_forn += item[1] * item[2]

```

```

138     pis, cofins, icms = custo_forn*CONSTANTES['PIS'], custo_forn*CONSTANTES['
    ↪ COFINS'], custo_forn*CONSTANTES['ICMS']
139     bandeira = (dados['kwh_p'] + dados['kwh_fp']) * TARIFAS['bandeira'] if mod !=
    ↪ 'acl' else 0
140     custo_trib = pis + cofins + icms + CONSTANTES['COSIP'] + bandeira
141     total_final = custo_forn + custo_trib
142
143     if not detalhado: return total_final
144
145     T = [[i[0], i[1], 'kW' if 'Demanda' in i[0] or 'Ultrapassagem' in i[0] else
    ↪ 'kWh' if 'Consumo' in i[0] else 'kVARh' if 'Reativa' in i[0] else '', i
    ↪ [2], i[1]*i[2]] for i in L if i[1] > 0.01]
146     if mod == 'azul':
147         T.insert(1, ['Demanda consumida ponta', dados['dem_p'], 'kW', '', ''])
148         T.insert(3 + (1 if ult_p > 0 else 0), ['Demanda consumida F. ponta',
    ↪ dados['dem_fp'], 'kW', '', ''])
149
150     T.append(['SUBTOTAL (FORNECIMENTO)', '', '', '', custo_forn])
151     T += [['PIS', f"{CONSTANTES['PIS']*100:.2f}%", '', '', pis],
152          ['COFINS', f"{CONSTANTES['COFINS']*100:.2f}%", '', '', cofins],
153          ['ICMS', f"{CONSTANTES['ICMS']*100:.0f}%", '', '', icms],
154          ['COSIP', 1, '', CONSTANTES['COSIP'], CONSTANTES['COSIP']]]
155     if bandeira > 0: T.append(['Bandeira Amarela', dados['kwh_p'] + dados['kwh_fp',
    ↪ ], 'kWh', TARIFAS['bandeira'], bandeira])
156
157     T.append(['SUBTOTAL (TRIBUTOS)', '', '', '', custo_trib])
158     T.append(['VALOR A PAGAR (TOTAL)', '', '', '', total_final])
159
160     return T, total_final
161
162 # =====
163 # 5. VISUALIZAÇÃO
164 # =====
165 def plot_2_1_consumo():
166     fig, ax = plt.subplots(figsize=(9,6))
167     x, p, fp = ['Atual', 'Retrofit'], [DADOS['atual']['kwh_p'], DADOS['novo']['
    ↪ kwh_p']], [DADOS['atual']['kwh_fp'], DADOS['novo']['kwh_fp']]
168     ax.bar(x, fp, label='Fora Ponta', color='#3498db')
169     ax.bar(x, p, bottom=fp, label='Ponta', color='#e74c3c')
170     for i, (f, v) in enumerate(zip(fp, p)):
171         ax.text(i, f+v+(f+v)*0.02, f'Total:\n{f+v:,.0f}', ha='center',
    ↪ fontweight='bold', fontsize=14)
172     ax.set_title('2.1 - Consumo Mensal Detalhado (kWh)', fontweight='bold',
    ↪ fontsize=16)
173     ax.legend(fontsize=12)
174     sns.despine()
175     plt.show()
176
177 def exibir(dados, tit, fatura=False, font_tabela=11):
178     cols = ["ITENS", "Qtde.", "Unid.", "Tarifa", "Valor (R$)"] if fatura else ["
    ↪ Indicador", "Valor"]
179     df = pd.DataFrame(dados, columns=cols)
180     if fatura:
181         for c in ['Qtde.', 'Valor (R$)']: df[c] = df[c].apply(lambda x: f"{x:,.2f}
    ↪ )" if isinstance(x, (int, float)) and x != '' else x)
182         df['Tarifa'] = df['Tarifa'].apply(lambda x: f"{x:.5f}" if isinstance(x, (
    ↪ int, float)) and x != '' else x)

```

```

183
184     fig, ax = plt.subplots(figsize=(12 if fatura else 8, 1.2+len(df)*(0.6 if
→ fatura else 0.7))) # Aumentei espaçamento vertical
185     ax.axis('off')
186
187     tbl = ax.table(cellText=df.values, colLabels=df.columns, loc='center',
→ cellLoc='right' if fatura else 'center')
188     tbl.auto_set_font_size(False)
189     tbl.set_fontsize(font_tabela)
190     tbl.scale(1.0, 2.0)
191
192     for (r,c_idx), cell in tbl.get_celld().items():
193         if r==0:
194             cell.set_text_props(fontweight='bold', color='white')
195             cell.set_facecolor('#005b96' if fatura else '#2c3e50')
196             elif fatura and ('SUB' in str(df.iloc[r-1,0]) or 'TOTAL' in str(df.iloc[
→ r-1,0])):
197                 cell.set_text_props(fontweight='bold')
198                 cell.set_facecolor('#e6e6e6' if 'SUB' in str(df.iloc[r-1,0]) else '
→ #009e49')
199                 if 'TOTAL' in str(df.iloc[r-1,0]): cell.set_text_props(color='white'
→ )
200                 if fatura and c_idx==0: cell.set_text_props(ha='left')
201
202     plt.title(tit, pad=20, fontweight='bold', color='#005b96' if fatura else '#2
→ c3e50', fontsize=font_tabela+4)
203     plt.show()
204
205 def plot_bar(x, y, t, p, font_size=None):
206     plt.figure(figsize=(9,7))
207     ax=sns.barplot(x=x, y=y, palette=p, hue=x, legend=False)
208     ax.set_title(t, fontweight='bold', fontsize=18)
209     ax.set_ylabel('R$/mês', fontsize=14)
210     ax.tick_params(axis='x', labels=14)
211     ax.tick_params(axis='y', labels=12)
212     for i in ax.containers:
213         ax.bar_label(i, fmt='R$ {:.0f}', padding=3, fontsize=font_size,
→ fontweight='bold' if font_size else 'normal')
214     sns.despine()
215     plt.show()
216
217 def gerar_fin(inv, econ, tit, font_size_tab=11):
218     pb = inv/econ if econ>1 else 0
219     vpl = npf.npv(CONSTANTES['TMA'], [-inv]+[econ]*CONSTANTES['PERIODO'])
220     exibir([
221         ['Investimento', f"R$ {inv:,.2f}"],
222         ['Econ. Anual', f"R$ {econ:,.2f}"],
223         ['Payback', f"{pb*12:.1f} meses" if pb<1 else f"{pb:.1f} anos"],
224         [f'VPL ({CONSTANTES["PERIODO"]})', f"R$ {vpl:,.2f}"]
225     ], tit, font_tabela=font_size_tab)
226
227 # =====
228 # EXECUÇÃO
229 # =====
230 if __name__ == "__main__":
231     plt.close('all')
232     plot_2_1_consumo()

```

```

233
234     d_at, tot_at = calcular_fatura(DADOS['atual'], 'azul', dc_p=400, dc_fp=400,
    ↪ detalhado=True)
235     exibir(d_at, f"DEMONSTRATIVO ATUAL\nTotal: R$ {tot_at:,.2f}", True,
    ↪ font_tabela=12)
236
237     d_nv, tot_nv = calcular_fatura(DADOS['novo'], 'azul', detalhado=True)
238     exibir(d_nv, f"DEMONSTRATIVO RETROFIT\nTotal: R$ {tot_nv:,.2f}", True,
    ↪ font_tabela=12)
239
240     tot_vd = calcular_fatura(DADOS['novo'], 'verde')
241     tot_acl = calcular_fatura(DADOS['novo'], 'acl')
242
243     # GRÁFICO 2.2
244     plot_bar(['Atual (Azul)', 'Novo (Azul)'], [tot_at, tot_nv], '2.2 - Economia
    ↪ Inicial', 'Reds_r', font_size=16)
245
246     # GRÁFICO 2.3
247     plot_bar(['Novo (Azul)', 'Novo (Verde)'], [tot_nv, tot_vd], f'2.3 - Melhor:
    ↪ {"Verde" if tot_vd<tot_nv else "Azul"}', 'viridis', font_size=16)
248
249     otim = min(tot_nv, tot_vd)
250     # TABELA 2.4
251     gerar_fin(INVESTIMENTO_TOTAL, (tot_at-otim)*12, "2.4 - Viabilidade Cativo",
    ↪ font_size_tab=16)
252
253     # GRÁFICO 2.5
254     plot_bar(['Base', 'Cativo Otim.', 'ACL'], [tot_at, otim, tot_acl], '2.5 -
    ↪ Comparativo ACL', ['gray', '#2980b9', '#8e44ad'], font_size=22)
255
256     # TABELA 2.6
257     gerar_fin(INVESTIMENTO_TOTAL, (tot_at-tot_acl)*12, "2.6 - Viabilidade ACL",
    ↪ font_size_tab=18)
258
259     print("\n--- SUCESSO ---")

```

Listing A.1 – Script de simulação tarifária e análise de viabilidade

Anexos

ANEXO A – Figuras.

Figura 14 – Selo Procel.



Fonte: Procel, 1993

Figura 15 – Planilha Utilizada na Simulação.

Equipamento	Qtd	CV_Atual	CV_Novo	Horas_Dia_Util	Horas_Dia_FDS	Horas_Ponta_Dia	Rend_Atual	FP_Atual	Rend_Novo	FP_Novo	FD
Compressor Parafuso 1	1	150,000	150,000	24	24	3	0,8	0,8	0,958	0,86	0,9
Compressor Parafuso 2	1	150,000	150,000	24	24	3	0,8	0,8	0,958	0,86	0,9
Bomba de água (condensador)	2	15,000	15,000	24	24	3	0,9	0,81	0,924	0,83	0,9
Ventiladores (condensador)	4	10,000	10,000	24	24	3	0,89	0,82	0,917	0,84	0,9
Ventiladores (Câmara fria)	20	2,000	2,000	24	24	3	0,83	0,78	0,865	0,8	0,9
Iluminação (máquinas)	15	0,543	0,2038	24	24	3	1	0,94	1	0,96	1
Serra de corte	3	5,000	5,000	16	16	0	0,82	0,75	0,895	0,77	0,7
Esteira de desossa	3	3,000	3,000	16	16	0	0,82	0,79	0,875	0,8	0,7
Transporte Aéreo (NOREA)	1	15,000	15,000	16	16	0	0,8	0,8	0,924	0,83	0,7
Iluminação (produção)	25	0,543	0,2038	24	24	3	1	0,94	1	0,96	1
Moedor de Carne	1	20,000	20,000	16	16	3	0,93	0,81	0,93	0,81	0,7
Embaladora a vácuo	1	10,000	10,000	16	16	3	0,917	0,84	0,917	0,84	0,7
Iluminação (processamento)	20	0,054	0,054	24	24	3	1	0,98	1	0,98	1
Compressor de ar	1	50,000	50,000	24	24	3	0,8	0,8	0,945	0,83	0,7
Bomba de Alta pressão	2	10,000	10,000	8	8	3	0,8	0,8	0,917	0,84	0,7
Iluminação (pátio)	10	0,543	0,2038	24	24	3	1	0,94	1	0,96	1
Ar Condicionado (escritórios)	3	2,038	2,038	12	0	0	1	0,98	1	0,98	0,7
Equipamentos escritórios	1	6,793	6,793	12	0	0	1	0,96	1	0,96	0,7
Iluminação (escritórios)	18	0,0204	0,0204	12	0	0	1	0,98	1	0,98	1

Fonte: Autor.