

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PAMPA

JOVANE FRÜHAUF DA SILVA

**ESTUDO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA NO SISTEMA DE FORÇA MOTRIZ EM
INDÚSTRIAS DE TRANSFORMAÇÃO DE SUBPRODUTOS DO ABATE DE
ANIMAIS**

Alegrete

2017

JOVANE FRÜHAUF DA SILVA

**ESTUDO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA NO SISTEMA DE FORÇA MOTRIZ EM
INDÚSTRIAS DE TRANSFORMAÇÃO DE SUBPRODUTOS DO ABATE DE
ANIMAIS**

Trabalho de conclusão de curso apresentado como parte das atividades para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Elétrica, do curso de Engenharia Elétrica da Fundação Universidade Federal do Pampa.

Orientador: Prof. Dr. José Wagner M. Kaehler

Alegrete

2017

Ficha catalográfica elaborada automaticamente com os dados fornecidos
pelo(a) autor(a) através do Módulo de Biblioteca do
Sistema GURI (Gestão Unificada de Recursos Institucionais) .

S581e Silva, Jovane Frühauf da
ESTUDO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA NO SISTEMA DE
FORÇA MOTRIZ EM INDÚSTRIAS DE TRANSFORMAÇÃO DE
SUBPRODUTOS DO ABATE DE ANIMAIS / Jovane Frühauf da
Silva.

74 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação)--
Universidade Federal do Pampa, ENGENHARIA ELÉTRICA,
2017.

"Orientação: José Wagner Maciel Kaehler".

1. Eficiência energética. I. Título.

JOVANE FRÛHAUF DA SILVA

**ESTUDO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA NO SISTEMA DE FORÇA MOTRIZ EM INDÚSTRIAS DE
TRANSFORMAÇÃO DE SUBPRODUTOS DO ABATE DE ANIMAIS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Elétrica da Universidade Federal do Pampa, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Elétrica.

Área de Concentração: Sistemas Elétricos de Potência

Trabalho de Conclusão de Curso defendido e aprovado em: 27 de novembro de 2017.

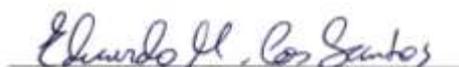
Banca examinadora:



Prof. Dr. José Wagner Maciel Kachler
Orientador



Prof(a). Me. Ana Paula Carboni de Mello
UNIPAMPA



Prof. Dr. Eduardo Machado dos Santos
UNIPAMPA

Dedico este trabalho a todas as pessoas envolvidas no meu estudo, as quais me apoiaram nesta jornada.

AGRADECIMENTO

Aos meus familiares e amigos, os quais me incentivaram desde o início desta jornada até a realização do presente trabalho final desta etapa em que se encerra. Os mesmos permaneceram na angústia, ausência e alegrias nesses quatro anos e meio.

Ao professor orientador que ajudou nesta etapa e juntamente aos demais professores pelos conhecimentos ensinados.

Agradeço pelo convívio aos meus colegas de graduação do curso de Engenharia Elétrica.

RESUMO

Este trabalho apresenta o desenvolvimento de um modelo padrão de diagnóstico de avaliação do potencial energético no sistema de força motriz em uma indústria de transformação de subprodutos de abate de animais, o qual busca um modelo padrão para as demais unidades da empresa em questão. Com este intuito, realizou-se um estudo de eficiência energética com a substituição de motores e a aplicação de acionamentos eficientes destes e, paralelamente, avaliou-se a qualidade de energia elétrica na empresa para buscar o melhor modelo de acordo com as características da indústria. Desta forma, analisou-se o consumo de energia através das tarifas de energia, a qualidade de energia com medições de grandezas elétricas do centro de comando dos motores (CCM) e de dois principais motores elétricos, selecionados a partir de sua relevância e seus altos consumos. A medição nestes dois motores, além de poder servir como indicador de qualidade, também foi utilizada para a avaliação da substituição da partida destes equipamentos, promovendo assim a eficiência energética. Com base na metodologia aplicada, verificou-se o contrato de demanda, o qual deverá ser aumentado em 3,57% caso nenhuma medida de eficiência for assumida. Por fim, para a validação da aplicabilidade do modelo estimou-se a redução com a substituição das chaves compensadoras por inversores de frequência.

Palavras-Chave: Eficiência energética, força motriz, conservação de energia elétrica.

ABSTRACT

This work presents the development of a standard diagnostic model for the evaluation of energy potential in the powertrain system in an animal slaughter by-product processing industry, which seeks a standard model for the other units of the company in question. With this aim, an energy efficiency study was carried out with the replacement of motors and the application of efficient drives of these and, at the same time, the quality of electric energy in the company was evaluated to find the best model according to the characteristics of the industry. In this way, we analyzed energy consumption through energy tariffs, energy quality with electrical quantity measurements of the engine control center (CCM) and two main electric motors, selected from their relevance and their high consumption. The measurement in these two engines, besides being able to serve as an indicator of quality, was also used to evaluate the replacement of the start of these equipment's, thus promoting energy efficiency. Based on the applied methodology, the demand contract was verified, which should be increased by 3.57% if no efficiency measures were taken. Finally, to validate the applicability of the model, it was estimated the reduction with the replacement of compensating keys by frequency inverters.

Key words: Energy efficiency, driving force, conservation of electric energy.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Consumo energético por setor em 2016.	19
Figura 2 – Consumo de energia elétrica em 2016.....	20
Figura 3 – Consumo de eletricidade e eficiência elétrica do setor industrial.	22
Figura 4 – Etapas do Diagnóstico Energético.	23
Figura 5 – Exemplo dos distúrbios elétricos.....	32
Figura 6 – Exemplo de onda senoidal fundamental e 180 Hz.	33
Figura 7 – Exemplo do terceiro harmônico.....	33
Figura 8 – Modelo de Diagnóstico Energético.....	38
Figura 9 – Diagrama unifilar geral simplificado.....	44
Figura 10 – Fluxograma de produção.	46
Figura 11 – Histórico de demandas de energia elétrica contratadas e lidas.	48
Figura 12 – Histograma de frequências de demanda fora ponta.....	48
Figura 13 – Duração de interrupção individual por unidade consumidora (DIC).	49
Figura 14 – Frequência de interrupção individual por unidade consumidora (FIC). ..	49
Figura 15 – Duração máxima de interrupção contínua por unidade consumidora (DMIC).....	50
Figura 16 – Histórico de consumo de energia elétrica.	50
Figura 17 – Histórico de consumo de kW do mês de julho de 2017.....	51
Figura 18 – Histórico de consumo de kVAr do mês de julho de 2017.	52
Figura 19 – Fator de potência horário.	52
Figura 20 – Método de instalação do registrador de grandezas elétricas.	53
Figura 21 – Comportamento da tensão em 17/09/2017.	55
Figura 22 – Comportamento das correntes em 17/09/2017.	55
Figura 23 – Fator de Potência trifásico em 17/09/2017.....	56
Figura 24 – Motor elétrico do digestor contínuo.	57
Figura 25 – Motor elétrico da prensa.....	60
Figura 26 – Partida do digestor contínuo.	62
Figura 27 – Fluxo de caixa para aquisição do inversor.	63
Figura 28 – Redução de demanda na ponta com a substituição das chaves compensadoras.....	64
Figura 29 – Redução de demanda fora ponta com a substituição das chaves compensadoras.....	64

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Total de abate de suínos, bovinos e aves em 2016.	21
Tabela 2 – Porcentagem média de matéria prima e de processamento.	21
Tabela 3 – Classificação de tensão em regime permanente.....	30
Tabela 4 – Níveis máximos de distorção harmônica na tensão.	34
Tabela 5 – Níveis máximos de distorção harmônica na corrente.....	34
Tabela 6 – Registros mínimos e máximos de tensão.....	54
Tabela 7 – Dados de placa do motor do digestor contínuo.	57
Tabela 8 – Matéria prima processada.	58
Tabela 9 – Carregamento do digestor contínuo.	59
Tabela 10 – Dados de placa do motor da prensa.....	60
Tabela 11 – Comparação entre o sistema atual e proposto.....	65

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABESCO – Associação Brasileira das Empresas de Serviços de Conservação de Energia

ANEEL – Agência Nacional De Energia Elétrica

DPS – Dispositivo de Proteção contra Surtos

EE – Eficiência Energética

Faros – Indústria de Farinha de Ossos Ltda

FP – Fator de Potência

Hz – Hertz

LED – *Light Emitting Diode*

NBR – Normas Brasileiras Regulamentadoras

QEE – Qualidade de Energia Elétrica

RGE SUL – Rio Grande Energia S.A. do Sul

RS – Rio Grande do Sul

PRODIST – Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional

UNIPAMPA – Universidade Federal do Pampa

UPS – *No-Breaks*

V – Volts

W – Watts

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	14
1.1	Justificativa	16
1.2	Objetivos.....	16
1.3	Organização do Trabalho	17
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	18
2.1	Considerações Iniciais	18
2.2	O Setor Industrial	20
2.2.1	Caracterização do setor	20
2.2.2	Eficiência energética no setor	21
2.2.3	Força Motriz	22
2.3	Diagnóstico Energético	23
2.3.1	Conhecimento das instalações	23
2.3.2	Levantamento do funcionamento operacional.....	24
2.3.3	Levantamento das faturas de energia	24
2.3.4	Levantamento dos custos operacionais e de manutenção.....	25
2.3.5	Levantamento das matrizes de insumos energéticos.....	25
2.3.6	Tecnologias em eficiência	26
2.3.7	Avaliação e síntese das tecnologias	26
2.3.8	Relatório final	28
2.4	Qualidade de Energia.....	28
2.4.1	Distúrbios e perturbações	28
2.4.2	Interrupções transitórias.....	29
2.4.3	Variações de tensão.....	30
2.4.4	Surtos.....	31
2.4.5	Distorção Harmônica.....	32
2.5	Aterramento.....	35

2.6	Considerações finais	37
3	METODOLOGIA	38
3.1	Modelo de diagnóstico energético	38
3.2	Conhecimento das instalações.....	39
3.3	Levantamento das faturas de energia	39
3.4	Levantamento de curvas	39
3.5	Levantamento da força motriz e das linhas de processo.....	40
3.6	Levantamento dos insumos energéticos.....	40
3.7	Tecnologias em eficiência.....	40
3.8	Análise das tecnologias adequadas.....	41
3.9	Estimativa do potencial	41
3.10	Considerações finais	42
4	ESTUDO DE CASO.....	43
4.1	Planta industrial estudada.....	43
4.1.1	Diagrama unifilar geral	43
4.1.2	Processos produtivos	44
4.1.3	Históricos e curva de carga.....	47
4.1.4	Insumos energéticos	53
4.2	Tecnologias adequadas para a indústria	61
4.2.1	Substituição de motores.....	61
4.2.2	Substituição de acionamento do digestor contínuo.....	62
4.2.3	Substituição de acionamento da prensa	62
4.3	Estimativas de eficiência.....	65
4.4	Considerações finais	65
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	66
5.1	Sugestão para trabalhos futuros	67
6	REFERÊNCIAS	68

1 INTRODUÇÃO

Conforme dados da Associação Brasileira das Empresas de Serviços de Conservação de Energia (ABESCO), nos últimos três anos, estima-se que o Brasil tenha desperdiçado cerca de 143,647 milhões de GigaWatt-hora (GWh). Isto representa um valor 1,4 vezes maior do que toda a produção de Itaipu Binacional no ano anterior (2016), totalizando um desperdício de R\$ 61,71 bilhões (ABESCO, 2017).

Toda essa energia desperdiçada ou deixada de ser economizada, está em parte associada a ineficiência do maquinário industrial, sistemas de iluminação, eletrodomésticos e motores elétricos, os quais em muitos casos, encontram-se sobre dimensionados o em instalações elétricas obsoletas. Tal problema poderia ser em parte solucionado através da modernização industrial e da adoção de produtos mais eficientes.

Neste período, o país manteve-se voltado para investimentos na geração de energia com o aporte recente das fontes renováveis. Contudo, de longa data existem diversos programas e estudos voltados a redução do consumo de energia e à otimização de sistemas produtivos, como exemplo recente, cita-se a atual intensificação do uso de iluminação artificial por meio das lâmpadas LED (*Light Emitting Diode*) em substituição as incandescentes, banidas do mercado.

Por outro lado, os estudos acerca da melhoraria dos rendimentos da força motriz também não foram deixados de lado, pois sabe-se que os rendimentos dos motores elétricos são relativamente baixos. Este fato pode ser abordado em termos da energia útil, isto é, o quanto de energia é de fato utilizada para a realização de trabalho, que no caso dos motores elétricos é a força disponibilizada em seu eixo, descontada das perdas elétricas magnéticas e mecânicas que decorrem de sua operação.

A Eficiência Energética (EE) de um equipamento e/ou sistema está associada ao quanto da energia que é efetivamente entregue, dividida pelo quanto de energia que está sendo solicitada da rede pelo dispositivo para realizar trabalho. Desta forma, o desperdício está vinculado às perdas e a qualidade de energia fornecida para o equipamento em uso, o que leva a uma eficiência sempre menor que 1.

Deste modo, a EE pode ser avaliada em três principais formas:

- Termodinâmica – transformação de uma forma de energia em outra;

- Econômico/Termodinâmico – onde o produto do processo é estimado através dos preços de mercado e a energia que entra por unidades termodinâmicas convencionais (intensidade energética) e;
- Econômica – a qual resulta na medição exclusiva dos termos monetários dos insumos, produtos e serviços resultantes do sistema.

O documento intitulado “Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional” (PRODIST) classifica em dois pontos principais a avaliação da qualidade da energia elétrica, referentes à Qualidade do Produto e dos Serviços.

A qualidade do produto é caracterizada pelos fenômenos elétricos, estabelecendo indicadores com valores de referência para a tensão em regime permanente e perturbações na forma da onda da tensão. Por outro lado, a qualidade dos serviços remete-se a indicadores relativos à continuidade e dos tempos de atendimento das distribuidoras para com as unidades consumidoras (ANEEL, 2017).

Um dos distúrbios elétricos mais conhecidos é a Distorção Harmônica, pois a maioria dos equipamentos eletrônicos são fontes geradoras dessa distorção. Os equipamentos que geram harmônicas são aqueles que têm em sua composição os tiristores, transistores e diodos para o controle da onda de tensão e corrente, operando assim em um constante chaveamento para modelar a onda que se quer produzir.

Porém, muitos dos problemas enfrentados por empresas e consumidores referem-se a aterramentos mal feitos ou de conexões danificadas com o passar do tempo, tendo assim a resistência alterada. Neste contexto, destaca-se que a principal função de um aterramento é criar um caminho de baixa impedância para que as correntes de fuga e as correntes harmônicas possam facilmente escoar para terra, evitando assim choques elétricos e, no caso de harmônicas, minimizando seus efeitos.

Neste contexto, este trabalho analisa o potencial de conservação da eletricidade e a qualidade da energia elétrica no setor de produção primário e do fornecimento principal de uma indústria de preparação de subprodutos do abate de animais através de medidas de EE, aplicadas em sistemas de força motriz. Apresenta-se também um modelo padrão de análise de EE a ser seguido por empresas semelhantes à analisada.

1.1 Justificativa

Na área industrial do mercado de energia elétrica é onde se concentram as maiores possibilidades de redução de consumo e demanda, intrinsecamente relacionadas à eficiência energética, em especial a eletricidade, derivados de petróleo e água. Deste modo, a EE vem se tornando um caminho para o aumento da competitividade devido ao potencial de redução de custos operacionais.

De acordo com o Balanço Energético Nacional (BEN), o consumo energético do setor em 2016 foi de 29,2% de 288,3x10⁶ toneladas equivalentes de petróleo (tep) e para a eletricidade 31,5% de 619,7 Tera Watt-hora (TWh) consumidos por todos os setores. Tal consumo está atrelado ao grande número de força motriz, sendo o fator responsável por uma parcela mais elevada no desperdício de energia (EPE, 2017).

Frente a tanto desperdício que uma indústria pode gerar, conhecer métodos e técnicas para inibir o tamanho do problema torna-se relativamente útil. Este fato implica em conhecer todo o setor produtivo, comportamento de demandas e os perfis operacionais dos equipamentos que se encontram na ativa do processo produtivo da indústria para que seja elaborado um modelo padrão de diagnóstico da eficiência energética.

1.2 Objetivos

Têm-se como objetivo geral elaborar um modelo padrão para a avaliação da eficiência energética dos serviços energéticos de força motriz, através de dados levantados com equipamentos adequado para a medição de grandezas elétricas.

Deste modo, o objetivo principal é a geração de um modelo padrão de diagnóstico de avaliação de potencial energético de conservação de energia elétrica que melhor se adapta as condições de operação de indústrias de subprodutos do abate de animais. Conseqüentemente, têm-se objetivos secundários que auxiliaram para atingir o objetivo principal de forma promissora, sendo eles:

- Avaliar e analisar as condições de operação da força motriz de uma indústria de transformação de subprodutos do abate de animais;
- Estimar o potencial de eficiência energética do setor primário de produção da indústria;

- Avaliar a aplicabilidade de novas tecnologias de alta eficiência em acionamentos e controle de motores elétricos;
- Contribuir com os gestores na tomada de decisões de substituição de motores elétricos e alteração de contratos de energia através de indicadores de consumo e qualidade.

1.3 Organização do Trabalho

O presente trabalho encontra-se organizado em 5 capítulos. O presente capítulo traz a introdução sobre a pesquisa do tema abordado, as definições dos objetivos gerais e específicos e também as justificativas e a organização dos temas abordados neste trabalho.

No Capítulo 2 é exposto a eficiência energética, caracterização da indústria de estudo, força motriz, distúrbios e perturbações elétricas comumente encontrados em instalações elétricas industriais, com ênfase em distorção harmônica, e a conceituação do aterramento.

O Capítulo 3 apresenta a metodologia utilizada para a realização dos levantamentos em campo (na indústria) e a manipulação dos dados levantados. O capítulo seguinte apresenta o estudo de caso trazendo dados, informações e resultados obtidos durante a fase de levantamento em campo e conseqüentemente os resultados das análises realizadas. No Capítulo 5 são evidenciadas as considerações finais com um parecer dos levantamentos e das análises realizadas.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Este capítulo se destina ao embasamento teórico obtido através da literatura, contemplando a conservação e a qualidade de energia elétrica. Desta forma, abordam-se as definições técnicas e os equipamentos que auxiliam no diagnóstico de sistemas, bem como processos e máquinas/equipamentos ineficientes.

2.1 Considerações Iniciais

O uso da energia elétrica tem se tornado indispensável para a vida das pessoas e, junto com o crescimento da utilização de fontes de energia elétrica renováveis, vem crescendo pela maneira de como estas energias estão sendo utilizadas tanto pelos seus consumidores finais como seus distribuidores.

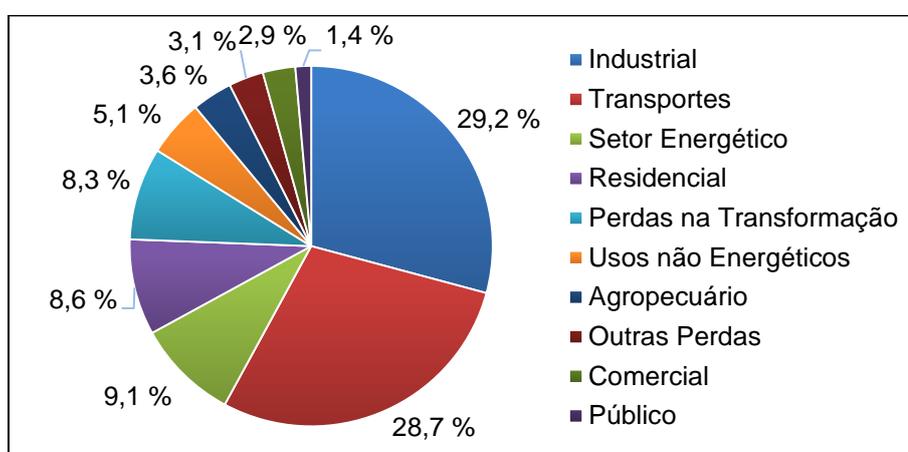
Deste modo, em 30 de dezembro de 1985, o Ministério de Minas e Energia (MME), juntamente com a secretaria executiva da Eletrobrás, assumiram o Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (PROCEL), criado pelo Governo Federal com a finalidade de desenvolver estratégias para o consumo eficiente da energia elétrica pela sociedade e, conseqüentemente, combater o desperdício (INFO, 2017).

Nesse contexto, o programa atua nas áreas de equipamentos: através de identificação do Selo PROCEL; Edificações: com recomendações especializadas e simuladores; Iluminação Pública (Reluz): apoiando prefeituras no planejamento e implementação de projetos; Poder Público: auxilia nos projetos de redução de consumo de energia elétrica; Indústria e Comércio: desenvolvendo treinamentos, manuais e ferramentas computacionais; Conhecimento: elabora e dissemina informação qualificada acerca de eficiência energética (INFO, 2017).

Desde o ano de 2013, o PROCEL vem elaborando relatórios anuais relativos às economias de energia elétrica, contendo informações de progresso da eficiência energética e seus objetivos para o ano subsequente. Desta forma, em 2016 completaram-se 31 anos de trabalho do programa, com investimentos e custeio quase que exclusivamente feitos pela Eletrobrás, através de recursos da própria empresa e de fundos internacionais. Em relação ao ano base de 2016, a energia economizada foi cerca de 15,15 bilhões de kWh, a qual é equivalente a uma usina de 3.634 MW (PROCEL, 2017).

Em ênfase ao setor industrial, sendo este o que mais consome produtos energéticos (petróleo, eletricidade, gás, dentre outros) dentre as áreas de atuação do PROCEL, destaca-se que este obteve uma redução no seu consumo de 4,7% em relação ao ano anterior (2015) e que levou, conseqüentemente, a maioria dos outros setores a reduzirem seu consumo. Desta forma, a Figura 1 ilustra os consumos energéticos dos principais setores no ano de 2016, conforme a Síntese do Relatório final de 2017 do BEN da Empresa de Pesquisa Energética (EPE) (EPE, 2017).

Figura 1 – Consumo energético por setor em 2016.

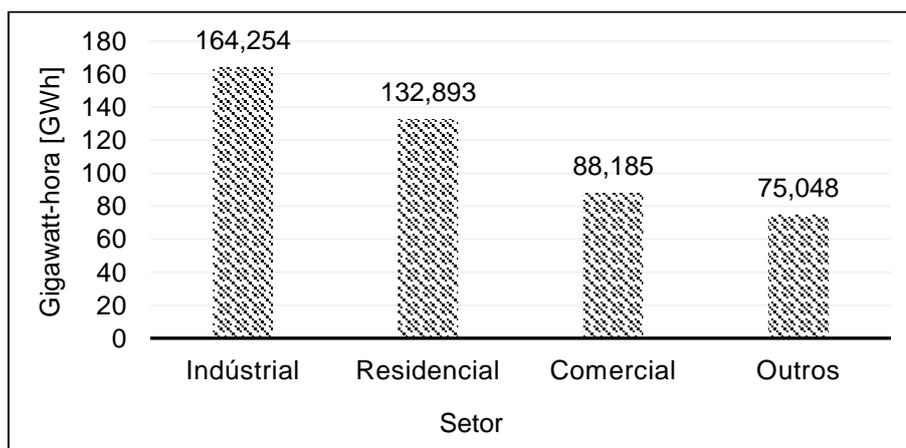


Fonte: Síntese do Relatório Final (EPE, 2017).

Na Figura 1 pode-se observar que existem três setores que se destacam dos demais, sendo estes o setor industrial, de transportes e o comercial com representatividade de 29,2%, 28,7 e 9,1%, respectivamente.

Em termos de consumo de energia elétrica no Brasil, estes três setores aparecem como os mais representativos com 83,70% do consumo total. Deste modo, a Figura 2 apresenta o consumo de energia elétrica destes três setores, conforme dados obtidos do Potencial de Economia por Setor de 2008 a 2016 da ABESCO (ABESCO, 2017). Nela pode-se observar um elevado consumo de energia elétrica no setor industrial, o qual consome aproximadamente 35,68 % do total.

Figura 2 – Consumo de energia elétrica em 2016.



Fonte: Potencial de Economia por Setor (ABESCO, 2017).

2.2 O Setor Industrial

Observando os gráficos apresentados anteriormente, nota-se o elevado consumo energético do setor industrial em relação aos outros setores econômicos. Este fato está relacionado ao grande número de força motriz encontrado neste segmento. Tratando-se apenas de energia elétrica, aproximadamente 67% deste consumo está associado à força motriz (INFO, 2017).

2.2.1 Caracterização do setor

O setor industrial possui diversas segmentações das indústrias que o compõem, dentre as quais podem-se citar as indústrias automobilística, petroquímica, química, de construção civil, têxtil, metalúrgica, mecânica, alimentares, de transformação, dentre outras.

A maior concentração das indústrias está na região Sudeste (Espírito Santo, Minas Gerais, Rio de Janeiro e São Paulo) e Sul (Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul). A quantidade de abate de suínos, bovinos e frango de corte nestas regiões e no Brasil no ano de 2016 estão dispostos na Tabela 1 (IBGE, 2017).

Tabela 1 – Total de abate de suínos, bovinos e aves em 2016.

Região	Suíno	Bovino	Frango de Corte
	Milhões de cabeça		
Demais Regiões	6,48	20,48	1.152,95
Sudeste	7,87	5,72	1.172,05
Sul	27,97	3,50	3.535,32

Fonte: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2017).

De acordo com a Associação Brasileira de Reciclagem Animal (ABRA) o que não é aproveitado pelos frigoríficos é destinado às indústrias de transformação (graxarias) para o seu processamento, sendo que para cada 100 kg de animal vivo é aproveitada uma porcentagem média mostrada na Tabela 2 (ABRA, 2017).

Tabela 2 – Porcentagem média de matéria prima e de processamento.

Espécie Animal	Matéria prima [%]		Processamento [%]		
	Vísceras	Sangue	Gordura/Sebo	Farinhas	Unidade
Bovino	35	3	18	27	55
Suíno	17	3	16	25	57
Frango de corte	16	3	20	25	55

Fonte: Associação Brasileira de Reciclagem Animal (ABRA, 2017).

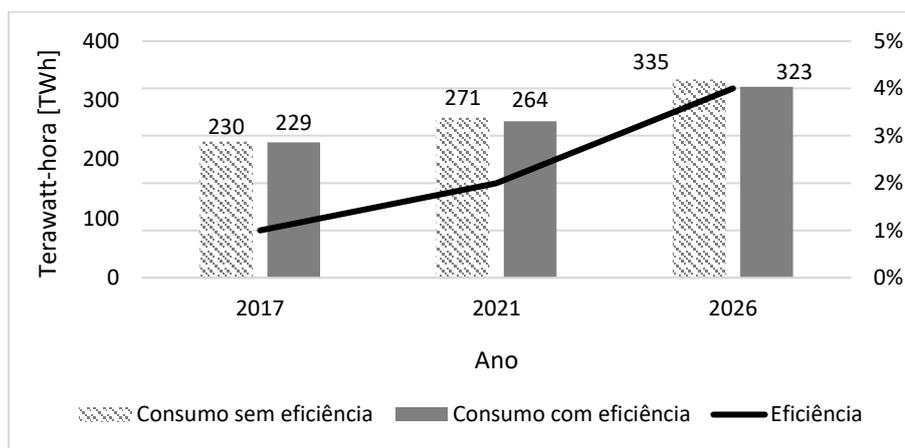
2.2.2 Eficiência energética no setor

A eficiência energética neste setor se dá por meio da otimização dos sistemas de produção, basicamente compostos por sistemas motrizes, onde as instalações elétricas e mecânicas são reorganizadas, otimizadas e/ou substituídas, com o intuito de evitar o desperdício de energia. Em contrapartida o PROCEL já implementou 14 Laboratórios de Otimização de Sistemas Motrizes (Lamotrizes) nas universidades brasileiras com o intuito de explorar a eficiência energética neste segmento (INFO, 2017).

De maneira a apresentar uma perspectiva para os próximos anos, a EPE juntamente com MME elaboram um Plano Decenal de Expansão de Energia (PDE). Neste contexto, consultando o PDE 2026, se mantidos os padrões tecnológicos observados no ano de 2016, estima-se que o setor atinja uma conservação de energia elétrica de aproximadamente 4% em 2026 (EPE, 2017).

Na Figura 3 observa-se a estimativa do consumo com e sem eficiência energética para os próximos anos.

Figura 3 – Consumo de eletricidade e eficiência elétrica do setor industrial.



Fonte: Plano Decenal de Expansão de Energia 2026 (EPE, 2017).

2.2.3 Força Motriz

A força motriz, denominada neste trabalho como motores elétricos e seus componentes de controle, monitoramento e proteção, são utilizados para mover a maioria do maquinário em uma indústria. Neste contexto, os motores elétricos vêm sendo constantemente aprimorados para atingir o seu máximo rendimento de conversão de energia (elétrica – motriz).

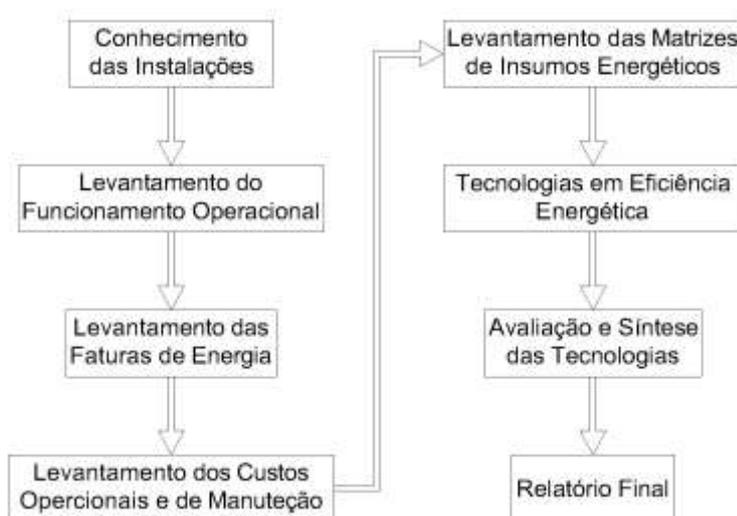
Conforme a Associação Brasileira de Manutenção e Gestão de Ativos (ABRAMAN), a idade média dos equipamentos/instalações nas empresas brasileiras é de 17 anos (ABRAMAN, 2017). Considerando esta média para os motores elétricos, percebe-se que tais equipamentos (em sua maioria) estão obsoletos e/ou operando com baixo rendimento construtivo. O rendimento dos motores nos últimos 17 anos teve um aumento de aproximadamente 6,3 %, chegando a 95,6% nas unidades acima de 15 CV (WEG, 2017).

No dia 30 de agosto de 2017 o MME trouxe através do Diário Oficial da União uma resposta a Lei de Eficiência Energética nº 10.295 com o Programa de Metas para Motores Elétricos Trifásicos de Indução Rotor Gaiola de Esquilo. Isto é, com a assinatura da Portaria Interministerial nº 1 de 29/07/2017 estipula os rendimentos mínimos de eficiência que estes motores devem atender para serem comercializados no Brasil. (MME, 2017). Esta portaria traz uma importante medida para a redução de desperdício com força motriz atualmente em operação.

2.3 Diagnóstico Energético

As etapas comumente recomendadas e seguidas para um diagnóstico energético em uma instalação elétrica industrial estão ilustradas no fluxograma da Figura 4. Tal fluxograma foi elaborado com o auxílio do Capítulo 15 – Eficiência Energética do livro de Instalações elétricas Industriais do autor João Mamede Filho de 2017.

Figura 4 – Etapas do Diagnóstico Energético.



Fonte: O autor (2017).

Deste modo, para a geração do relatório são necessárias sete etapas, as quais serão apresentadas e discriminadas nos itens seguintes.

2.3.1 Conhecimento das instalações

A premissa primordial da eficiência é conhecer o local onde se pretende avaliar o potencial de conservação energético. Desta forma, ao prospectar as instalações físicas do local pode-se realizar o levantamento das instalações de maneira orientada e sem desrespeitar as normas do empreendimento.

Após o conhecimento das instalações, deve-se levantar as linhas de processo produtivo, explicitando a entrada e saída dos recursos energéticos utilizados e/ou os que se deseja realizar a eficiência. No caso do levantamento direcionado ao

energético específico, só é realizado quando for solicitado pela direção do empreendimento ou quando já se possui amplo conhecimento do estabelecimento e dos principais consumos energéticos.

Para a apresentação destes dados, comumente faz-se o uso de diagramas elétricos simplificados, linhas de processos através de diagrama de blocos ou fluxogramas com entradas e saídas de insumos em cada processo com o intuito de guiar e orientar os próximos passos.

2.3.2 Levantamento do funcionamento operacional

Ao concluir o levantamento físico do estabelecimento, passa-se ao levantamento do funcionamento operacional, isto é, levanta-se o período de funcionamento geral do empreendimento, de cada setor e dos principais consumidores de insumos energéticos do processo.

Para o funcionamento geral, compreende-se ao horário de início e término diário e semanal, explicitando os horários de pausas para manutenções preventivas e trocas de turnos da empresa e de cada setor em questão. Nesta discriminação, é também relevante ressaltar os principais causadores do consumo do processo de cada setor.

Também, levantam-se as curvas de tensão, corrente, potência, temperatura, pressão e vazão. No contexto deste trabalho, solicita-se a memória de massa do equipamento de medição da distribuidora ou do controlador de demanda, ou ainda pode-se colocar um registrador de grandezas elétricas na entrada de energia e também nos principais pontos de consumo.

2.3.3 Levantamento das faturas de energia

Nesta etapa realiza-se o levantamento das faturas de energia elétrica de no mínimo um ano retrocedente para avaliação dos principais dados que compõem a tarifa. Desta forma, observasse o comportamento da carga da unidade consumidora durante o período podendo averiguar quaisquer problemas de faturas ou ressarcimentos incorretos.

No levantamento, avaliam-se os indicadores de qualidade do serviço prestado pela distribuidora, observando se as metas foram atingidas ou extrapoladas. Caso

haja ultrapassagem dos limites, obrigatoriamente deverá haver o ressarcimento ao consumidor. Tratando-se do consumo de energia ativa e reativa, averigua-se se não há ultrapassagens de demanda contratada e de reativos excedentes.

Com todas as tarifas exploradas e com seus dados alocados em planilhas e/ou projetadas em gráficos, além de verificar o funcionamento operacional, consegue-se avaliar o contrato da tarifa e da demanda perante a distribuidora.

2.3.4 Levantamento dos custos operacionais e de manutenção

Nesta etapa contabiliza-se o que é necessário para processar a matéria prima e gerar o produto final, a mão de obra agregada ao processo, os possíveis estrangulamentos que podem afetar o processo produtivo, o custo do tempo de inatividade da linha de produção e os custos com manutenção de maquinário. Desta forma, na tomada de decisões sobre a prioridade de manutenções preventivas, trocas de equipamentos obsoletos e degradados pelo uso se tornam primordiais.

2.3.5 Levantamento das matrizes de insumos energéticos

Para este levantamento, os elementos que contemplam a matriz serão todos os insumos energéticos utilizados para obtenção do produto final gerado pelo empreendimento, isto é, contabiliza-se a entrada, desperdícios, insumos agregados ao processo e o produto final.

No levantamento de grandezas elétricas, devem-se utilizar medidores de energia com memória de massa suficiente para atender os requisitos do PRODIST e também para gerar curvas satisfatórias dos valores medidos (FILHO, 2017). Os pontos de medições irão depender do objetivo da eficiência, como neste trabalho será analisado a força motriz, são dois tipos de medições consideradas, nos terminais dos motores e no centro de controle de motores (CCM).

Desta forma, para as medições de motores elétricos pequenos (potência menor que 5 cv), devem ser realizadas leituras instantâneas em seus terminais. Para motores maiores e que operam com carga uniforme, podem-se realizar leituras instantâneas ou de no mínimo 4 horas. Caso contrário deve-se registrar um ciclo completo de operação da máquina. Já para as medições em CCM, o objetivo será a medição de consumo e da qualidade de energia fornecida aos motores, sendo essa medição

realizada com no mínimo um dia ou um ciclo completo de funcionamento da indústria (FILHO, 2017).

Para a realização de leituras instantâneas, deve-se conhecer exatamente a carga do equipamento, caso contrário, o que mais se recomenda é a medição de no mínimo um ciclo completo de produção para poder identificar as solicitações extremas dos equipamentos, sempre correlacionando com o tipo de produção. Para pequenos motores, como no caso de esteiras transportadoras, faz-se o levantamento por família de serviços e de potências.

2.3.6 Tecnologias em eficiência

Compreende a pesquisa por novas tecnologias relacionadas ao sistema de processo do produto final, ou seja, maquinário com mais rendimento, insumos que geram menos impactos ao meio ambiente e mais eficientes, métodos de reaproveitamento de insumos ao longo do processo dentre outras técnicas.

Nesta etapa, também é relevante a atualização dos conceitos das regulamentações vigentes, pois todas as substituições deveram estar de acordo com elas. Isto é, as normas vigentes estão constantemente sendo revisadas e melhoradas, com por exemplo a atual revisão da NBR 5410 e NBR 5419.

2.3.7 Avaliação e síntese das tecnologias

Esta penúltima etapa consiste em reunir todos os elementos das outras etapas realizadas de forma clara e específica, de maneira a dar auxílio na avaliação dos dados e determinação das prioridades. Com isso, pode-se utilizar o “Diagrama de Pareto” (ou “Análise de Pareto”) criado pelo italiano Vilfredo Pareto para ordenar e tornar visível as causas que originam as perdas e que deverão ser sanadas (BEZERRA, 2015).

Este método consiste em um gráfico composto por barras que ordenam as ocorrências na ordem decrescente, permitindo assim a fácil localização dos problemas vitais. Deste modo, ela se baseia no princípio que as maiores perdas possuem poucas causas (BEZERRA, 2015).

Na adoção de medidas de eficiência energética é prescindível a realização de uma análise econômica das tecnologias adotadas. Isto é, deve-se aplicar no mínimo

os métodos determinísticos do Valor Presente Líquido (VPL) e da Taxa Interna de Retorno (TIR). Estes dois métodos permitem realizar a análise da viabilidade financeira de novos projetos através de estimativas do fluxo de caixa (FILHO, 2017).

O VPL consiste na soma algébrica do fluxo de caixa trazido para o período zero ($T = 0$), ou seja, com o valor das prestações da aquisição do equipamento monta-se o fluxo de caixa e através dele aplica-se a Equação (1) (FILHO, 2017).

$$F_{ac} = \sum_{T=0}^N \frac{F_c}{(1 + I)^T} \quad (1)$$

Onde:

- F_{ac} = Fluxo de caixa acumulado, em reais [R\$];
- F_c = Fluxo de caixa em reais [R\$];
- I = Taxa interna de retorno ou taxa de desconto;
- T = Período em meses, trimestres, anos ou conforme parcelas a serem pagas.

Logo, para valores maiores que zero, o investimento será viável. Para valores iguais a zero, o investimento não surtiu efeito e, para valores inferiores a zero, o investimento resultou em prejuízo (FILHO e KOPITKE, 2010).

A Taxa Interna de Retorno representa a Taxa de Desconto para o qual ao final da vida útil do equipamento e/ou empreendimento o Valor Presente Líquido – VPL é nulo. Qual seja é a taxa para o qual o investimento iguala-se ao somatório atualizado das receitas. Representa para as empresas o valor limite de Taxa Interna de Retorno, associada ao custo de capital, isto é, os recursos financeiros que a empresa possui em mãos ou que pretende contratar (PRATES, 2016).

Para a substituição de motores elétricos que estão operando com seu correto dimensionamento e que, para os quais, deseja-se realizar apenas uma substituição do motor por um de maior rendimento, pode-se fazer o uso da Equação (2). Ela traz o tempo de retorno de investimento na substituição (em anos) (FILHO, 2017).

$$T_r = \frac{C_m}{P_n \times N_h \times C_{kWh} \times \left(\frac{100}{n_v} - \frac{100}{n_n} \right)} \quad (2)$$

Onde:

- C_m = custo do motor, em reais [R\$];
- P_n = potência nominal, em quilowatt [kW];
- N_h = número de horas de operação por ano;
- C_{kWh} = custo médio da energia; em R\$/kWh;
- n_v = rendimento do motor velho;
- n_n = rendimento do motor novo (alto rendimento).

2.3.8 Relatório final

Após reunir todas as informações citadas nos itens anteriores e dispostos os dados de maneira adequada, selecionam-se, de forma resumida, as principais informações e gera-se então o relatório final, destacando as prioridades e cronogramas propostos.

Neste trabalho, o relatório final será caracterizado pela geração do modelo padrão de verificação do potencial de energia elétrica e, conseqüentemente, a análise da qualidade de energia elétrica.

2.4 Qualidade de Energia

A qualidade de energia é uma medida de avaliação da forma de onda de tensão do sistema e/ou instalação elétrica quando está sujeita a perturbações. Desta forma, os principais distúrbios e perturbações que afetam a qualidade serão abordados.

2.4.1 Distúrbios e perturbações

As interrupções no fornecimento de energia elétrica por desligamentos imprevistos, além de causar desgaste na imagem das concessionárias e prejuízos

para terceiros, trazem embutidos custos financeiros indesejáveis, decorrentes da energia deixada de ser transmitida e dos danos causados em equipamentos elétricos.

Porém, na maioria das vezes, os problemas são gerados pelo tipo de carga ligada na instalação elétrica dos consumidores, pois as mesmas podem causar distúrbios nas instalações e transmiti-los para a linha de distribuição, ocasionando a abertura de chaves e variações de tensão. Desta forma, os distúrbios são caracterizados pelo seu tempo de duração e sua forma de geração, os quais serão tratados caso a caso posteriormente.

2.4.2 Interrupções transitórias

São fenômenos eletromagnéticos originários de alterações nas condições operacionais de um sistema elétrico. Geralmente a duração de um transitório é muito pequena, mas de grande importância quando se tem uma solicitação de tensão e/ou corrente de grandes cargas, podendo ser definidas como a perda de potência durante 2 segundos ou mais. Podem ser classificadas em três tipos de interrupções:

- **Interrupções momentâneas:** perda de potência completa < 2 segundos;
- **Interrupção temporária:** perda de potência completa, com duração > 2 segundos e < 1 minuto;
- **Interrupção sustentada:** perda de potência com duração > 1 minuto (DIAS, 2000).

As causas mais prováveis de interrupções são os curtos-circuitos que ocorrem na rede ou até mesmo nas instalações dos consumidores, descargas atmosféricas e desligamentos para realizar manutenção nas redes da concessionária (DIAS, 2000).

O efeito que as Interrupções causam são as quedas nos sistemas, danificação de componentes e perda de produção.

Uma solução para interrupção sustentada é colocar um grupo gerador de energia elétrica de emergência, para que, quando o fornecimento de energia elétrica da concessionária for interrompido, o grupo gerador possa continuar o fornecimento de energia. Outra solução utilizada por cargas pequenas onde há uma incidência de

interrupções são o uso das fontes de alimentações ininterruptas, tais como o UPS¹ (*no-breaks*).

2.4.3 Variações de tensão

É denominada uma variação de tensão quando ocorre uma mudança do valor eficaz da onda de tensão senoidal e da frequência por 2 segundos. As variações de tensão são normalmente ocasionadas por energização de grandes cargas ou por conexões em mau estado dos cabos condutores, tendo como resultado para os outros consumidores as variações de tensão, mais conhecidas como *Sag* e *Swell* (DIAS, 2000).

Contudo, além da caracterização das variações de tensão transitórias, o Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional (PRODIST) trata também dos níveis aceitáveis da variação de tensão em regime permanente, os quais estão apresentados na Tabela 3 conforme a tensão tipicamente de fornecimento industrial e consumidores inferiores (380/220V).

Tabela 3 – Classificação de tensão em regime permanente.

Tensão de Atendimento	Faixa de Variação da Tensão de Leitura (TL)	
	380/220 V	13,8 kV
Adequada	$(350 \leq TL \leq 399) / (202 \leq TL \leq 231)$	$12,83 \leq TL \leq 14,49$
Precária	$(331 \leq TL < 350 \text{ ou } 399 < TL \leq 403) / (191 \leq TL < 202 \text{ ou } 231 < TL \leq 233)$	$12,42 \leq TL < 12,83$
Critica	$(TL < 331 \text{ ou } TL > 403) / (TL < 191 \text{ ou } TL > 233)$	$TL < 12,42 \text{ ou } TL > 14,49$

Fonte: Módulo 8 PRODIST (ANEEL, 2017).

2.4.3.1 Subtensões (*Sag*)

É uma redução no valor eficaz da onda de tensão senoidal com duração entre 0,5 ciclos até 1 minuto. Normalmente ocorre quando uma carga muito elevada é ligada ou no período em que as proteções são acionadas. A maior parte dos consumidores

¹ **UPS:** mais conhecido como *no-breaks*, são fontes de alimentação interruptas que dispõem de baterias, ficando carregadas quando há o fornecimento de energia da concessionária e fornecendo energia para os equipamentos quando a energia é deixada de ser fornecida pela concessionária, ou até mesmo permanecendo ligados para não haver oscilações de tensão.

(principalmente os residenciais) não sentirá os seus efeitos, porém algumas cargas mais sensíveis (ex: computadores e outras cargas eletrônicas) estarão sujeitas a tais efeitos que podem ser a queima ou a perda de dados ou de programações em equipamentos (inversores) (DIAS, 2000).

2.4.3.2 Sobretensões (*Swell*)

É um aumento no valor eficaz da onda de tensão senoidal com duração entre 0,5 ciclos até 1 minuto, normalmente ocasionados por saídas de grandes cargas ou por energização de bancos de capacitores. (DIAS, 2000).

As causas mais prováveis de *Sag* e *Swell* são as quedas ou a partida de grandes cargas (motores), curtos-circuitos em equipamentos ou na instalação dos consumidores e/ou até mesmo manobras de chaves na rede da concessionária.

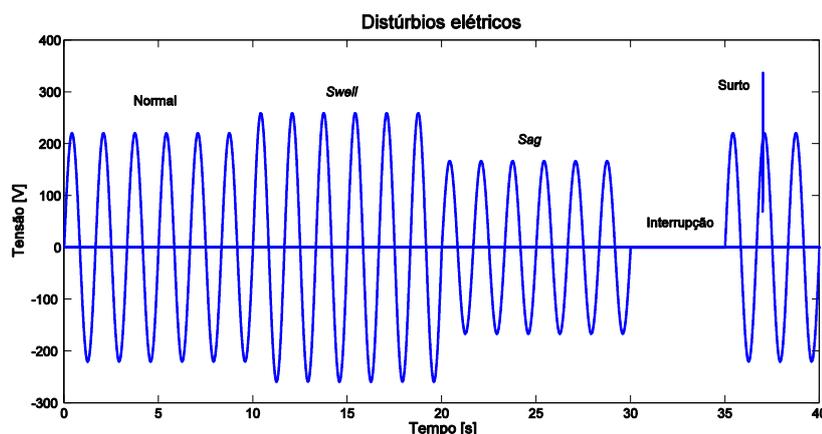
Os efeitos causados por *Sag* e *Swell* são as perdas de dados e algumas vezes erro nos processos de máquinas eletrônicas, acionamentos de proteções devido às oscilações na tensão e redução da vida útil dos equipamentos. As soluções mais usadas são UPS (*no-breaks*) ou reguladores de tensão (DIAS, 2000).

2.4.4 Surtos

Os surtos são rápidos incrementos na intensidade da tensão elétrica, como as variações de tensão, mas com menores durações e amplitudes muito mais agressivas. Os surtos de tensão produzem graves consequências aos equipamentos sensíveis. São ocasionados por descargas atmosféricas, desligamento de sistemas muito indutivos, acidentes entre redes de distribuição e outros.

A Figura 5 mostra, com detalhes, todos os eventos citados anteriormente em função de uma onda de tensão de 220 V com frequência de 60 Hz.

Figura 5 – Exemplo dos distúrbios elétricos.



Fonte: O autor (2017).

2.4.5 Distorção Harmônica

Distorções Harmônicas são interferências na onda senoidal fundamental, ou seja, são perturbações nas formas de tensão e corrente. Essas perturbações são ocasionadas por dispositivos não lineares, tais como reatores eletrônicos para lâmpadas de descarga, fontes de alimentação chaveadas, carregadores de bateria, bancos de capacitores para a correção de fator de potência, inversor de frequência, entre outros.

Estes equipamentos eletrônicos têm em comum a utilização de dispositivos como tiristores, transistores e diodos, para o controle das ondas de tensão e corrente. Com o crescimento da utilização de tais componentes empregados nos equipamentos, às distorções harmônicas têm se tornado um problema encontrado com muita frequência nas instalações elétricas.

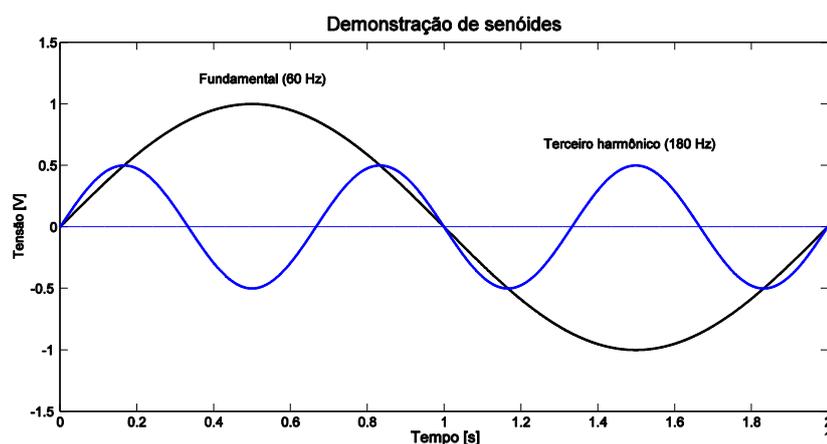
Harmônicas de correntes são geradas pelas correntes dos equipamentos e as harmônicas de tensão são geradas quando a circulação de correntes desses equipamentos acontece, originando assim deformações na onda de tensão fornecida pela concessionária.

As Harmônicas que causam perturbações nos sistemas são normalmente as ímpares, que começa no número 1, que é a fundamental, e pode-se chegar até a 51. As mais encontradas são as de 3ª, 5ª e 7ª ordem e são, também, as que causam maiores problemas nas instalações elétricas.

Pode-se dizer que as harmônicas são múltiplos inteiros da frequência, que no Brasil é 60 Hz, isto é, se houver uma harmônica de terceira ordem, haverá um sinal de frequência 180 Hz circulando no circuito. Então, utilizando-se como exemplo uma função senoidal pura de 60 Hz (fundamental), se a esta função fundamental forem adicionadas funções senoidais de frequências múltiplas inteiras ímpares (em relação à fundamental), com amplitudes adequadas, é então possível gerar uma onda alternada distorcida.

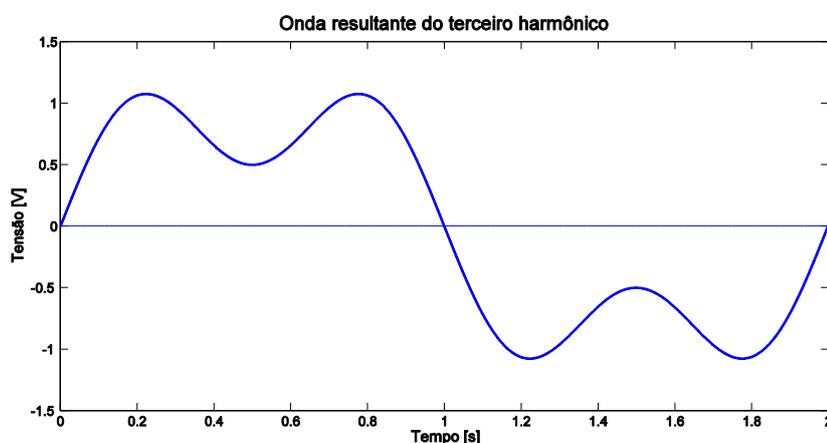
Para representar melhor a distorção harmônica na tensão, são utilizadas duas figuras que mostram a onda senoidal pura e a onda da terceira harmônica (Figura 6) e a junção das duas (Figura 7).

Figura 6 – Exemplo de onda senoidal fundamental e 180 Hz.



Fonte: O autor (2017).

Figura 7 – Exemplo do terceiro harmônico.



Fonte: O autor (2017).

No Brasil, quem define os níveis máximos de distorções harmônicas é a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) dentro do Módulo 8 do PRODIST, que traz como valores de distorções totais para tensão nominal menor que 1 kV de 10%, e para tensão nominal entre 1 e 69 kV de 8% (ANEEL, 2017).

Outra norma amplamente usada é a dos Estados Unidos da América (EUA) do *Institute of Electrical and Electronic Engineers (IEEE)*, *Standard 519*, cujos valores dos limites máximos de distorção harmônica na tensão e na corrente estão dispostos na Tabela 4 e Tabela 5 respectivamente.

Tabela 4 – Níveis máximos de distorção harmônica na tensão.

Tensão no ponto de medição [V]	Distorção Harmônica Individual [%]	Distorção Harmônica Total [%]
$V \leq 1 \text{ kV}$	5	8
$1 \text{ kV} < V \leq 69 \text{ kV}$	3	5

Fonte: Norma IEEE Std. 519 (IEEE, 2014).

Tabela 5 – Níveis máximos de distorção harmônica na corrente.

Corrente de curto-circuito/corrente de carga (I_{sc}/I_L) [A]	Ordem Individual de Harmônica					TDD [%]
	$3 \leq h < 11$	$11 \leq h < 17$	$17 \leq h < 23$	$23 \leq h < 35$	$35 \leq h \leq 50$	
$A < 20$	4,0	2,0	1,5	0,6	0,3	5
$20 < 50$	7,0	3,5	2,5	1,0	0,5	8
$50 < 100$	10,0	4,5	4,0	1,5	0,7	12
$100 < 1000$	12,0	5,5	5,0	2,0	1,0	15
$A > 1000$	15,0	7,0	6,0	2,5	1,4	20

Fonte: Norma IEEE Std. 519 (IEEE, 2014).

A maioria dos equipamentos elétricos são projetados para funcionarem utilizando a onda senoidal fundamental pura (50 ou 60 Hz). Ao estarem presentes perturbações harmônicas no sistema, a instalação elétrica e os equipamentos a ela conectados podem sofrer danos.

As consequências das harmônicas nos equipamentos e nas instalações elétricas são bastante significativas quando a presença delas for muito frequente. Os principais problemas encontrados pelas distorções harmônicas são:

- **Motores Elétricos:** na presença de harmônicas, principalmente as de 5^a, 11^a, 17^a ordem, ocorre que o fluxo se torna oposto à onda fundamental, ocasionando o aumento de temperatura, devido ao aumento das perdas no ferro e no cobre, afetando

assim outras coisas, tais como a diminuição do torque disponível, falhas nas proteções, diminuição da vida útil e do rendimento.

- **Medidores:** os aparelhos de medição que possuem discos de indução são, na maioria das vezes, sensíveis às ressonâncias² que ocorrem devido à presença de harmônicas e que afetam a grandeza que iram medir. Para isso acontecer, a distorção deve ser elevada (>20%) para produzir erro significativo.

- **Aquecimento:** à medida que a frequência dos sinais de corrente aumenta (harmônicas), a corrente tende a circular pela periferia (ao redor) do condutor, aumentando sua resistência elétrica e, conseqüentemente, as perdas por efeito Joule. Está presente no enrolamento dos transformadores, motores, fios e cabos da instalação elétrica, etc.

- **Cabos Condutores:** em razão do aquecimento, os condutores têm perdas de condução de corrente, devido ao aumento da resistividade do condutor em função do efeito dos campos magnéticos produzidos pelos demais condutores colocados no mesmo eletroduto e que, na presença das harmônicas de corrente, aumentam a resistividade, ou seja, dificultando mais a passagem de corrente elétrica.

- **Em dispositivos de proteção:** os dispositivos de proteção estão projetados para serem acionados conforme foi projetado ou ajustado pelo eletricista, na presença de correntes harmônicas que provocam um aquecimento ou um campo magnético acima daquele que haveria sem a sua presença. Isso poderá ocasionar o disparo dos dispositivos termomagnéticos e diferenciais.

- **Redução do fator de potência e aumento da queda de tensão:** quando se tiver múltiplas frequências na rede elétrica, a resistividade dos circuitos é alterada, ou seja, aumenta-se o valor da impedância total do circuito, diminuindo o fator de potência e aumentando a queda de tensão.

2.5 Aterramento

Sabe-se que muitos dos problemas relacionados com a qualidade de energia têm a ver com o aterramento e os condutores em geral. Quase 80% dos problemas

² **Ressonância:** fenômeno originado quando um determinado sistema recebe frequência igual a uma de suas frequências natural de vibração, fazendo com que o sistema oscile mais e com amplitudes cada vez maiores.

encontrados são devido ao aterramento mal feito, problemas nas conexões frouxas, condutores danificados ou mal dimensionados.

O aterramento é a conexão dos equipamentos à terra com a finalidade de criar uma baixa impedância para que as correntes de fuga, de filtros, ou até mesmo as harmônicas, possam escoar pela terra. Pode-se ainda separar em dois tipos básicos de aterramento: o funcional que consiste na ligação do neutro à terra com a finalidade do funcionamento correto da instalação, e o de proteção choques elétricos, realizando a conexão das massas à terra (CREDER, 2016).

Na Norma NBR 5410:2004 encontram-se as definições e critérios de aterramento nas Instalações Elétricas de Baixa Tensão, abordando assim os conceitos de funcionalidade da instalação e segurança das pessoas que ali transitam. De forma complementar pode-se usar a Norma NBR 5419:2005, a qual trata da Proteção de Estruturas contra Descargas Atmosféricas.

Antigamente abordava-se o aterramento em questão da resistência do solo, a qual deveria ser inferior a 10Ω nas instalações de média e baixa tensão. Porém este valor atualmente serve apenas como medida de referência (CREDER, 2016). No entanto, esta abordagem foi substituída pelo critério de risco de vida de uma pessoa ao entrar em contato direto ou indireto com partes metálicas energizadas e também a tensão de passo, caracterizada pela dissipação de correntes de defeito na malha de terra (FILHO, 2017).

Podemos definir o condutor neutro como o elemento do circuito que estabelece o equilíbrio de todo o sistema da instalação elétrica. Para cada circuito elétrico deverá ter um condutor neutro partindo do quadro de distribuição dos circuitos (QDC) (CREDER, 2016).

De acordo com a NBR 5410:2004, em nenhuma circunstância, o condutor neutro poderá ser comum a vários circuitos e só poderá ser seccionado quando for recomendado pela norma. Neste caso, o condutor neutro não deve ser seccionado antes dos condutores fase, nem restabelecido após os condutores fase. O condutor neutro deverá ser sempre aterrado junto à medição de energia (ABNT, 2008).

Já o aterramento é denominado como uma ligação intencional de um componente através de um meio condutor com a terra, podendo ser feito por razões funcionais, quando é necessário para que o equipamento elétrico funcione corretamente ou por razões de proteção e segurança. Neste caso, ele protege as

pessoas e/ou animais domésticos contra os choques elétricos. Através do aterramento a corrente elétrica tem um caminho mais fácil para escoar para a terra (ABNT, 2008).

Também é importante ser realizado a interligação do aterramento com as partes elétricas, metálicas e estruturas (ferragens) da instalação através de um único terminal, o Barramento de Equipotencialização Principal (BEP). Este terá como objetivo colocar no mesmo potencial toda a instalação, independentemente de onde for o referencial a terra (CREDER, 2016).

2.6 Considerações finais

Conforme abordado neste capítulo, o setor industrial é um dos consumidores de insumos energéticos do Brasil. Logo, o consumo de eletricidade deste setor no ano de 2016 atingiu cerca de 164,254 GWh. Voltando-se para um dos principais causadores deste número, a força motriz, representa aproximadamente 67% do consumo de eletricidade do setor (EPE, 2017).

Contudo, existem alternativas para a diminuição destes consumos elevados de insumos energéticos. Isto é, para realizar destacar os principais gargalos de uma indústria deve-se seguir as etapas do diagnóstico energético mais apropriadas para o ramo de atividade da indústria a ser estudada.

Em outras palavras, o diagnóstico remete-se a compreensão de alguns fenômenos elétricos que interferem na qualidade de energia elétrica da indústria e, que podem ser relacionados ao aterramento da própria planta elétrica. Desta forma, o capítulo seguinte trará um estudo para a validação de um modelo padrão para indústrias de transformação de subprodutos do abate de animais.

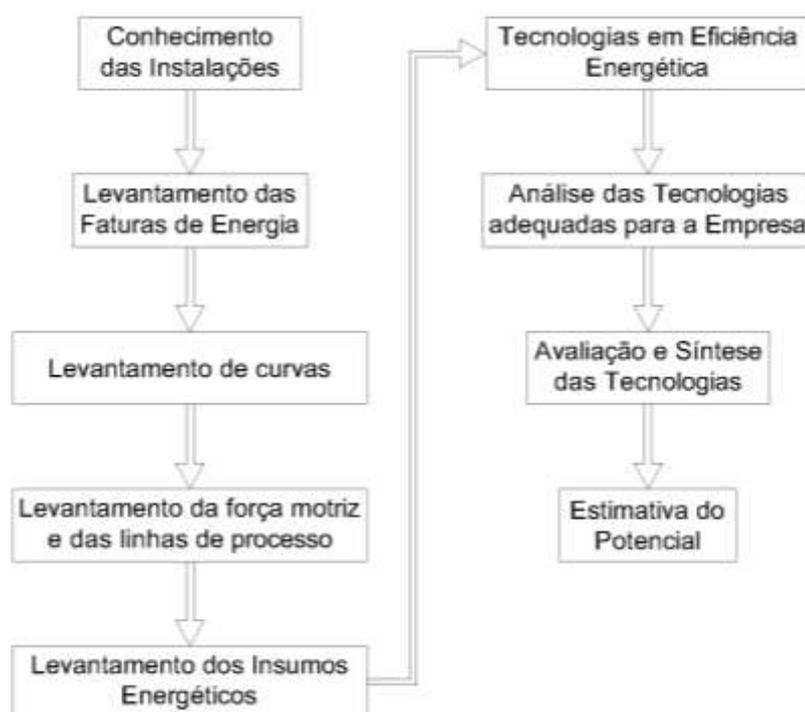
3 METODOLOGIA

Neste item estão descritos os métodos utilizados para a validação do modelo padrão e a avaliação do potencial de eficiência energética da indústria. Deste modo, serão detalhados os passos do modelo e o que difere do fluxograma apresentado na Figura 4.

3.1 Modelo de diagnóstico energético

Para obter uma estimativa do potencial de conservação de energia, elaborou-se uma metodologia, ilustrada no fluxograma da Figura 8, para melhor atender o perfil de uma indústria de subprodutos do abate de animais.

Figura 8 – Modelo de Diagnóstico Energético.



Fonte: O autor (2017).

Deste modo, para a geração da estimativa do potencial são necessárias nove etapas, sendo estas apresentadas nos itens subsequentes.

3.2 Conhecimento das instalações

Na primeira etapa do fluxograma, representado pelo conhecimento das instalações, deve-se ter consciência do perfil da indústria analisada para então conhecê-la de fato. Isto é, procura-se previamente conhecer o tipo de produto processado e gerado por ela, conseqüentemente, ao conhecer as instalações físicas já é possível identificar os pontos mais prováveis para a eficiência.

Também nesta etapa, deve-se compreender e conhecer o máximo possível das linhas de processos. Deste modo, os próximos passos do fluxograma se tornarão mais fáceis de se conduzir e seus dados levantados poderão ser melhores trabalhados.

3.3 Levantamento das faturas de energia

Ao conhecer o máximo possível da indústria, levanta-se os históricos das faturas de energia elétrica com o intuito de verificar possíveis cobranças indevidas, contrato atual de energia, ajudando na compreensão do funcionamento da empresa durante o ano.

Da mesma forma como o recomendado pelas bibliografias consultadas, esta etapa abrange a mesma metodologia. Contudo, ao levantar as faturas de energia de um ano retrocedente, devem ser realizados e verificados os cálculos dos custos que compõem a mesma e a média do preço da energia para posteriormente serem realizados os estudos de viabilidade econômica.

3.4 Levantamento de curvas

De acordo com o perfil da indústria, é importante levantar o perfil das curvas através de equipamentos disponíveis na própria empresa, tais como o controlador de demanda e o registrador de energia. Este levantamento varia conforme o equipamento estudado, pois o tipo de sua carga definirá o tempo de medição.

Deste modo, em equipamentos primários ao processo de fabricação da farinha e do sebo, o mínimo de tempo para a medição será de uma semana e com o acompanhamento da variação da matéria prima processada. No entanto, se não houver muita variação da matéria recebida, o tempo de medição deverá ser

prolongado até que haja uma variação significativa, buscando um padrão de operação.

Para os equipamentos após a divisão do processo de produção da farinha e do sebo, o tempo poderá ser o mesmo recomendado pelas bibliografias citadas anteriormente.

3.5 Levantamento da força motriz e das linhas de processo

Como as instalações de todas as unidades se assemelham, o principal foco está na abordagem da força motriz e o que envolve em seus desempenhos operacionais. Apesar de ser trivial esta abordagem, a colocação no modelo se dá ao fato de comumente ser levantado apenas os dados de placa dos motores sem compreender a linha completa de produção da instalação.

Além disso, ao levantar as linhas de processo, percebe-se onde e como poderá ser efetuada as medições que resultarão em dados satisfatórios para a eficiência energética e otimização de processos.

3.6 Levantamento dos insumos energéticos

Neste ponto, é importante o levantamento da matéria prima processada pelos equipamentos, pois a variação do produto poderá acarretar em decisões incorretas e avaliação errada do processo. Para que este fato não aconteça neste tipo de indústria, os levantamentos das matérias prima que tais equipamentos processam deverá acontecer paralelamente às medições de consumo de energia.

3.7 Tecnologias em eficiência

Durante os levantamentos realizados até o momento, pode-se verificar os equipamentos obsoletos, operando indevidamente e, ainda, em condições inadequadas. Neste contexto, é imprescindível a pesquisa perante os fabricantes de novos equipamentos mais eficientes e maneiras de aprimoramentos, sempre que possível, do processo produtivo.

3.8 Análise das tecnologias adequadas

Ao analisar o perfil da indústria percebe-se que se pode direcionar o estudo em dois pontos principais para a redução de consumo de energia, a substituição de motores ou de seus acionamentos. O estudo da substituição do motor muitas vezes não trará a redução desejada em um tempo curto. Logo, passa-se ao estudo da substituição por equipamentos para o acionamento dos motores, tais como o inversor de frequência.

Em decorrência de conceitos e práticas antiquadas ou conservadoras dos encarregados da manutenção elétrica, o uso de componentes para acionamentos dos motores como as chaves compensadoras estão fortemente empregadas nos painéis elétricos, trazendo assim um rendimento baixo no acionamento dos motores e uma possibilidade de reduções de picos de partidas.

Ao realizar a substituição de um determinado equipamento, é fundamental conhecer a melhor aplicação do mesmo. Como exemplo, ao optar pela instalação de inversores, é necessário conhecer o tipo da aplicação e o que se deseja. Em outras palavras, existem dois tipos principais de inversores de frequência, o escalar e o vetorial.

O Inversor escalar tem é projetado para operar sempre constante com a razão entre tensão e frequência ($V/f = \text{constante}$), ou seja, o motor manterá seu torque constante, igual ao nominal para uma grande faixa de variação de velocidade. Este tipo de inversor possui aplicações em situações onde não requer grandes variações na velocidade e que não requerem alto desempenho, conseqüentemente, seu custo é menor ao comparado com os demais (WEG, 2017).

Por outro lado, o inversor vetorial apresenta alta performance em variações de velocidade, respostas mais precisas em relação a velocidade e torque por uma faixa de operação mais extensa. Logo, este tipo de inversor é mais complexo e comumente usado como modelo para novos tipos de inversores (WEG, 2017).

3.9 Estimativa do potencial

A estimativa do potencial de conservação de energia elétrica envolve dois valores significativos: a Demanda Evitada e a Energia Economizada. A primeira reflete

a redução da potência demandada nos horários de ponta e fora de ponta e a outra o quanto é economizado ao longo da vida útil do equipamento ou sistema energético.

3.10 Considerações finais

Ao analisar-se todos os passos descritos do modelo apresentado, nota-se uma diferença entre o recomendado na abordagem do tempo de medição e os insumos/dados a serem levantados durante o diagnóstico energético. Isto é, o recomendado trata-se para qualquer tipo indústria, ou assim o deveria, pois, ao atentar-se para as indústrias de transformações de abates de animais percebe-se que o mesmo não o contemplam por completo.

Neste contexto, este capítulo apresentou os passos detalhados e o que difere do recomendado e apresentado na Figura 4 com o intuito validação do modelo e, conseqüentemente, dar suporte ao estudo posterior. Desta forma, o capítulo seguinte irá seguir os passos mencionados no fluxograma da Figura 8.

4 ESTUDO DE CASO

Baseando-se no fluxograma apresentado na Figura 8, este item trata da aplicabilidade do diagnóstico energético na indústria de transformação Faros. Deste modo, serão apresentados os passos da metodologia no Capítulo 3 e que foram executados para gerar um modelo padrão de averiguação do potencial energético da indústria.

4.1 Planta industrial estudada

A planta industrial estudada fundou-se com a iniciativa de dois irmãos em 1983, desde então vem atuando no mercado produzindo farinha de carne, ossos, sangue e o sebo/gordura gerado destes produtos. Durante a expansão da indústria ao longo dos anos teve-se a necessidade de realizar o envolvimento dos pilares da sustentabilidade (ambiental, social e econômico) e, a partir disso, aprimorou-se a produção, garantindo seu espaço no setor de transformação de subprodutos de abates de animais.

Com foco na credibilidade para seus produtos, a empresa possui projetos de sustentabilidade e de rendimento empresarial. Portanto, adotam como projeto social a reciclagem de óleo de cozinha de locais de alto consumo e, na sustentabilidade, dando ênfase a preocupação com os odores emitidos em seus processos.

Deste modo, a planta elétrica da indústria estudada é muito ampla e complexa para ser apresentada na sua íntegra, no entanto, será apresentado o diagrama unifilar geral e a explicação dos processos industriais através de diagramas de blocos, com ênfase no setor mais deficiente energeticamente.

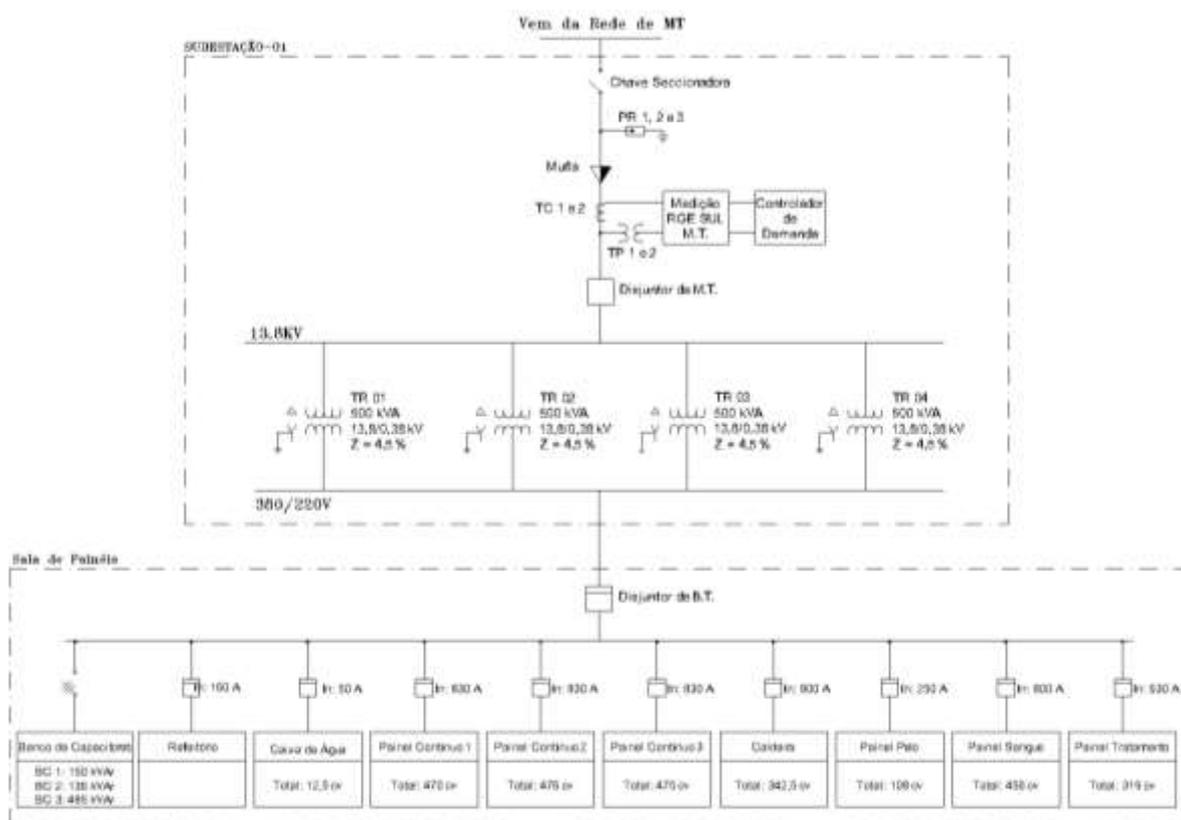
4.1.1 Diagrama unifilar geral

A indústria é atendida pela concessionária Rio Grande Energia S.A. – RGE SUL, com tensão de fornecimento de 13,8 kV e modalidade tarifária horária verde. Na medição de energia, além do medidor da concessionária está instalado um controlador de demanda para evitar cobranças indesejadas e para averiguações instantâneas de consumo.

Na Figura 9, apresenta-se o diagrama unifilar geral simplificado, obtido através do diagrama geral original da empresa Faros. Nela está representado a entrada de energia com os componentes de medições e o disjuntor de média tensão para proteção da planta elétrica.

A planta elétrica estudada é composta por 4 transformadores idênticos de 500 kVA cada, de modo a dar condições de operação em paralelo. Os transformadores alimentam diversos centros de comandos de motores, destacando-se o painel do contínuo 1, o qual será analisado juntamente com dois motores ligados a ele.

Figura 9 – Diagrama unifilar geral simplificado.



Fonte: Diagrama unifilar geral Faros (2017).

4.1.2 Processos produtivos

Dentro dos produtos gerados pela empresa, o de mais alto consumo é a produção de farinha de ossos e de sebo. Na produção de farinha, a empresa conta com duas linhas, interligadas em certos pontos, com o intuito de evitar paradas e de

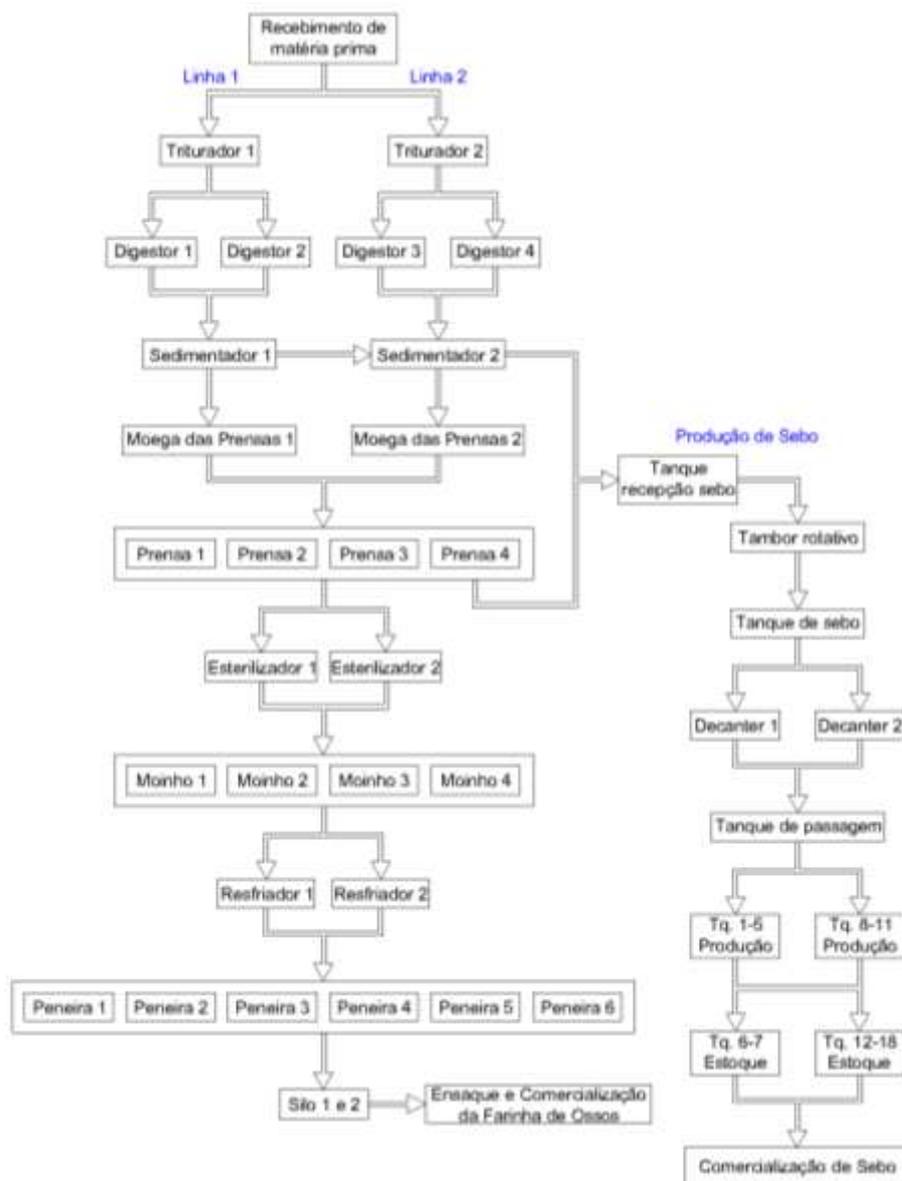
melhorar a qualidade de seus produtos, o qual pode ser visualizado no fluxograma de produção da Figura 10. Nela, os equipamentos estão discriminados de forma geral, onde as moegas são os equipamentos destinados à alimentação de máquinas maiores.

De modo geral, para a produção de farinha e sebo, o processo primário constitui-se na quebra/tritura da matéria prima (ossos e outras partes) em partículas médias não excedendo 5 cm (cinco centímetros), sendo estes levados para os digestores contínuos fazerem o cozimento deste material. No cozimento, o material é aquecido em uma temperatura média de 150 a 180 °C através do vapor oriundo da queima de cavaco (pedaços de madeira) e rotacionado por motores elétricos de modo contínuo em um tempo médio de 50 minutos.

Após os digestores, o material é passado aos sedimentadores para a primeira etapa da separação do sebo da pasta que originará a farinha. Na segunda etapa de separação, o material é prensado, originando mais sebo. A partir deste ponto, tem-se a divisão do processo de sebo e farinha, sendo que no recebimento do sebo cru, o mesmo é utilizado nos processos anteriores quando o material está muito seco para ser processado pelos equipamentos.

Para a produção de farinha, das prensas o material é transportado para a realização da esterilização conforme exigência da Instrução Normativa nº 34/2014 do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (Mapa) em uma temperatura de 133°C, 3 Bar de pressão durante 20 minutos de acordo com a *World Organization for Animal Health* (OIE), isto quando as farinhas são destinadas para a alimentação animal (OIE, 2017). Este processo é obrigatório quando a matéria prima é de origem de animal ruminante para minimizar os riscos de Encefalopatia Espongiforme Bovina (EEB), comumente conhecida como a doença da “vaca louca” (MAPA, 2017).

Figura 10 – Fluxograma de produção.



Fonte: Fluxograma geral de produção Faros (2017).

Saindo dos esterilizadores, a pasta é transportada para ser moída. Quando a farinha sai dos moinhos ela ainda está quente devido ao processo de esterilização e moagem, isto é, antes de ser selecionada/peneirada ela é resfriada e então peneirada e armazenada em silos.

Já o processo de produção do sebo é mais simples. Porém ele deve ser mantido aquecido durante todo o seu processo (inclusive no seu estoque). Todo sebo recebido do processo inicial de farinha é armazenado inicialmente em um tanque, nele

é captado parte para a produção de farinha (conforme descrito anteriormente) e o restante passa pelo tambor rotativo para a primeira parte do processo de purificação.

A segunda etapa de purificação é realizada pelos decantadores, os quais iram retirar as impurezas menores. O sebo purificado passa pelo “tanque de passagem”, o qual realiza mais uma filtragem e distribui o conteúdo nos tanques de produção, onde são analisadas/examinadas as suas propriedades e então armazenados.

4.1.3 Históricos e curva de carga

No levantamento dos históricos de consumo de energia elétrica, verificaram-se as faturas de energia de um ano retrocedentes, sendo dispostos os seus dados em planilhas do Excel. Deste modo, avaliaram-se as demandas, os indicadores de qualidade (DIC, FIC e DMIC), os consumos e fatores de carga.

Para a avaliação das demandas, observou-se que houve uma ultrapassagem média da demanda contratada fora ponta de 3,13%, sendo que a máxima ultrapassagem atingiu 7,5%. Desta forma, conforme Seção II, Art. 93 da Resolução Normativa 414 de 2010, é tolerável uma ultrapassagem máxima de 5% dos valores contratados, isto é, nesta ocorrência deve-se aplicar a Equação 3.

$$D_{ULTRAPASSAGEM} = (D_{CONTRATADA} - D_{LIDA}) \cdot 2 \cdot T_R \quad (3)$$

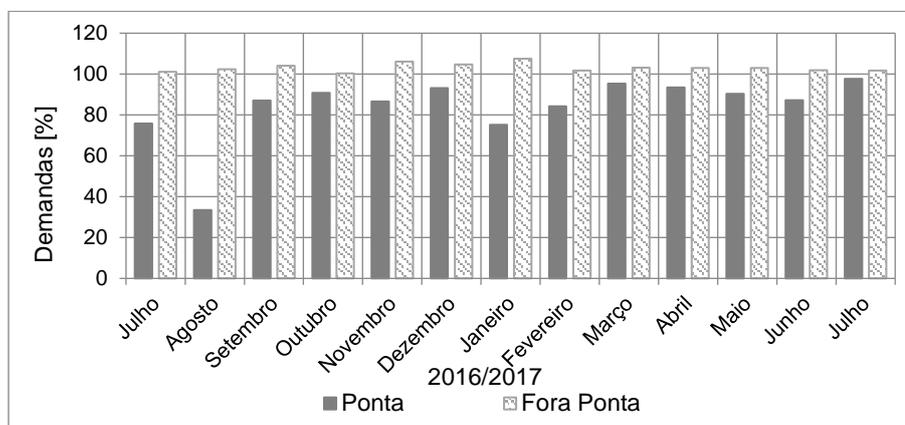
Onde:

- $D_{ULTRAPASSAGEM}$: Demanda de ultrapassagem, em Reais (R\$);
- $D_{CONTRATADA}$: Demanda contratada no posto tarifário, em quilowatt (kW);
- D_{LIDA} : Demanda lida no posto tarifário, em quilowatt (kW);
- T_R : Tarifa de ultrapassagem.

Deste modo, no período analisado ocorreram apenas duas ultrapassagens, uma em novembro de 2016 e outra em janeiro de 2017, onde pode-se visualizar o histórico na Figura 11. Contudo, na Figura 12 observa-se que a probabilidade de a demanda atingir valores entre 1.429 a 1.455 kW é de 35,21% e, caso houve-se um aumento no contrato de 3,57% (1.450 kW) causaria um acréscimo mensal na fatura

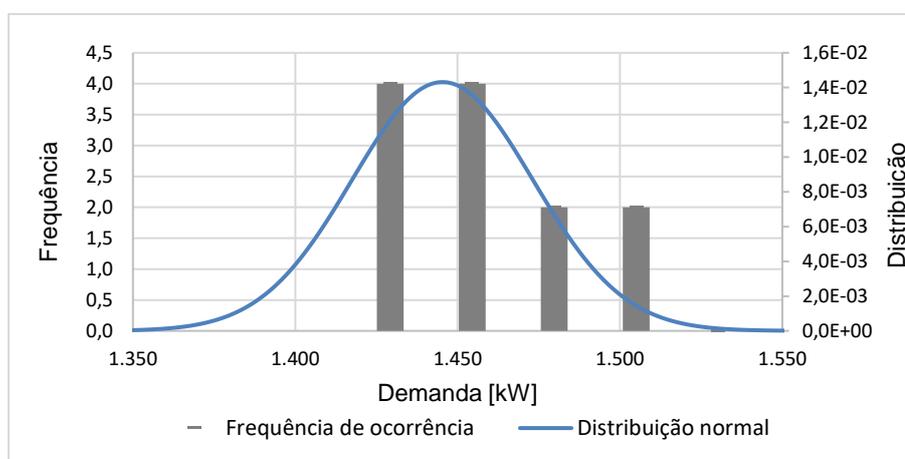
de R\$ 890,00 reais, ou seja, com medidas de eficiência energética não seria necessário reaver o contrato.

Figura 11 – Histórico de demandas de energia elétrica contratadas e lidas.



Fonte: Faturas de energia elétrica Faros, com dados trabalhados pelo autor (2017).

Figura 12 – Histograma de frequências de demanda fora ponta.



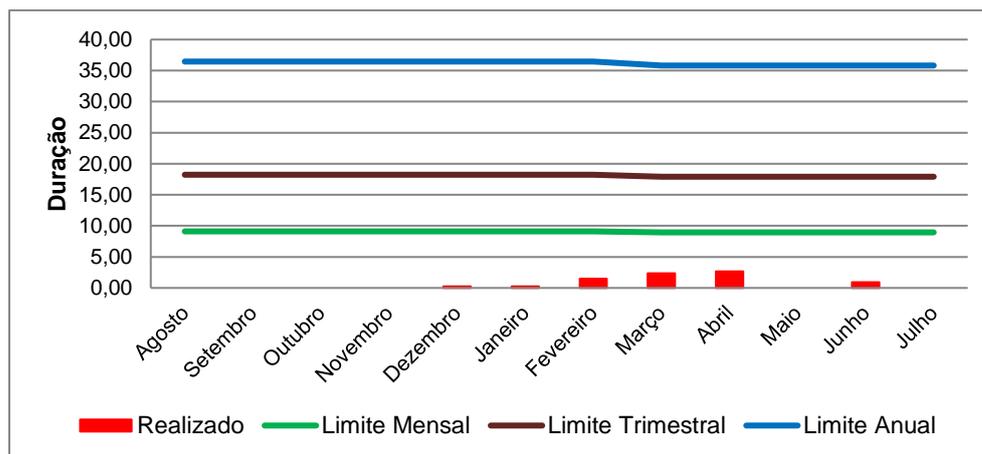
Fonte: O autor (2017).

Os indicadores individuais de continuidade de duração de interrupção individual por unidade consumidora (DIC), frequência de interrupção individual por unidade consumidora (FIC), que indicam a descontinuidade e o número de interrupções que houveram na unidade, respectivamente, foram baixíssimos e não atingiram seus limites. A duração máxima de interrupção contínua por unidade consumidora ou ponto

de conexão (DMIC) ficaram abaixo da meta, indicando assim que a qualidade do serviço está boa.

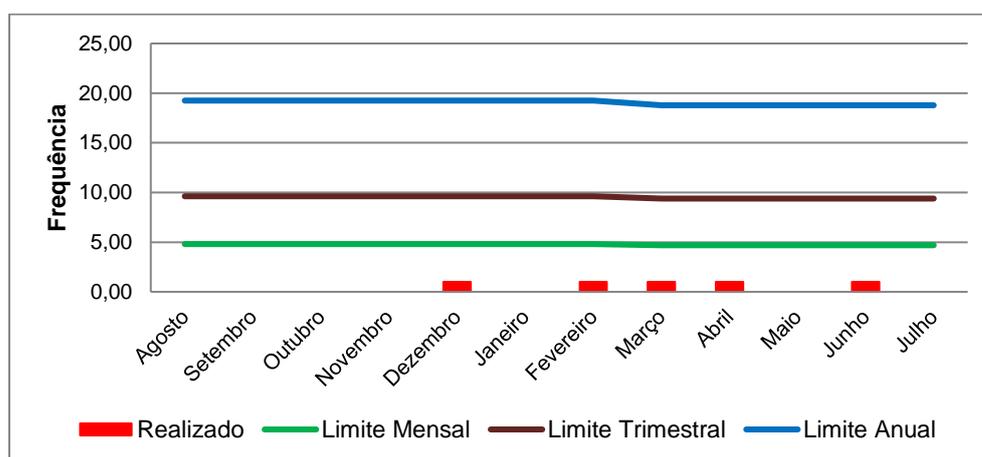
Os indicadores DIC, FIC e DMIC podem ser visualizados e constatados nas Figuras 13,14 e 15 respectivamente. Isto é, os indicadores ficaram abaixo de seus limites estipulados pela concessionária.

Figura 13 – Duração de interrupção individual por unidade consumidora (DIC).



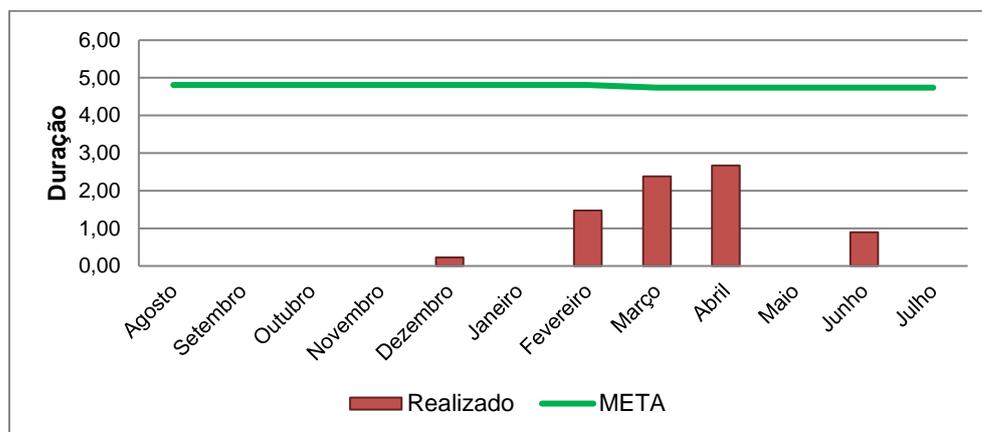
Fonte: Faturas de energia elétrica Faros, com dados trabalhados pelo autor (2017).

Figura 14 – Frequência de interrupção individual por unidade consumidora (FIC).



Fonte: Faturas de energia elétrica Faros, com dados trabalhados pelo autor (2017).

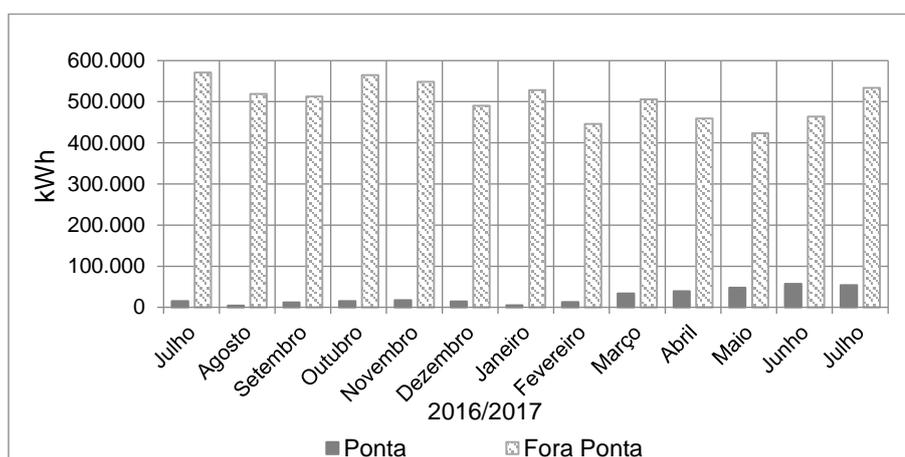
Figura 15 – Duração máxima de interrupção contínua por unidade consumidora (DMIC).



Fonte: Faturas de energia elétrica Faros, com dados trabalhados pelo autor (2017).

O consumo total de energia elétrica e o Fator de Carga fora ponta manteve-se o padrão dos respectivos meses, porém na ponta houve um aumento de aproximadamente 30 kW e conseqüentemente um aumento no Fator de Carga, chegando a atingir 71% no mês de julho de 2017. Na Figura 16 pode-se observar o comportamento anual de consumo da indústria.

Figura 16 – Histórico de consumo de energia elétrica.



Fonte: Faturas de energia elétrica Faros, com dados trabalhados pelo autor (2017).

Durante o período analisado, houveram três cobranças por energia e demanda reativa excedente, sendo que a empresa dispõe de um controlador de demanda e correção de fator de potência instalado na subestação 1. Deste modo, com a finalidade

de averiguar se este equipamento ou os capacitores estão operando normalmente, analisou-se os dados fornecidos pelo controlador do mês de julho de 2017 com o verificado para o respectivo mês da tarifa.

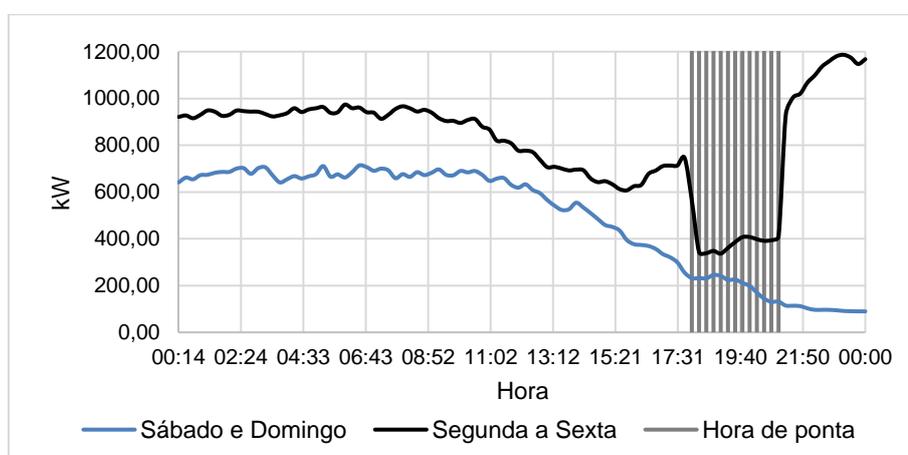
4.1.3.1 Controlador de demanda

O controlador de demanda é um equipamento que monitora e controla as cargas elétricas, oferecendo um indicativo global do comportamento elétrico dos equipamentos e dos sistemas de processos produtivos. Ele também serve como auxílio importante no gerenciamento de energia elétrica da indústria, pois tem-se a disponibilidade dos dados em tempo real e a geração de relatórios analíticos e gráficos que auxiliam na tomada de decisões (EMBRASUL, 2017).

A coleta dos dados é sincronizada com as do medidor de energia da distribuidora e quando programado, consegue realizar o desligamento de cargas pré-determinadas com o intuito de não ultrapassar a demanda contratada. Com a instalação deste controlador, consegue-se realizar também a correção do fator de potência da unidade consumidora.

Deste modo, nas Figuras 16 e 17 estão ilustradas as demandas e os consumos médios de energia ativa e reativa, respectivamente. Nestas figuras pode-se observar o comportamento da indústria durante a semana nos horários de ponta e fora de ponta, sendo eles proporcionais aos valores da tarifa.

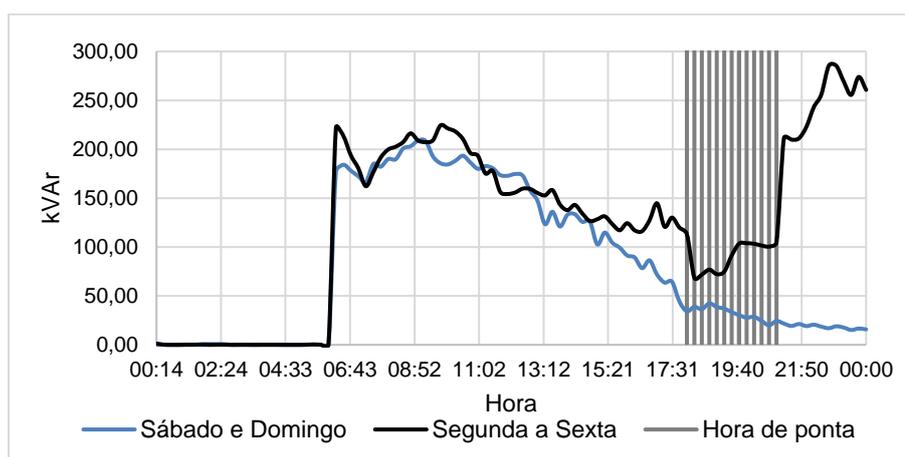
Figura 17 – Histórico de consumo de kW do mês de julho de 2017.



Fonte: O autor (2017).

Ao observar a média dos valores da Figura 18, nota-se que o consumo de reativos é relativamente baixo no período da meia noite até as 6 horas da manhã. O fato da curva ser próxima a zero está relacionado ao baixo consumo e a escala (quilowatt) utilizada.

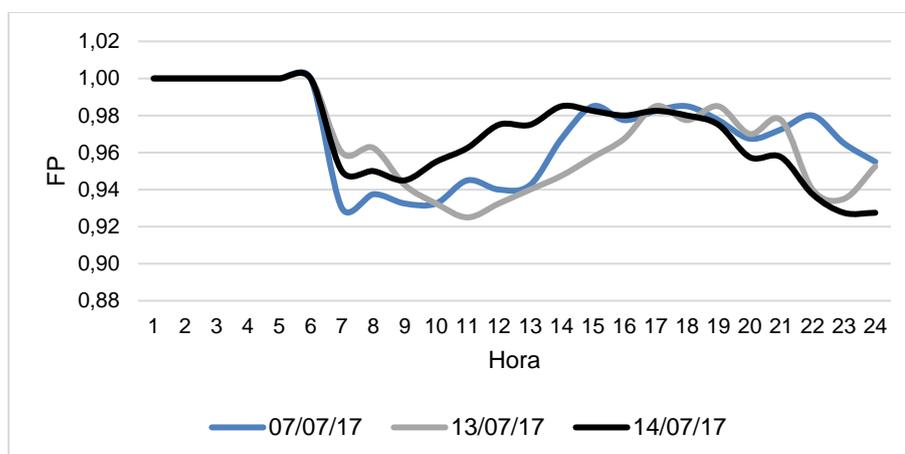
Figura 18 – Histórico de consumo de kVAr do mês de julho de 2017.



Fonte: O autor (2017).

O comportamento do fator de potência é apresentado na Figura 19 para os piores dias. Nota-se que não houveram registros inferiores ao valor de 0,92 indutivo ou capacitivo. Desta forma, conclui-se que o controlador e os capacitores estão operando normalmente.

Figura 19 – Fator de potência horário.



Fonte: O autor (2017).

4.1.4 Insumos energéticos

Os insumos energéticos agregados ao processo de produção da farinha e do sebo são, basicamente, mão de obra, produtos químicos, energia calorífica e elétrica. Em foco ao tema deste trabalho, o insumo em questão é a eletricidade consumida pelos equipamentos elétricos, principalmente os motores elétricos.

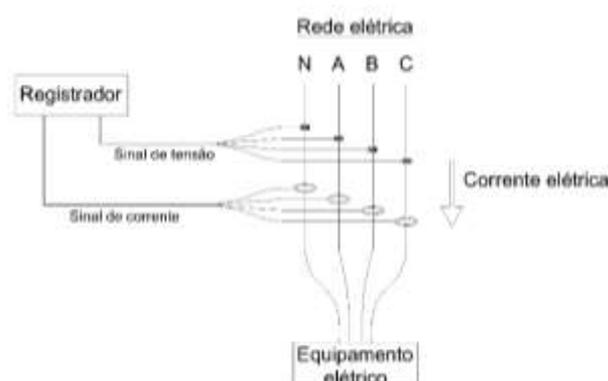
Desta forma, selecionou-se dois motores que operam diariamente e desempenham um papel importante no processo de produção da indústria. Também, foi realizada a medição na entrada do CCM em que estes motores estão ligados com o intuito de se averiguar a qualidade de energia.

4.1.4.1 Registrador de grandezas elétricas

Na obtenção dos dados das grandezas elétricas (tensão, corrente e potência) nos equipamentos elétricos em operação da indústria, utilizou-se o equipamento da marca EMBRASUL, modelo RE7000. O equipamento atende os requisitos dispostos no Módulo 8 do PRODIST, registrando todos os eventos e distúrbios especificados com a quantidade mínima de informações (1008 leituras válidas) (EMBRASUL, 2017).

O equipamento realiza a leitura dos dados através de terminais (cabos ou conectores) conectados aos condutores elétricos do equipamento medido tal como está ilustrado na Figura 20, onde os terminais que fazem a leitura das tensões estão conectados em paralelo e os de corrente em torno dos condutores das três fases (A, B e C) e do neutro (N).

Figura 20 – Método de instalação do registrador de grandezas elétricas.



Fonte: O autor (2017).

Os dados obtidos do equipamento de medição são fornecidos em arquivos Excel com a extensão “.xls” ou podem ser visualizados e trabalhados no próprio *software* fornecido pela empresa do equipamento, conforme configuração determinada na instalação.

4.1.4.2 Centro de Controle de Motores

De acordo com a síntese de medição apresentada nos itens anteriores, mediu-se a entrada de energia do CCM para averiguar a qualidade de energia e o potencial de conservação neste centro de carga.

A medição realizada ocorreu entre 14h e 10min do dia 12 de setembro até 14h e 10min do dia 19 de setembro de 2017, caracterizando assim uma semana completa de leitura. O intervalo de integração configurado foi para 1 minuto, gerando 10081 registros válidos.

Tabela 6 – Registros mínimos e máximos de tensão.

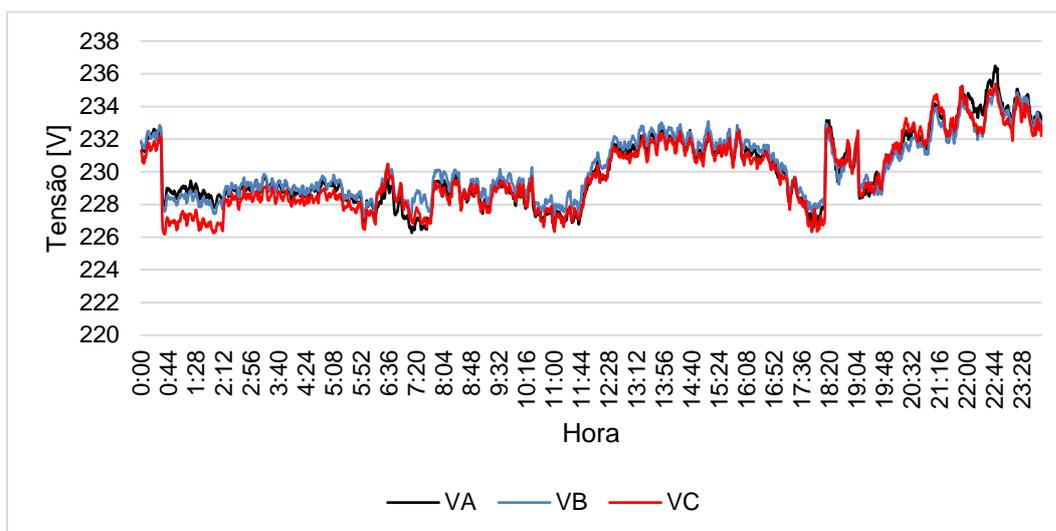
Condutor	Média	Mínima			Máxima		
		Hora	Data	Tensão	Hora	Data	Tensão
Fase A	220,62 V	21:02	15/09/17	203,18 V	22:45	17/09/17	236,49 V
Fase B	220,77 V	21:02	15/09/17	203,39 V	22:46	17/09/17	235,17 V
Fase C	221,26 V	21:02	15/09/17	204,38 V	22:46	17/09/17	235,40 V

Fonte: O autor (2017).

Na Tabela 6 são mostrados os níveis de tensão da instalação, onde nela observa-se que os valores máximos se encontram na faixa precária de acordo com o PRODIST. Contudo, o dia onde houveram estes registros corresponde ao domingo, e justamente no período de início das atividades da semana. Tal comportamento pode ser observado na Figura 21.

Neste contexto, a tensão fornecida ao CCM pode ser classificada como adequada quando os valores da Tabela 6 de níveis máximos e mínimos de tensão forem comparados com a Tabela 3.

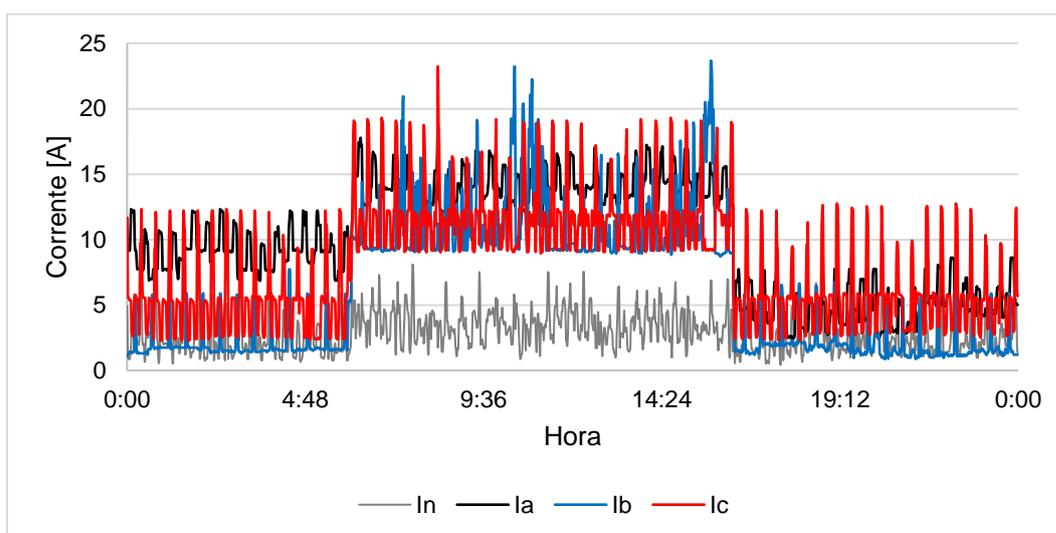
Figura 21 – Comportamento da tensão em 17/09/2017.



Fonte: O autor (2017).

As correntes das três fases e de neutro, do mesmo período da Figura 21, estão representadas na Figura 22. Desta forma, ao comparar as Figuras 20 e 21, nota-se que no período de maior consumo a tensão fica dentro dos níveis aceitáveis e logo após a retirada de algumas cargas ocorre uma elevação na tensão, especificadamente por volta das 17:00.

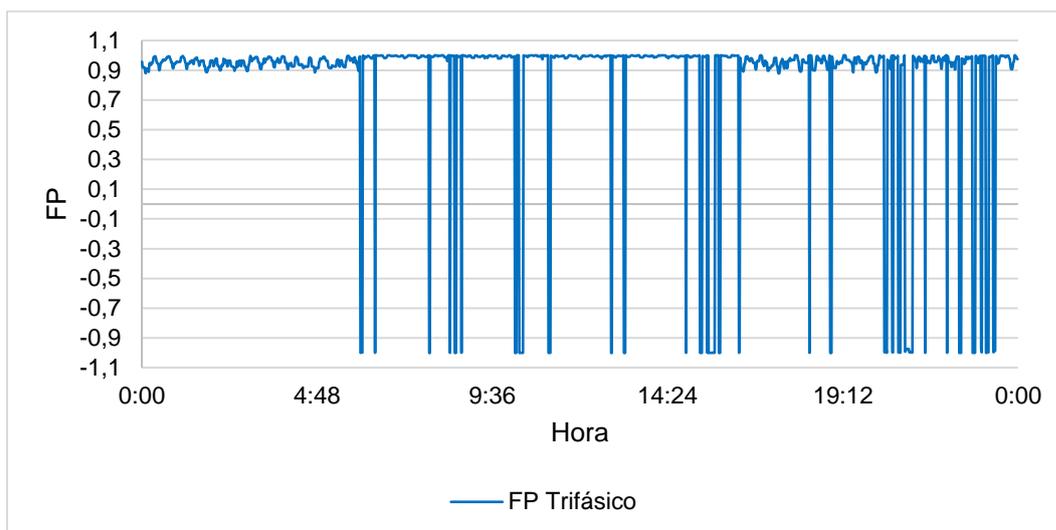
Figura 22 – Comportamento das correntes em 17/09/2017.



Fonte: O autor (2017).

Outra curva importante de ser analisada neste período (17/09/2017), é a do fator de potência. Isto é, de acordo com a Figura 23 o FP encontra-se capacitivo nos respectivos horários onde houve a ultrapassagem dos níveis de tensão e, conseqüentemente, este fato está relacionado as saídas de cargas.

Figura 23 – Fator de Potência trifásico em 17/09/2017.



Fonte: O autor (2017).

As potências médias no intervalo foram de 244,75 kW, 313,47 kVAr e 397,7 kVA, correspondendo assim com um fator de potência de 0,62 indutivo. Embora o CCM disponha da correção individual dos motores em suas alimentações, o quadro encontra-se com baixo FP e precisará ser corrigido com um banco capacitivo de 209,2 kVAr para atingir um FP de 0,92.

O consumo de energia e as demandas máximas do CCM na ponta e fora ponta foram de 4.186 kWh, 453.6 kW e 26.97 kWh, 549.2 kW, respectivamente.

4.1.4.3 Digestor contínuo

O primeiro motor selecionado opera no digestor contínuo, como citado no item 4.1.2, a finalidade dos digestores é de realizar o cozimento da matéria prima. Tal equipamento possui capacidade de processar 12 Toneladas por hora, movido por vapor da caldeira e acionado por um motor de 75 kW, cujo os dados de placa podem ser visualizados na Tabela 7.

Tabela 7 – Dados de placa do motor do digestor contínuo.

Descrição	Dados
Linha do Produto	W22 IR3 Premium
Potência Nominal	75 kW
Rotação Nominal	1780 rpm
Tensão de Operação	220/380/440 V
Corrente Nominal	303/175/151 A
IP/IN	8,5
Fator de Serviço	1,25
Fator de Potência	0,85
Rendimento	95,5%
Fabricante	WEG
Modelo da Carcaça	250 S

Fonte: Fabrica de Farinhas e Ossos Ltda (2017).

. Na Figura 23 está ilustrado o motor analisado. O motivo da escolha deste equipamento ocorreu devido ao seu grande impacto na qualidade do produto para os processos posteriores aos seus, pois ele é um equipamento indispensável na fabricação de farinha e, conseqüentemente, de sebo. Nas graxearias, o digestor é o gargalo do sistema produtivo, onde sua operação depende basicamente do seu estado de conservação e da matéria prima que ele processa.

Figura 24 – Motor elétrico do digestor contínuo.



Fonte: Fabrica de Farinhas e Ossos Ltda (2017).

Este equipamento possui variação da matéria prima recebida para o seu processo, isto é, o processamento dos produtos varia conforme o abate de animais da região e da sua chegada ao local. Este fato implica no arranjo dos produtos para o

processo, no qual evita-se colocar muito material que não produz sebo suficiente para o seu cozimento e, conseqüentemente, deixando a massa mais densa e difícil de ser movida pelo equipamento.

Deste modo, o modelo elaborado aponta a medição de energia elétrica e da matéria prima por no mínimo uma semana, por outro lado, as bibliografias recomendam um ciclo completo de operação. Desta forma, realizaram os dois tipos de medições com o intuito de averiguar qual melhor se adapta às condições do referido equipamento e os demais.

Para a medição de um ciclo completo, deixou-se o registrador de energia realizando a leitura entre 15h e 6min do dia 19 de setembro até 00h e 38min do dia 21 de setembro de 2017, totalizando 2010 registros válidos. Neste período o motor consumiu na ponta e fora ponta 241,246 kWh e 1301,3 kWh, respectivamente.

As potências médias que o motor atingiu foram de 46,05 kW, 57,01 kVA e 33,43 kVAR, as quais resultam em um fator de potência médio de 0,81. Para atingir um FP de 0,92, este motor necessita de um banco capacitivo de 13,81 kVAR.

Nas condições atuais o motor atingiu a média de 61,4% da sua capacidade máxima de operação. Outra maneira de análise é a utilização das curvas de desempenho do motor, isto é, utilizando a corrente média registrada (110 A) e alocando na figura do Anexo A, obtém-se uma potência fornecida de aproximadamente 64%, FP de 0,75, rendimento de 95% e um escorregamento 0,62%.

Vale ressaltar que as curvas apresentadas no Anexo A foram elaboradas através de testes em motores novos, no entanto, elas servem como referência para os demais motores da mesma categoria.

Após a medição de um ciclo, o registrador foi novamente instalado no mesmo local e deixado por 7 dias de funcionamento (exceto domingo), sendo que, paralelamente, foi levantado o histórico da matéria prima processada neste período. A quantidade de material e o seu tipo estão dispostos na Tabela 8

Tabela 8 – Matéria prima processada.

Matéria prima	Porcentagem [%]
Despojos Bovinos	91,29
Despojos de Ovinos	0,07
Despojos de Suínos	8,64

Fonte: Fabrica de Farinhas e Ossos Ltda (2017).

Ao observar a tabela das matérias recebidas, percebe-se que o maior é de Despojos Bovinos, e de acordo com o período de levantamento na indústria esta matéria é a melhor para ser processada devido a suas propriedades físicas. Este fato também pode ser relacionado ao baixo carregamento do motor nos períodos analisados, pois a sua variação de densidade é relativamente baixa e seu controle de cozimento é facilitado.

A medição foi realizada entre os dias 6 e 13 de outubro de 2017, sendo registados consumos de 5,197 MWh fora ponta e 556,182 kWh na ponta. As potências médias registradas formam de 32,7 kW, 26,1 kVAR e 41,8 kVA resultando em um fator de potência de 0,78, um pouco inferior à medição de um ciclo.

Para o carregamento do motor houveram mudanças significativas nos valores, os quais estão dispostos na Tabela 9, já com a desconsideração de partidas iniciais e tempo de limpeza. Nela pode-se observar que o carregamento médio foi em torno de 50% e máximo de 91,6%.

Tabela 9 – Carregamento do digestor contínuo.

Data	Carregamento [%]	
	Médio	Máximo
06/10/2017	51,44	96,73
07/10/2017	53,44	94,89
09/10/2017	23,15	83,31
10/10/2017	61,25	89,21
11/10/2017	57,88	83,92
12/10/2017	62,14	94,69
13/10/2017	40,69	98,48

Fonte: Fabrica de Farinhas e Ossos Ltda (2017).

Fazendo o uso do Anexo A para a corrente média registrada neste período (90 A), obtém-se aproximadamente um carregamento de 55%, FP de 0,70, rendimento de 94% e escorregamento de 0,58%. Embora o carregamento apresente-se baixo, o rendimento do motor perante a curva fornecida pelo fabricante se encontra bem próximo ao do fornecido em sua placa de identificação.

4.1.4.4 Prensa

Da mesma forma que o motor anterior foi analisado e apresentado para um ciclo de operação, o motor da prensa será igualmente explorado neste item. Deste

modo, o motor da prensa é responsável pela separação do material sólido e líquido (sebo), caracterizando a separação principal da produção do sebo e da farinha. O motor utilizado pela máquina é de 150 kW, o qual pode ser visualizado na Figura 25 e seus respectivos dados de placa são mostradas na Tabela 10.

Figura 25 – Motor elétrico da prensa.



Fonte: Fabrica de Farinhas e Ossos Ltda (2017).

Tabela 10 – Dados de placa do motor da prensa.

Descrição	Dados
Linha do Produto	W22 IR2
Potência Nominal	150 kW
Rotação Nominal	1780 rpm
Tensão de Operação	380/660 V
Corrente Nominal	277/160 A
IP/IN	7,5
Fator de Serviço	1,00
Fator de Potência	0,88
Rendimento	93,4%
Fabricante	WEG
Modelo da Carcaça	315 S/M

Fonte: Fabrica de Farinhas e Ossos Ltda (2017).

A escolha por realizar a medição neste motor veio mais uma vez devido a sua relevância na indústria, pois a prensa é o segundo mais importante no processo e o

primeiro após os digestores. A sua relevância no processo está atrelada na capacidade de remover o sebo da massa, pois, uma vez que não haja remoção o máximo possível de sebo, a farinha perde qualidade e a empresa perde dinheiro, uma vez que o custo de venda de óleo é maior do que da farinha.

A medição deste motor foi realizada entre 20h e 59min do dia 21 de setembro até 13h e 55min do dia 22 de setembro de 2017. Neste período o motor consumiu na ponta 0,4 kWh e fora ponta 647,2 kWh com um fator de potência médio de 0,62 e as potências médias de 38,55 kW, 62,24 kVA e 46,32 kVAr. Para atingir um FP de 0,92 o motor necessita de aproximadamente 30 kVAr.

O motor obteve, nestas condições, um carregamento médio de 57,5% e, alocando sua corrente média (170 A) na figura do Anexo B, obtém-se cerca de 55% da potência fornecida em relação a nominal, um escorregamento de 0,25%, FP de 0,75 e rendimento de 94,5%.

4.2 Tecnologias adequadas para a indústria

Conforme observado nas medições e levantamentos, existem muitos motores operando com o seu carregamento médio em aproximadamente 60% e rendimentos bem próximos ao de placa. Deste modo, a substituição dos motores por novos não trará redução significativa de energia e seu tempo de retorno será alto.

4.2.1 Substituição de motores

Ao se aplicar a Equação 2 com valores médios de R\$ 29.523,70, R\$ 52.298,04 e rendimentos de 95,64 e 95,81, o tempo de retorno do investimento será de 14 anos, 17 anos e 7 meses para os motores de 75 kW e 150 kW, respectivamente. Para o valor da energia, foi considerado uma média de R\$ 0,57 de acordo com as faturas levantadas no período de um ano apresentadas no levantamento das faturas e, sendo 6.336 horas trabalhadas em um ano.

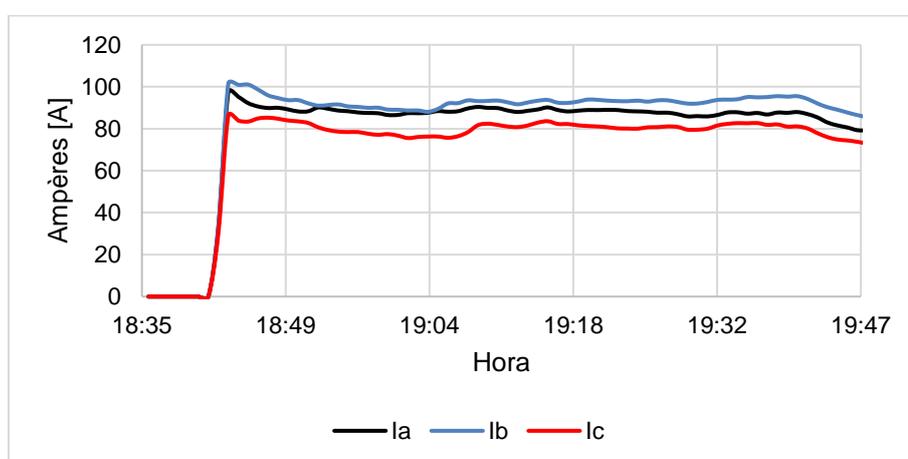
De acordo com o tempo de retorno e os rendimentos de operações dos motores, o estudo remete-se a substituição das chaves compensadoras por inversores de frequência. Esta troca acarretará em uma partida mais suave e um controle melhor da potência fornecida.

4.2.2 Substituição de acionamento do digestor contínuo

Para o motor do digestor contínuo, a opção de alterar o acoplamento atual e/ou trabalhar com a variação da velocidade em seu regime permanente está descartada. De acordo com o Anexo C, para manter o conjugado nominal de 41 kgfm, pode-se variar a frequência de 30 a 60 Hz, resultando em uma velocidade entre 900 e 1.800 rpm. Atualmente, o eixo do motor trabalha com 16 rpm e sem a possibilidade de grandes variações na sua caixa de redução.

Ao averiguar a partida deste equipamento, notou-se que, primeiramente, é adicionado sebo e, após seu aquecimento, é então adicionada a matéria prima. Este fato pode ser observado na Figura 26, a qual observa-se que a corrente de partida é baixa em relação aos dados de placa. Logo, para este equipamento a instalação do inversor não resultará em mudanças significativas de redução de consumo e somente trará uma partida mais suave ao equipamento.

Figura 26 – Partida do digestor contínuo.



Fonte: O autor (2017).

4.2.3 Substituição de acionamento da prensa

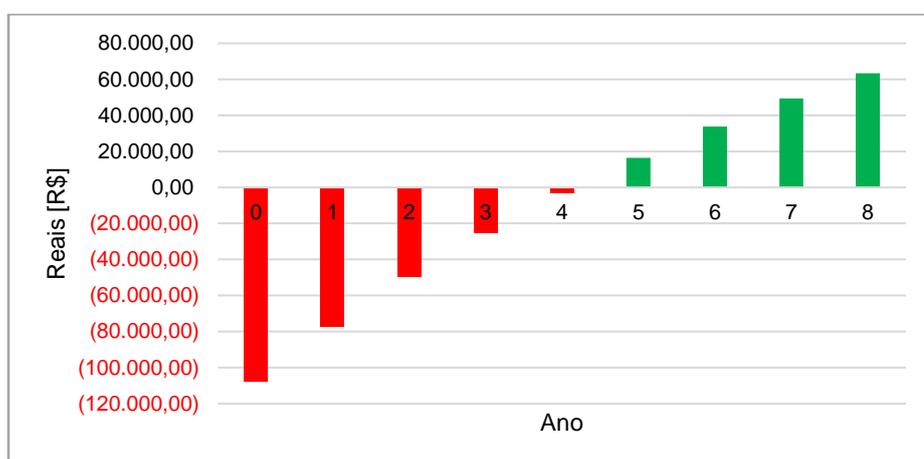
Analisando a troca da chave compensadora do motor da prensa, o qual opera com velocidade de 1.300 rpm na sua entrada da caixa redutora e que, segundo o Anexo D, a curva do conjugado nominal do motor permanece constante em 75 kgfm para uma faixa de frequência entre 35 e 60 Hz. A possibilidade no ajuste da variação da velocidade na caixa redutora viabiliza a instalação do inversor, pois o seu

carregamento está em torno dos 60% e, conseqüentemente, fornecendo uma potência de 90 kW.

Considerando a relação de velocidade 1:1 com o acoplamento direto a caixa redutora e removendo a redução de velocidade por correias, o motor precisará trabalhar com uma frequência de 43,33 Hz e fornecerá uma potência de 108 kW, o que garante uma reserva de potência sem alterar significativamente a estrutura física do equipamento. Deste modo, a substituição de um equipamento resultará em uma redução de 42 kW e para todas as 4 prensas 168 kW, totalizando uma redução média mensal de 13% em sua fatura de energia.

O inversor a ser aplicado neste equipamento, conforme o referencial teórico, deverá ser do tipo vetorial, onde precisa-se de um torque mais confiável e com resposta mais rápida. Logo, o custo médio deste inversor para este equipamento fica em torno de R\$ 26.924,00 e, de acordo com a Equação 1, para o fluxo de caixa com o investimento na substituição das 4 chaves e com redução na fatura de energia de 13% ao mês (R\$ 2.868,57), o investimento se pagaria em 5 anos. O fluxo de caixa para este investimento pode ser observado na Figura 27.

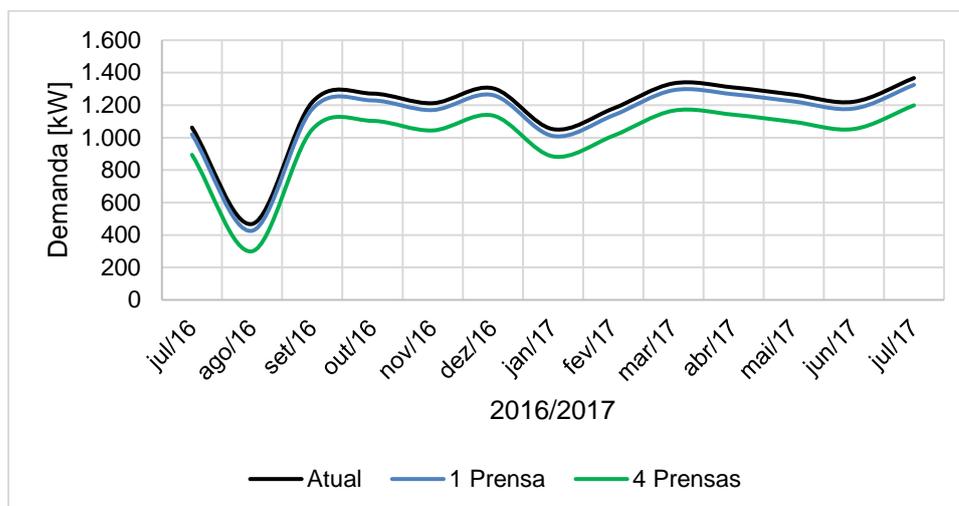
Figura 27 – Fluxo de caixa para aquisição do inversor.



Fonte: O autor (2017).

Também, é possível observar o impacto nas curvas de demandas de ponta de fora ponta representadas pelas Figuras 28 e 29, respectivamente, com a substituição de uma e quatro chaves compensadoras por inversores de frequências.

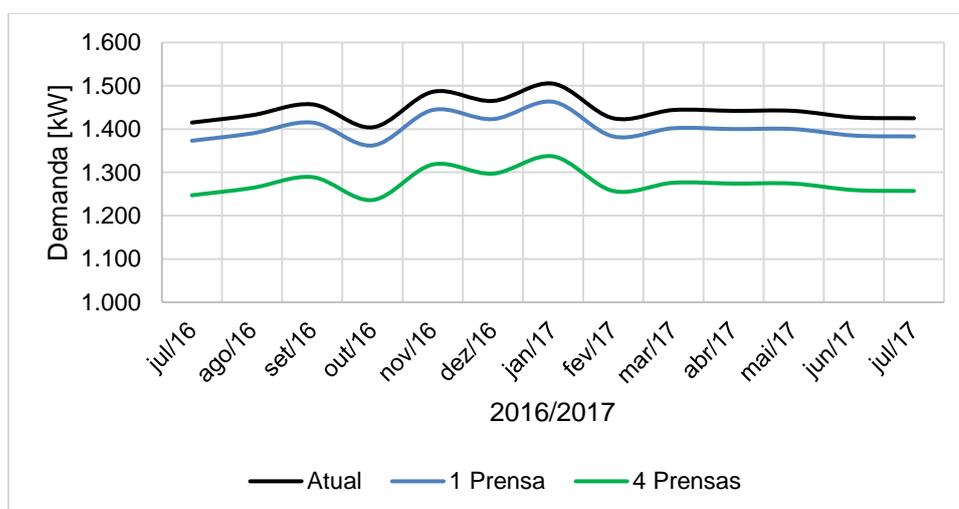
Figura 28 – Redução de demanda na ponta com a substituição das chaves compensadoras.



Fonte: O autor (2017).

Conforme observado nas Figuras 28 e 29 o impacto gerado em uma única substituição é relativamente baixo e, conseqüentemente, não trará resultados significativos para a indústria. Por outro lado, a substituição nas 4 prensas existentes trará um bom resultado no período do atual contrato de demanda, sendo este o de fora ponta e podendo ser observado exclusivamente na Figura 29.

Figura 29 – Redução de demanda fora ponta com a substituição das chaves compensadoras.



Fonte: O autor (2017).

4.3 Estimativas de eficiência

Através das análises realizadas anteriormente, verifica-se que a possibilidade de substituição da chave compensadora pelo inversor de frequência na prensa é uma alternativa de redução no consumo, pois, através da Figura 23, nota-se o seu impacto na demanda. No entanto, existem diversos motores operando sem os inversores, sendo possível a otimização dos seus processos.

Contudo, esta visão é otimista e notavelmente favorável à instalação dos inversores nestes equipamentos, pois tal substituição acarretaria no não aumento no contrato de demanda atual. No entanto, o período de medição foi relativamente baixo, necessitando-se mais medições com tempo prolongado de no mínimo uma semana em cada motor da linha, paralelo ao acompanhamento da matéria prima processada.

4.4 Considerações finais

Como se esperava, o setor industrial de transformação de subprodutos de animais possui grandes possibilidades e potencial para a conservação de energia, onde com apenas 4 substituições de chaves compensadores resultaram em uma redução de 13% em sua conta de energia mensal.

Com um investimento de aproximadamente R\$ 2.868,57 na implementação dos inversores nas quatro prensas, a indústria teria o retorno do investimento em 5 anos de operação. Logo, a comparação da redução na ponta e fora ponta entre o sistema atual e o proposto pode ser observada na Tabela 11.

Tabela 11 – Comparação entre o sistema atual e proposto.

Sistema	Acionamento	Quantidade de equipamentos	Média de consumo na ponta [kW/mês]	Média de consumo fora ponta [kW/mês]
Atual	Chave compensadora	4	1.174	1.444
Proposto	Inversor de frequência	4	1.006	1.276

Fonte: O autor (2017).

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A busca pela redução dos custos operacionais através da eficiência energética tem se tornado um caminho cada vez mais prático e vantajoso. Neste cenário, os motores elétricos se tornaram uns dos principais alvos de estudo nas indústrias, devido aos seus baixos valores de rendimento após inúmeras manutenções corretivas.

Neste contexto, o estudo realizado mostrou a possibilidade de redução na fatura de energia em 13% em apenas quatro equipamentos. Considerando o fato de que a filosofia da empresa é operar com 60% de carregamento em seus equipamentos e que existem vários motores operando igualmente ao motor da prensa, pode-se chegar a uma redução ainda maior de consumo.

De acordo com o apresentado no levantamento das curvas, o aumento da demanda em 3,57% já não seria mais necessário, pois a instalação dos inversores já iria reduzir a demanda de energia da indústria. No entanto, o período de acompanhamento terá que ser melhor analisado.

Considerando como objetivo deste trabalho a geração do modelo para as demais unidades, ele se demonstrou aplicável, uma vez que para medidas mais confiáveis neste ramo industrial precisa-se de um acompanhamento de no mínimo uma semana e com a variação de matéria prima. Este fato se comprova nas duas medições realizadas e apresentadas.

Para as demais etapas do modelo, tornam-se de suma importância o levantamento das curvas e das linhas de processo, para o entendimento do processo e, conseqüentemente, permitindo assim uma conclusão mais precisa quanto as substituições. Outro ponto relevante nestas etapas é para o contrato de energia perante a concessionária, isto é, remete-se a um contrato mais justo e fiel da unidade.

Por fim, pode-se afirmar que projetos que visão a eficiência energética em todos os setores econômicos do país, podem a vir contribuir para um melhor desenvolvimento do setor energético brasileiro, conseqüentemente, evitará desperdícios de energia elétrica que são transferidos em investimentos na geração, transmissão e distribuição do setor elétrico nacional.

5.1 Sugestão para trabalhos futuros

De modo a originar trabalhos futuros baseados em eficiência energética e que completariam o trabalho realizado nesta dissertação, é possível destacar alguns itens importantes como:

- Estudo relacionado ao projeto de inversores;
- Utilização de outras formas de acionamentos de motores elétricos;
- Levantamento da idade média e rendimentos de motores elétricos atualmente instalados nas indústrias;
- Abordagem mais ampla em relação a qualidade de energia no modelo proposto;
- Implementação do estudo de diagnóstico energético em demais indústrias.

6 REFERÊNCIAS

ABESCO. **Associação Brasileira das Empresas de Serviços de Conservação de Energia**, 2017. Disponível em: <<http://www.abesco.com.br/pt/>>. Acesso em: 05 ago. 2017.

ABNT. **NBR 5410 - Instalações elétricas de baixa tensão**. Associação Brasileira de Normas Técnicas. Rio de Janeiro, p. 209. 2008. (ABNT NBR 5410:2004).

ABRA. **Associação Brasileira de Reciclagem Animal**, 2017. Disponível em: <<http://abra.ind.br/views/index.php>>. Acesso em: 26 ago. 2017.

ABRAMAN. **Associação Brasileira de Manutenção e Gestão de Ativos**, 2017. Disponível em: <<http://www.abraman.org.br/sidebar/documento-nacional/beneficios-concedidos-aos-participantes-da-pesquisa>>. Acesso em: 26 ago. 2017.

ANEEL. **Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional, Módulo 8 - Qualidade da Energia Elétrica**. Agência Nacional de Energia Elétrica. Brasília, p. 90. 2017.

BEZERRA, F. **Portal da Administração**, 2015. Disponível em: <<http://www.portal-administracao.com/2014/04/diagrama-de-pareto-passo-a-passo.html>>. Acesso em: 20 ago. 2017.

CHAPMAN, J. S. **Fundamentos de Máquinas Elétricas**. 5ª. ed. Porto Alegre: AMGH, 2013.

CREDER, H. **Instalações Elétricas**. 16ª. ed. Rio de Janeiro: LTC S. A., 2016.

DIAS, G. A. D. **Harmônicas em Sistemas Industriais**. 2ª. ed. São Paulo: EDIPUCRS, 2000.

ELETROBRAS, C. E. B. S. A. **Eletrobras**, 2017. Disponível em: <<http://eletrobras.com/pt/Paginas/home.aspx>>. Acesso em: 02 ago. 2017.

EMBRASUL. **Embrasul Indústria Eletrônica Ltda**, 2017. Disponível em: <<http://www.embrasul.com.br/index>>. Acesso em: 20 ago. 2017.

EPE. **Empresa de Pesquisa Energética**, 2017. Disponível em: <<http://www.epe.gov.br/Paginas/default.aspx>>. Acesso em: 17 ago. 2017.

EPE. **Plano Decenal de Expansão de Energia 2026**. Empresa de Pesquisa Energética. Rio de Janeiro, p. 264. 2017.

EPE. **Síntese do Relatório Final 2017 do Balanço Energético Nacional**. Empresa de Pesquisa Energética. Rio de Janeiro, p. 61. 2017.

FILHO, J. M. **Instalações Elétricas Industriais**. 9ª. ed. Rio de Janeiro: LTC S. A., 2017.

FILHO, N. C.; KOPITKE, B. H. **Análise de Investimentos: matemática financeira, engenharia econômica, tomada de decisão, estratégia empresarial**. 11º. ed. São Paulo: Atlas, 2010.

FREO, C. M. **Estudo de Eficiência Energética do Sistema de Iluminação da Associação Beneficente Ouro Branco**. Fundação Universidade Federal do Pampa. Alegrete, p. 92. 2016.

IBGE. Sistema IBGE de Recuperação Automática - SIDRA. **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística**, 2017. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/default.php>>. Acesso em: 26 ago. 2017.

IEEE. **Std 519-1992**. Institute of Electrical and Electronic Engineers. New York, EUA, p. 80. 2014.

INFO, P. Centro Brasileiro de Informação de Eficiência Energética. **PROCEL INFO**, 2017. Disponível em: <<http://www.procelinfo.com.br/main.asp?Team=%7B505FF883-A273-4C47-A14E-0055586F97FC%7D>>. Acesso em: 01 ago. 2017.

KOSOW, I. L. **Máquinas Elétricas e Transformadores**. 15ª. ed. Porto Alegre: Globo S. A., 2005.

MAPA. **Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento**, 2017. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br/>>. Acesso em: 27 ago. 2017.

MME. Ministério de Minas e Energia, 2017. Disponível em: <<http://www.mme.gov.br/web/guest/pagina-inicial>>. Acesso em: 11 ago. 2017.

MORENO, H. **Harmônicas nas Instalações Elétricas**. 1ª. ed. São Paulo: PROCOBRE, 2001.

OIE. **World Organisation for Animal Health**, 2017. Disponível em: <<http://www.oie.int/>>. Acesso em: 27 ago. 2017.

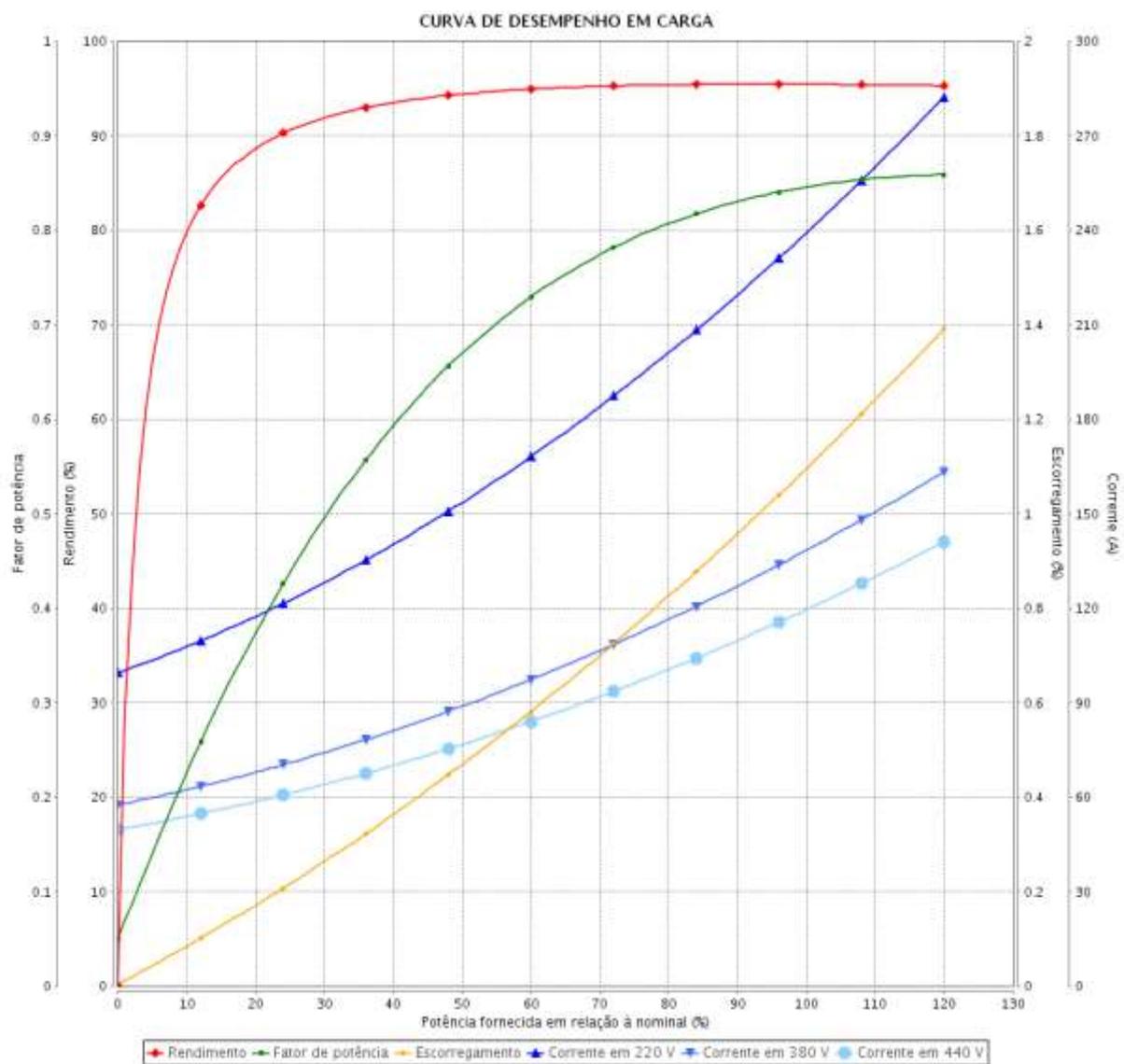
PRATES, W. R. **WR Prates**, 2016. Disponível em: <<http://www.wrprates.com/o-que-e-tir-taxa-interna-de-retorno/>>. Acesso em: 17 set. 2017.

PROCEL. **Relatório de resultados do Procel 2017**. Eletrobras. Rio de Janeiro, p. 63. 2017.

TEKNIKAO. **Manual de Operação do Medidor de Vibrações e Balanceador Dinâmico NK 600**. Teknikao Indústria e Comércio Ltda. São Paulo, p. 29. 2015.

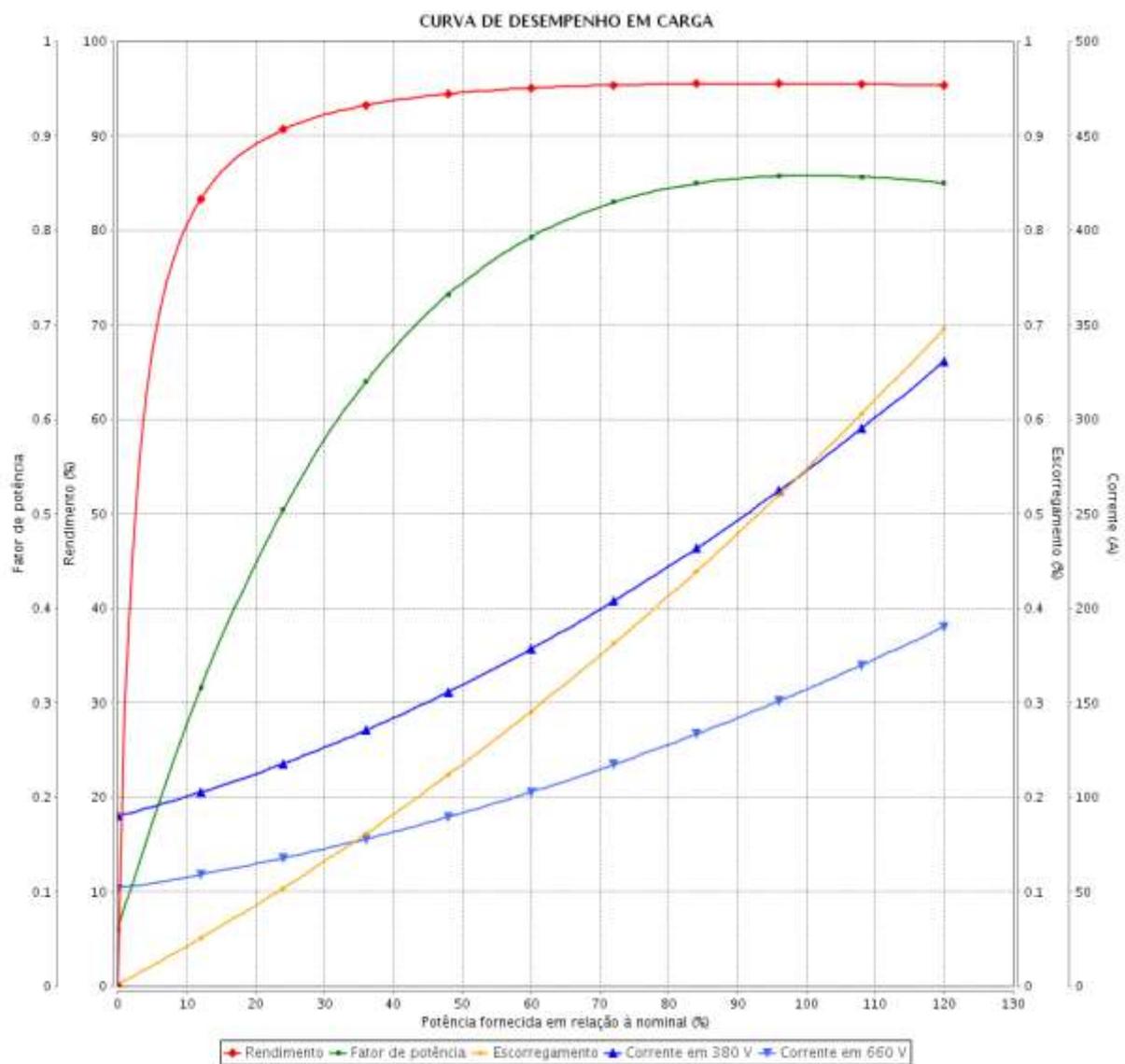
WEG. **WEG Motores Elétricos**, 2017. Disponível em: <<http://old.weg.net/br/Produtos-e-Servicos/Motores-Eletricos>>. Acesso em: 26 ago. 2017.

ANEXO A – Curva de desempenho do motor WEG W22 IR3 Premium, 75 kW.



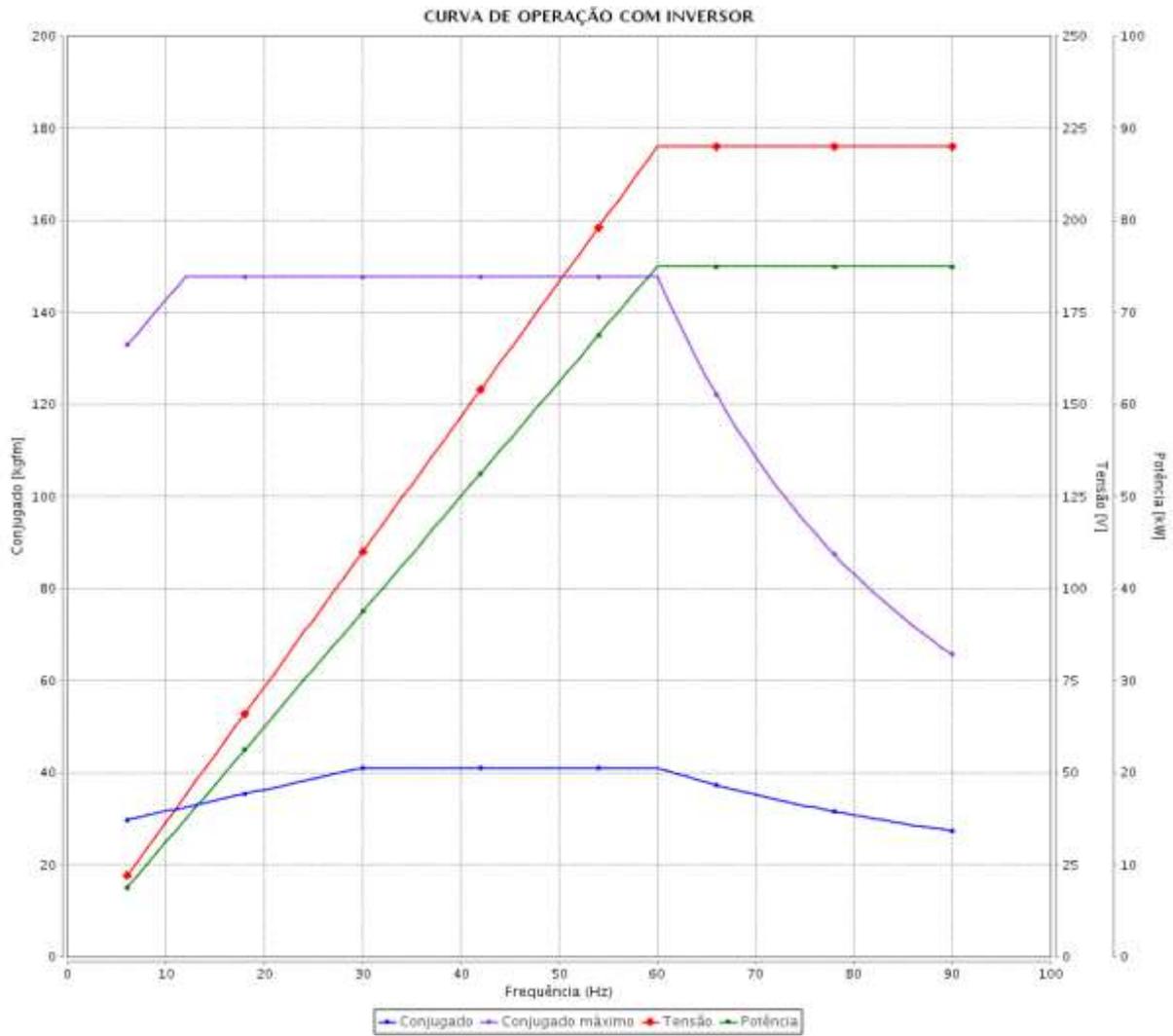
Fonte: Seleção de Motores WEG (2017).

ANEXO B – Curva de desempenho do motor WEG W22 IR2, 150 kW.



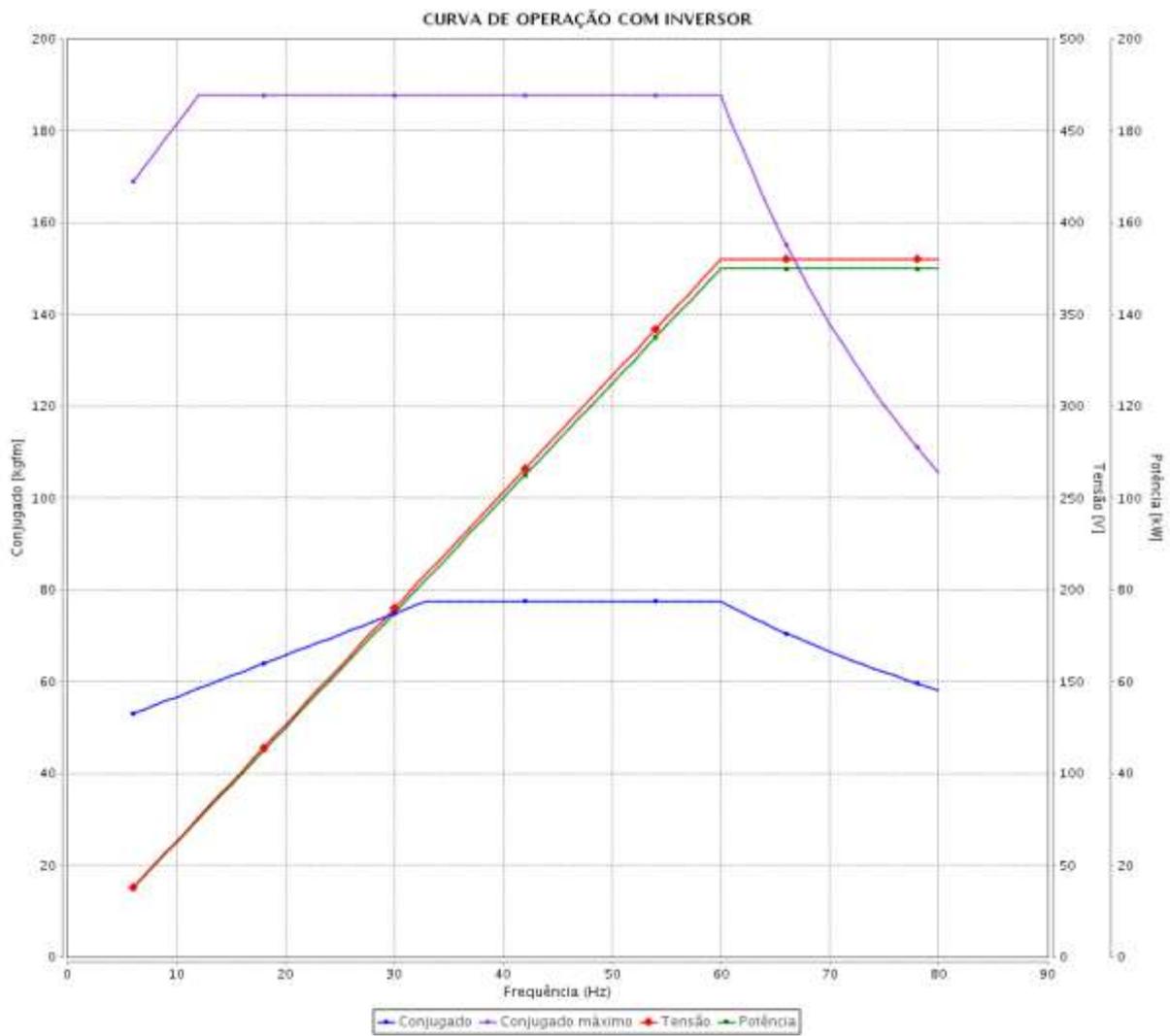
Fonte: Seleção de Motores WEG (2017).

ANEXO C – Curva de operação do motor WEG W22 IR3 Premium, 75 kW.



Fonte: Seleção de Motores WEG (2017).

ANEXO D – Curva de operação do motor WEG W22 IR2, 150 kW.



Fonte: Seleção de Motores WEG (2017).