

UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS

**JOSÉ GOIS PERY DE SOUZA NETO
MIGUEL ALVES DOS SANTOS NETO**

**ANÁLISE DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM FUNÇÃO DA TROCA DE
MOTORES DE INDUÇÃO EM UMA EMPRESA DE SANEAMENTO**

Goiânia

2020

**TERMO DE CIÊNCIA E DE AUTORIZAÇÃO PARA DISPONIBILIZAR
VERSÕES ELETRÔNICAS DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO DE
GRADUAÇÃO NO REPOSITÓRIO INSTITUCIONAL DA UFG**

Na qualidade de titular dos direitos de autor, autorizo a Universidade Federal de Goiás (UFG) a disponibilizar, gratuitamente, por meio do Repositório Institucional (RI/UFG), regulamentado pela Resolução CEPEC nº 1204/2014, sem ressarcimento dos direitos autorais, de acordo com a Lei nº 9610/98, o documento conforme permissões assinaladas abaixo, para fins de leitura, impressão e/ou *download*, a título de divulgação da produção científica brasileira, a partir desta data.

1. Identificação do Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação (TCCG):

Nome completo do autor: José Gois Pery de Souza Neto, Miguel Alves dos Santos Neto.

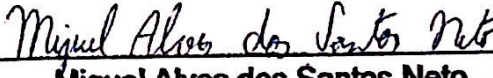
Título do trabalho: Análise da eficiência energética em função da troca de motores de indução em uma empresa de saneamento.

2. Informações de acesso ao documento:

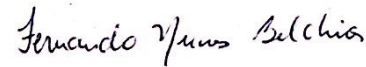
Concorda com a liberação total do documento SIM NÃO¹

Havendo concordância com a disponibilização eletrônica, torna-se imprescindível o envio do(s) arquivo(s) em formato digital PDF do TCCG.


José Gois Pery de Souza Neto


Miguel Alves dos Santos Neto

Ciente e de acordo:


Prof. Dr. Fernando Nunes Belchior


Eduardo José Frauche Velloso

Data: 15 / 01 / 2020

¹ Neste caso o documento será embargado por até um ano a partir da data de defesa. A extensão deste prazo suscita justificativa junto à coordenação do curso. Os dados do documento não serão disponibilizados durante o período de embargo.

Casos de embargo:

- Solicitação de registro de patente;
- Submissão de artigo em revista científica;
- Publicação como capítulo de livro;
- Publicação da dissertação/tese em livro.

JOSÉ GOIS PERY DE SOUZA NETO
MIGUEL ALVES DOS SANTOS NETO

**ANÁLISE DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM FUNÇÃO DA TROCA DE
MOTORES DE INDUÇÃO EM UMA EMPRESA DE SANEAMENTO**

Trabalho submetido à Escola de Engenharia Elétrica, Mecânica e Computação da Universidade Federal de Goiás para obtenção do Grau de Bacharel em Engenharia Elétrica. Sob orientação do Professor Dr. Fernando Nunes Belchior e Co orientação do mestrando Eduardo José Frauche Velloso

Goiânia

2020

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor, através do Programa de Geração Automática do Sistema de Bibliotecas da UFG.

Souza Neto, Jose Gois Pery de
Análise da eficiência energética em função da troca de motores de indução em uma empresa de saneamento. [manuscrito] / Jose Gois Pery de Souza Neto, Miguel Alves dos Santos Neto. - 2020.
70 f.

Orientador: Prof. Dr. Fernando Nunes Belchior; co-orientador Eduardo José Frauche Velloso.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal de Goiás, Escola de Engenharia Elétrica, Mecânica e de Computação (EMC), Engenharia Elétrica, Goiânia, 2020.

Inclui siglas, fotografias, abreviaturas, gráfico, tabelas, lista de figuras, lista de tabelas.

1. Eficiência Energética. I. Santos Neto, Miguel Alves dos. II. Belchior, Fernando Nunes , orient. III. Velloso, Eduardo José Frauche, co-orient. IV. Título.

CDU 621.3



ATA DE AVALIAÇÃO DE PROJETO FINAL

CURSO

(X) Eng. Elétrica () Eng. Mecânica () Eng. de Computação
() Projeto Final 1 () Projeto Final II

AVALIAÇÃO DE PROJETO FINAL

Título do projeto: ANÁLISE DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM FUNÇÕES DA TROCA DE MOTORES DE INDUÇÃO EM UMA EMPRESA DE SANEAMENTO

BANCA AVALIADORA

- Membro 1: FERNANDO NUNES BELCHIOR
Membro 2: EDUARDO JOSÉ FRAUCHE VELLOSO
Membro 3: MARCELO STEHUNG CASTRO
Membro 4: ANTÔNIO MELO DE OLIVEIRA

ESTUDANTES	
Matrícula	Nome
201515645	MIGUEL ALVES DOS SANTOS NETO
201405249	JOSÉ GOIS PERY DE SOUZA NETO

NOTAS																	
Matrícula	Membro 1				Membro 2				Membro 3				Membro 4				Média
	NPT	NTE	NAA	NF	NPT	NTE	NAA	NF	NPT	NTE	NAA	NF	NPT	NTE	NAA	NF	
201515645	10	9,0	10	9,5	9,0	10	9,5	9,0	10	9,5	9,0	10	9,5	9,0	10	9,5	9,5
201405249	10	9,0	10	9,5	9,0	10	9,5	9,0	10	9,5	9,0	10	9,5	9,0	10	9,5	9,5

NPT – Nota plano de trabalho; NTE – Nota do trabalho escrito; NAA – Nota de apresentação e arguição
Para Eng. Elétrica, Mecânica e PFC2 da Eng. Da Computação: $NF = 0,1 \times NPT + 0,45 \times NTE + 0,45 \times NAA$
Para PFC1 da Eng. Da Computação: $NF = 0,3 \times NPT + 0,7 \times NAA$

Goiânia, ____ de _____ de 20____.



Fernando Nunes Belchior

Membro 1

Eduardo de Franche Velloso

Membro 2

Marcelo Stehling de Bastos

Membro 3

Adriano Velloso

Membro 4

FREQUÊNCIA – a ser preenchido pelo orientador(a)	
Nome do(a) estudante	Frequência (%)
MIGUEL ALVES DOS SANTOS NETO	100
JOSÉ GOIS PERY DE SOUZA NETO	100

Fernando Nunes Belchior
Professor(a) Orientador(a)

ATA DE AVALIAÇÃO DE PROJETO FINAL - Observações

Preencher com modificações solicitadas, caso existam. Em caso de reprovação, informar a justificativa.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por minha vida e pela chance de estar crescendo a cada dia, pessoalmente e academicamente. Ao meu irmão Júnior que sempre me deu apoio e é meu parceiro para vida toda. Ao meu pai que sempre foi meu referencial de pessoa e que sempre me incentivou a estudar. A minha mãe, Nilza, que me criou, aconselhou e me deu forças para vencer todas as minhas adversidades.

Aos meus demais familiares, que direta ou indiretamente, influenciam na minha formação como ser pessoa e me apoiam nos caminhos que escolho traçar para a minha vida. A minha namorada, Grazielly, por todo o companheirismo, apoio nas horas de dificuldades e força para me superar e entregar sempre o melhor.

Aos meus demais amigos de faculdade/atletica, os quais estão juntos comigo desde o início da minha jornada na faculdade, estudando, sofrendo, sorrindo e curtindo esses anos tão importantes na minha vida.

Um agradecimento especial ao meu companheiro neste trabalho, José Gois Pery de Souza Neto, que ao longo da faculdade se tornou um grande amigo e que hoje o considero um irmão. Agradeço-lhe pela parceria, apoio acadêmico e pela confiança e oportunidade de fazer este trabalho de conclusão de curso junto comigo.

Miguel Alves dos Santos Neto.

Agradeço a Deus pela saúde e força em todos os momentos necessários. Assim como a oportunidade de uma vida tão boa.

A minha mãe, Selma, que sempre me deu amor incondicional, apoio, base, educação e tudo mais que alguém poderia precisar para enfrentar as adversidades da vida. Ao meu pai, Wanderly, pelo amor incondicional, pelo suporte e que sempre me incentivou a estudar. As minhas irmãs, Aline e Amanda, que sempre estiveram ao meu lado, me dando força, sendo vozes com experiências e que me deram muita compreensão da vida. A minha namorada, Larissa, e sua família, por muita compreensão em todos os momentos, suporte em tantos outros e aprendizados.

Aos meus familiares, que compreenderam sempre minhas decisões, ausências, por eu acreditar e ir atrás do meu sonho.

Aos meus amigos de vida, que desde “sempre” estão comigo para tudo e em tudo. E que mais uma vez estiveram me dando apoio neste momento de conclusão.

Aos meus amigos de faculdade/atletica, que sem eles com toda a certeza não estaria aqui hoje, já teria desistido. Então mais uma vez expresso que ninguém forma sozinho.

Em especial e essencialmente ao meu companheiro de TCC, amigo, irmão. Agradeço não só por esse excelente trabalho, mas também pelos anos de atletica e pelo companheirismo sempre, desde viagens, até nos momentos de desespero na faculdade.

José Gois Pery de Souza Neto.

Em conjunto, agradecemos à Escola de Engenharia Elétrica, Mecânica e de Computação da Universidade Federal de Goiás por toda sua infraestrutura e docentes altamente capacitados, em especial ao professor Dr. Fernando Nunes Belchior e ao mestrando Eduardo José Frauche Velloso, por nos dar esta oportunidade e ter nos orientado de forma ímpar, dando sempre todo suporte possível. A SANEAGO, pela participação nesse trabalho, através do fornecimento de dados para serem utilizados no programa. Aos professores Dr. Antônio Melo de Oliveira e Dr. Marcelo Stehling de Castro pela participação na banca examinadora.

RESUMO

Este trabalho tem como objetivo principal a análise do funcionamento de alguns motores de uma empresa de saneamento básico e o cálculo da eficiência energética obtida no caso de substituição dos motores padrões por motores de alto rendimento. Portanto, foi necessário elaborar uma interface que permitisse determinar a economia financeira a partir da substituição dos motores de indução padrões por motores de indução de alto rendimento. Para a realização da interface foi utilizado o *software* Excel, fazendo uso das suas macros e VBA para criação do programa. Um dos grandes problemas dos motores de indução hoje empregados na empresa de saneamento é o seu rendimento, pois esses motores estão em funcionamento a muito tempo e o seu desempenho não é mais o mesmo, chegando ao ponto de fornecerem o desempenho bem diferente dos quais eles foram projetados para atenderem, fato este que faz com que eles consumam mais energia que a necessária, aumentando os custos energéticos das empresas de saneamento, tornando-os um dos principais custos operacionais. Por isso, o investimento em eficiência energética através da troca dos motores de indução padrões por motores de indução de alto rendimento são importantes, uma vez que reduziram consideravelmente os custos energéticos nas empresas de saneamento. Com o estudo, verifica-se que os motores utilizados numa empresa de saneamento são importantes para os custos do mesmo, pois eles estão ligados a atividade básica dos sistemas de abastecimento que é o bombeamento, logo toda redução de custo operacional nos mesmos é relevante para amenizar custos, para possibilitar a expansão do alcance do saneamento básico.

Palavras-chave: Eficiência energética, empresa de saneamento básico, motores de indução trifásico

ABSTRACT

This paper has as main objective to analyze the motors of a sanitation company and to calculate the energy efficiency obtained when replacing the standard motors with high performance motors. Therefore, it was necessary to create an interface that would allow us to determine the financial savings by replacing standard induction motors with high efficiency induction motors. For the execution of the interface was used Excel software, making use of its macros and VBA to create the program. One of the big problems with the induction motors employed today by the sanitation company is their performance, as these motors have been running for a long time and their performance is no longer the same, to the point of providing quite different performance than they were designed to attend, which makes them consume more energy than necessary, increasing the energy costs of sanitation companies, making this one of the main operating costs in the companies. For this reason, investing in energy efficiency by switching from standard induction motors to high performance induction motors is important as they have considerably reduced energy costs in sanitation companies. With the study it is verified that the motors used in a sanitation company are important for the costs of the same, since they are related to pumping, which is the basic activity of supply systems, therefore all operational cost reduction in them is relevant to mitigate costs, to enable the expansion of the scope of basic sanitation.

Keywords: Energy efficiency, standard induction motors, sanitation company.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Vista em corte de um motor de indução trifásico	17
Figura 2 – O rotor de um pequeno motor do tipo gaiola de esquilo.....	18
Figura 3 – A estrutura da gaiola de esquilo depois que as lâminas do rotor foram submetidas à corrosão	19
Figura 4 – Circuito Equivalente monofásico de um motor de indução trifásico.....	20
Figura 5 – Curvas típicas de conjugado (linha cheia) e potência (linha tracejada) para a região de funcionamento como motor.....	22
Figura 6 - Sistema trifásico estrela de baixa tensão.....	24
Figura 7 - Vista esquemática de um motor de indução monofásico.....	24
Figura 8 - Ligação série-paralelo estrela	25
Figura 9 - Ligação série-paralelo triângulo	26
Figura 10 - Ligação estrela-triângulo	27
Figura 11 - Ligação tripla tensão nominal.....	27
Figura 12 - Limites das variações de tensão e de frequência em funcionamento	28
Figura 13 - Selo Procel.....	34
Figura 14 – Consumo Anual de Energia Elétrica no Saneamento	35
Figura 15 - Gráfico de consumo de energia por classe no ano de 2018.....	37
Figura 16 - Comparativo entre compressor convencional e compressor <i>inverter</i>	38
Figura 17 - Distribuição do Consumo de Energia Elétrica por Uso Final.....	39
Figura 18 - Evolução do consumo com energia elétrica (AG028 e ES028) e despesas com energia elétrica (FN013) dos prestadores de serviços participantes do SNIS de 2003 a 2016	45
Figura 19 - Interface do programa para cálculo da eficiência energética de motores.....	53
Figura 20 - Comparativo entre motores para cálculo da eficiência energética	54
Figura 21 - Dados de placa motor de indução trifásico 1200 HP.....	55
Figura 22 - Dados de placa motor de indução trifásico 1400 cv	55
Figura 23 - Potência consumida na primeira semana de Agosto de 2019.....	56
Figura 24 - Potência consumida na segunda semana de Agosto de 2019	56
Figura 25 - Potência consumida na terceira semana de Agosto de 2019	57
Figura 26 - Potência consumida na quarta semana de Agosto de 2019	57
Figura 27 - Potência consumida na quinta semana de Agosto de 2019	58
Figura 28 - Comparativo entre motores.....	59
Figura 29 - Custos motor 1	59
Figura 30 - Custos motor 2	60
Figura 31 - Custos motor 3	61
Figura 32 - Custos motor 4.....	62
Figura 33 - Custos da combinação dos motores.....	63

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Lista de Iniciativas de Eficiência Energética	32
Tabela 2 - Intervenções no modelo do ProEESA	36
Tabela 3 - Resultado Energético das Intervenções no modelo do ProEESA	36
Tabela 4 - Resultado Econômico das Intervenções no modelo do ProEESA	36
Tabela 5 - Comparativo entre Motor <i>Standard</i> e Motor de Alto Rendimento	40
Tabela 6 - Níveis de rendimento mínimo aceitáveis	43
Tabela 7 - Representatividade do custo de energia elétrica.....	44
Tabela 8 - Potencial técnico de recuperação de energia elétrica no setor saneamento	46
Tabela 9 - Ações para redução dos custos energéticos numa empresa de saneamento.....	47
Tabela 10 - Média de funcionamento de cada motor	58
Tabela 11 - Custos motor 1	60
Tabela 12 - Comparativo motor 1 atual e futuro	60
Tabela 13 - Custos motor 2	61
Tabela 14 - Comparativo motor 2 atual e futuro	61
Tabela 15 - Custos motor 3	62
Tabela 16 - Comparativo motor 3 atual e futuro	62
Tabela 17 - Custos motor 4	63
Tabela 18 - Comparativo motor 4 atual e futuro	63
Tabela 19 - Custos da combinação dos motores.....	64
Tabela 20 - Comparativo valores atuais e futuros	64

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
A3P	Agenda Ambiental na Administração Pública
CENTRAL	Central de Compras e Contratações
CISAP	Comissão Interministerial de Sustentabilidade na Administração Pública
EE	Eficiência Energética
Eletrobrás	Centrais Elétricas Brasileiras S.A
IEC	International Electrotechnical Commission
NBR	Norma Brasileira
PBE	Programa Brasileiro de Etiquetagem
PLS	Planos de Gestão de Logística Sustentável
PROBIOGÁS	Projeto Brasil-Alemanha de Fomento ao Aproveitamento de Energia de Biogás no Brasil
PROCEL	Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica
ProEESA	Projeto de Eficiência Energética em Sistemas de Abastecimento de Água
PROMOB-e	Programa Sistemas de Propulsão Eficiente

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	VIII
LISTA DE TABELAS.....	XI
LISTAS DE SIGLAS E ABREVIATURAS.....	XII
SUMÁRIO.....	XIV
1 INTRODUÇÃO.....	13
1.1 Objetivos do Trabalho.....	14
1.2 Estrutura do Trabalho.....	14
2 MOTORES DE INDUÇÃO TRIFÁSICO.....	15
2.1 Considerações iniciais.....	15
2.2 Máquinas elétricas.....	15
2.3 Motores de indução.....	16
2.4 Motores de indução trifásico.....	17
2.5 Circuito equivalente de motores de indução.....	20
2.6 Relação entre conjugado e potência.....	21
2.7 Características da rede de alimentação.....	23
2.8 Características de alimentação do motor elétrico.....	24
2.9 Regulagem da velocidade de motores assíncronos de indução.....	28
2.10 Considerações finais.....	30
3 EFICIÊNCIA ENERGÉTICA.....	31
3.1 Considerações iniciais.....	31
3.2 Conceitos.....	31
3.3 Eficiência Energética no Brasil.....	32
3.3.1 Lei de eficiência energética.....	33
3.3.2 Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica.....	33
3.3.3 Projeto de Eficiência Energética em Sistemas de Abastecimento de Água.....	34
3.4 Tecnologias na Eficiência Energética.....	36
3.4.1 Tecnologia no Setor Residencial.....	37
3.4.2 Tecnologia no Setor Industrial.....	38
3.5 Considerações finais.....	41
4 APLICAÇÃO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM MOTORES DE INDUÇÃO TRIFÁSICOS.....	42
4.1 Considerações iniciais.....	42
4.2 Evolução da eficiência energética nos motores.....	42

4.3 Novo padrão de rendimento dos motores elétricos.....	43
4.4 Eficiência energética de motores de indução trifásico em uma empresa de saneamento básico	44
4.5 Motores de indução de alto rendimento aplicados em empresas de saneamento básico	48
4.6 Considerações finais.....	49
5 DESENVOLVIMENTO DE SOFTWARE E APLICAÇÃO EM EMPRESA DE SANEAMENTO	51
5.1 Considerações iniciais	51
5.2 Desenvolvimento do <i>Software</i>	51
5.3 Implementação do <i>Software</i> em uma empresa de saneamento.....	54
5.4 Considerações Finais	64
6 CONCLUSÃO	65
REFERÊNCIAS	66

1 INTRODUÇÃO

A cada dia que passa o consumo de energia elétrica aumenta e junto com esse crescimento surge cada vez mais a discussão sobre o uso consciente da energia elétrica, devido aos desperdícios por mal-uso da energia e pelo seu alto custo.

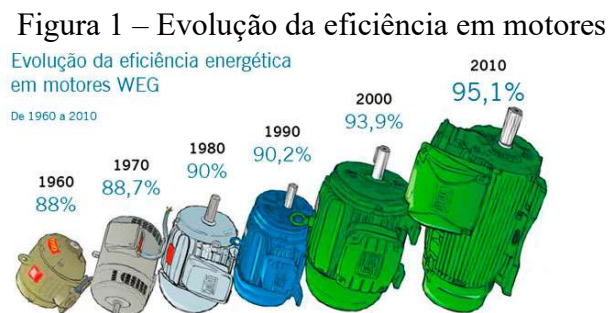
Juntando o alto consumo energético e o desperdício com o fato do Brasil, em 2005, estar passando por uma crise energética, o governo decidiu criar a Lei da Eficiência (Ministério de Minas e Energia, 2005), a fim de estabelecer valores mínimos de eficiência energética para máquinas e aparelhos consumidores de energia fabricados ou comercializados no País.

Eficiência energética nada mais é que usar de modo eficiente a energia para se obter um determinado resultado, ou seja, é a relação entre a quantidade de energia empregada em uma atividade e aquela disponibilizada para sua realização. De acordo com a IEC 60034-30 um motor de alto rendimento para uma frequência de 60Hz e 1000kW tem rendimento acima de 95%, portanto usará extremamente bem a energia empregada nesta atividade.

Uma área na qual a Eficiência Energética pode ter fortes influências nos custos energéticos são nas empresas de saneamento básico, uma vez que elas possuem vários motores de indução em funcionamento, durante praticamente, o dia todo.

Numa empresa de saneamento básico o processo que consome mais energia é no bombeamento de água, realizado por motores de indução. A aplicação de eficiência energética nos motores que realizam essa atividade surge como uma opção para diminuir os custos energéticos com essa atividade, essencial nas empresas de saneamento.

Separando os gastos de uma empresa de saneamento em três vertentes, sendo elas, água, esgoto e energia, temos que a despesa com energia representa mais de 35% do total. Isto se dá pelo grande número de motores atualmente instalados nas estações das empresas de saneamento, no caso da SANEAGO (Empresa de saneamento de Goiás) este número passar dos 5 mil motores instalados pelo estado. E em uma grande maioria são motores com mais de 30 anos, bastante antigos.



Fonte: WEG- Motores elétricos Guia de Especificações.

1.1 Objetivos do Trabalho

Tendo em vista o crescimento do consumo de energia por parte de empresas de saneamento, este trabalho de conclusão de curso tem como objetivo principal elaborar um *software* que seja capaz de determinar a economia financeira a partir da substituição dos motores de indução nas instalações elétricas de uma empresa de saneamento. Os parâmetros a serem analisados compreendem: potência elétrica, rendimento, fator de potência, tarifas de energia elétrica da concessionária local, horário de utilização e carregamento dos motores, entre outros. Com este trabalho também busca-se aprender sobre o funcionamento de um motor trifásico de indução e quais são os fatores que interferem na sua eficiência.

1.2 Estrutura do Trabalho

O trabalho foi dividido em 6 capítulos. O capítulo 2 apresenta o embasamento teórico acerca dos motores de indução trifásico e alguns parâmetros e características importantes dos motores para a garantia da eficiência energética. O capítulo 3 trata da eficiência energética mostrando sua evolução ao longo da história através das leis que a regulamentam. No capítulo 4 é tratado como a eficiência energética surgiu nos motores e depois como pode ser feita a aplicação da eficiência energética nos motores de indução trifásico numa empresa de saneamento básico. No capítulo 5 é feita a implementação do *software* desenvolvido e aplicação do mesmo com os motores da estação elevatória meia ponte, operado pela empresa SANEAGO. Por fim, no capítulo 5 é apresentada a conclusão de todo o trabalho realizado e dos resultados obtidos.

2 MOTORES DE INDUÇÃO TRIFÁSICO

2.1 Considerações iniciais

Neste capítulo será realizada uma breve abordagem sobre o que são as máquinas elétricas e as particularidades delas, chegando aos motores de indução. Em relação aos motores de indução será explicado o seu princípio de funcionamento. Na sequência, será dado foco ao motor de indução trifásico, no qual será explicado seu princípio de funcionamento, bem como algumas características importantes para o estudo realizado, como: relação entre conjugado e potência, características de rede de alimentação, características de alimentação de motores, entre outros.

2.2 Máquinas elétricas

Máquina elétrica é um conceito usado para separar em uma determinada categoria todo equipamento elétrico que funciona a partir da indução eletromagnética. Dentro da categoria de máquinas elétricas, elas podem ser separadas em máquinas estáticas ou máquinas rotativas. Máquinas estáticas, como o próprio nome diz são máquinas que não possuem movimento rotacional envolvido em seu funcionamento, como, por exemplo, os transformadores. Já as máquinas rotativas, possuem movimento, seja ele linear ou rotativo, associado ao seu funcionamento, como os motores e os geradores. Nas máquinas rotativas, as correntes são induzidas nos enrolamentos do rotor por meio da combinação da variação, no tempo, das correntes de estator e do movimento do rotor em relação ao estator (FITZGERALD, 2014).

Segundo FITZGERALD (1978), os geradores síncronos são máquinas elétricas rotativas destinadas a converter energia mecânica em elétrica, fornecendo corrente alternada de frequência constante, sob tensão também constante a uma dada velocidade e corrente de campo. O princípio básico da forma de atuação de um gerador é mudar o fluxo do campo magnético sobre uma espira condutora, com isso, será provocado o aparecimento de uma corrente elétrica alternada. As principais aplicações dos geradores são: concessionárias de energia; agroindústria; entretenimento; na construção civil; e na indústria e no comércio.

Os motores elétricos são as máquinas elétricas responsáveis por realizar a transformação da energia elétrica fornecida em seus terminais de alimentação em energia mecânica entregue ao seu eixo, energia esta que fará com que o eixo rotacione. Ou, também, podem ser definidos

como conversores eletromecânicos de potência capazes de gerenciar elevados níveis de energia (SIMONE; CREPPE, 2002, p. 84).

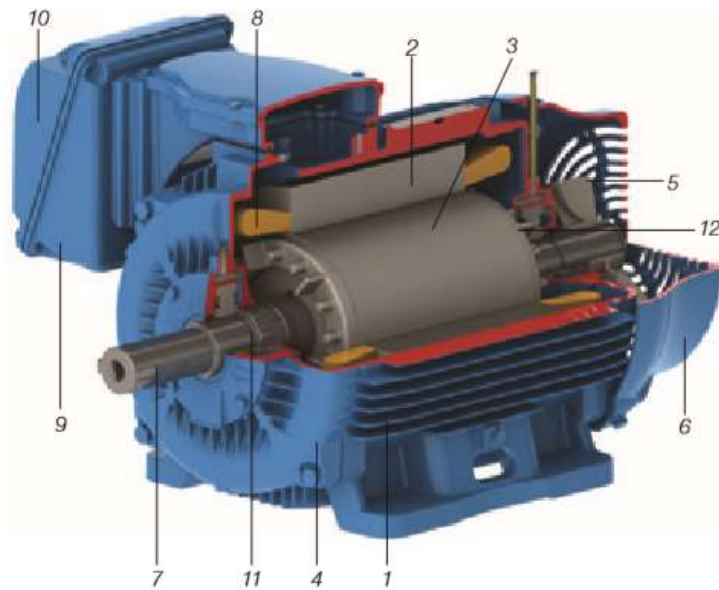
2.3 Motores de indução

Os motores de indução são os mais presentes nas instalações industriais, pois são os motores que apresentam uma maior quantidade de aplicações na indústria, devido a algumas características específicas do mesmo, entre elas: baixo custo de aquisição e manutenção; a grande vida útil; tem uma alimentação em corrente alternada, fato este que dispensa os conversores de corrente contínua para corrente alternada, uma vez que a distribuição de energia elétrica no Brasil é realizada em corrente alternada; não possui contato elétrico entre o estator e o rotor, tendo, assim, uma alta segurança de operação; entre outros.

O motor de indução funciona com base no campo girante. O rotor não está ligado a nenhuma fonte de alimentação, com isso, quando o enrolamento (bobina) que está presente no estator é submetida a uma tensão alternada vinda da fonte de alimentação, é gerado um campo magnético girante que, por sua vez, criará uma corrente alternada que gerará um campo magnético no rotor e, por conseguinte, uma corrente alternada que circulará pelo enrolamento do rotor. Essa corrente produzirá um fluxo magnético no rotor que por sua vez tentará se alinhar com o campo magnético girante do estator.

Um motor de indução é constituído basicamente de duas partes: o estator e o rotor. O estator é a parte estática, é composta pela carcaça, núcleo de chapas e um enrolamento de bobinas; e o rotor é a parte móvel, composto pelo eixo que transmite a potência mecânica concebida pelo motor para a carga (equipamento que está ligado diretamente no eixo do motor); núcleo de chapas e barras e anéis de curto-circuito. Em um motor de indução a energia elétrica é introduzida pelo estator e é transmitida para o eixo do rotor na forma de energia mecânica, fazendo o eixo rotacionar e fornecer energia mecânica para a carga acoplada a ele. A figura 1 mostra um motor de indução trifásico em corte com as principais partes da sua composição.

Figura 2 – Vista em corte de um motor de indução trifásico



Fonte: WEG-motores-eletricos-guia-de-especificacao-50032749-brochure-portuguese-web, página 13.

No estator tem-se: a carcaça (1), estrutura suporte do conjunto de construção robusta em ferro fundido, aço ou alumínio injetado, resistente à corrosão e normalmente com aletas; núcleo de chapas (2), composto de aço magnético; e enrolamento trifásico (8), três conjuntos iguais de bobinas, uma para cada fase, formando um sistema trifásico equilibrado ligado à rede trifásica de alimentação. Já no rotor tem-se: o eixo (7), que transmite a potência mecânica desenvolvida pelo motor; núcleo de chapas (3); e barras e anéis de curto-circuito (12), feitas de alumínio injetado sob pressão numa única peça.

Outras partes do MIT são: Tampa (4), ventilador (5), tampa defletora (6), caixa de ligação (9), terminais (10) e rolamentos (11).

2.4 Motores de indução trifásico

O princípio de funcionamento dos motores de indução trifásico é o mesmo do citado acima, com a única diferença que agora o estator é composto por três enrolamentos (bobinas) monofásicas.

Em motores de indução polifásicos pode-se ter dois tipos de rotores: o rotor enrolado ou bobinado e o rotor de gaiola de esquilo. O rotor enrolado ou bobinado é construído na forma de um enrolamento polifásico semelhante ao estator, tendo o mesmo número de polos. Os

terminais do enrolamento do rotor são conectados a anéis deslizantes isolados montados sobre o eixo. Os motores de indução de rotor bobinado são incomuns, presentes apenas em um número limitado de aplicações especializadas. Eles são recomendados nos casos em que a carga possui alto conjugado resistente ou alta inércia na partida, com número reduzido de partidas e cargas que não requeiram variação de velocidade.

O rotor de gaiola de esquilo, rotor que será utilizado neste trabalho, possui enrolamento que consiste em barras condutoras encaixadas em ranhuras no ferro do rotor e curto-circuitadas em cada lado por anéis condutores. Por sua extrema simplicidade e robustez da construção, o motor de indução trifásico com rotor de gaiola de esquilo, possuem grandes vantagens e conseqüentemente o tipo de motor mais usado, partindo de motores fracionários até motores de grande porte. A Figura 2 mostra o rotor de um pequeno motor do tipo gaiola de esquilo, ao passo que a Figura 3 mostra a própria gaiola de esquilo depois que as lâminas do rotor foram removidas quimicamente por corrosão.

Figura 3 – O rotor de um pequeno motor do tipo gaiola de esquilo



Fonte: Fitzgerald, 2014

Figura 4 – A estrutura da gaiola de esquilo depois que as lâminas do rotor foram submetidas à corrosão



Fonte: Fitzgerald, 2014

O campo girante do estator gira constantemente e o rotor nunca se alinha com ele. Logo, as máquinas de indução são máquinas assíncronas e produzem conjugado apenas quando a velocidade do rotor é diferente da velocidade síncrona, a velocidade do rotor (N) sempre é menor que a velocidade síncrona (N_s), equação (2.1).

$$N < N_s \quad (2.1)$$

A velocidade síncrona (velocidade do campo magnético girante) é calculada pela equação (2.2):

$$N_s = \frac{120 \cdot f}{P} \quad (2.2)$$

Onde:

N_s = Velocidade síncrona (RPM);

f = Frequência da tensão elétrica de alimentação (Hz);

p = Número total de polos por fase.

Por serem máquinas assíncronas, os motores de indução possuem um escorregamento, ou seja, diferença entre velocidade do rotor (N) e a velocidade síncrona (N_s). O escorregamento pode ser expresso pelas equações (2.3), (2.4) e (2.5).

$$s(\text{rpm}) = N_s - N \quad (2.3)$$

$$s(\text{rpm}) = \frac{N_s - N}{N_s} \quad (2.4)$$

$$s(\%) = \frac{N_s - N}{N_s} * 100 \quad (2.5)$$

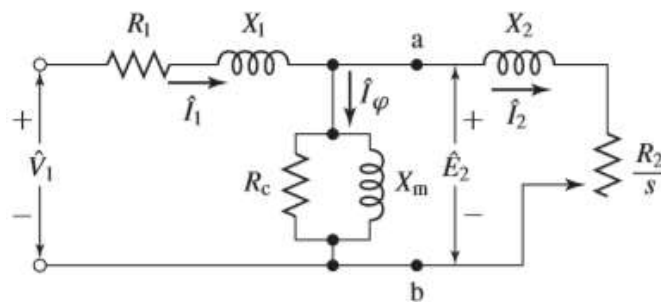
Onde:

S = escorregamento.

2.5 Circuito equivalente de motores de indução

A figura 4 mostra o circuito equivalente monofásico de um motor de indução trifásico:

Figura 1 – Circuito Equivalente monofásico de um motor de indução trifásico



Fonte: Fitzgerald, 2014

A partir do circuito equivalente da figura 4 é possível identificar e calcular algumas grandezas associadas à natureza elétrica do motor de indução trifásico:

A potência total transferida através do entreferro desde o estator é calculada através da equação (2.6):

$$P_g = 3 * I_2^2 * \left(\frac{R_2}{s}\right) \quad (2.6)$$

As perdas totais do rotor são calculadas conforme equação (2.7):

$$P_{rotor} = 3 * I_2^2 * R_2 \quad (2.7)$$

A potência eletromagnética desenvolvida pelo motor é calculada através da equação (2.8):

$$P_{mec} = P_g - P_{rotor} \quad (2.8)$$

Onde:

P_{mec} = Potência mecânica;

P_g = Potência gerada;

P_{rotor} = Potência do rotor.

R_2 = Resistência do rotor;

I_2 = Corrente do rotor.

Uma característica muito importante dos motores de indução trifásicos é o rendimento, o qual define a eficiência com que é feita a conversão da energia elétrica absorvida da rede pelo motor em energia mecânica disponível no eixo. (Fitzgerald, 2014). Sua fórmula é representada pela equação (2.9).

$$\eta = \frac{P_u}{P_a} \quad (2.9)$$

Onde:

P_u = Potência útil, entregue ao eixo do rotor (W);

P_a = Potência absorvida da rede de alimentação (W).

2.6 Relação entre conjugado e potência

O conjugado de um motor é diretamente proporcional ao seu peso, assim como ao seu tamanho, tal como ocorre com o preço de um motor. Junto ao fato do conjugado influenciar no peso e no tamanho do motor, ele também possui uma relação com a velocidade angular e com a potência do motor. Portanto, entender a função do conjugado no motor é de suma importância para se projetar e escolher um motor mais viável economicamente.

O conjugado, torque ou momento de força é o esforço realizado pelo motor para poder produzir uma torção ao redor do seu eixo. Toda força que atua sobre um braço de alavanca, produz um conjugado.

Para os motores, conjugado é o esforço que ele desenvolve, a partir do centro do eixo do rotor, quando ele realiza um trabalho, sobre uma carga mecânica. A energia resultante da interação entre os campos magnéticos, no motor, produz o conjugado no eixo.

O conjugado, potência mecânica e velocidade de rotação obedecem a seguinte relação, equação (2.10):

$$P_{mec} = \omega_m \cdot T_{mec} \quad (2.10)$$

Onde:

P_{mec} = Potência mecânica (W);

ω_m = Velocidade angular (rad/s);

T_{mec} = Conjugado (N.m).

Os valores de potência mecânica e conjugado não são os valores de saída entregues no eixo do motor, pois ainda não foram consideradas as perdas devido ao atrito, ventilação e outras perdas rotacionais. Para tal deve-se subtrair essas perdas, equação (2.11) e (2.12):

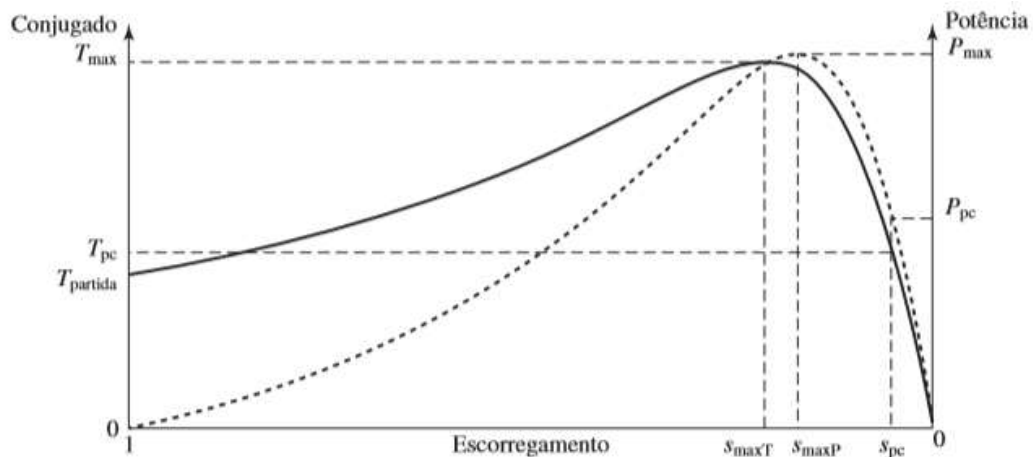
$$P_{eixo} = P_{mec} - P_{rot} \quad (2.11)$$

$$T_{eixo} = T_{mec} - T_{rot} \quad (2.12)$$

Os valores de P_{eixo} e T_{eixo} são os valores entregues na saída do eixo do motor.

A Figura 5 mostra as características de conjugado e potência típicas de um motor de indução operando na região de funcionamento como motor ($0 \leq s \leq 1,0$). Nesta figura, as condições de operação em plena carga são indicadas pelo escorregamento s_{pc} , conjugado T_{pc} e potência P_{pc} . É possível ver que a capacidade máxima de conjugado (e potência) é, em geral, algumas vezes a de seu valor de plena carga, ocorrendo com um escorregamento significativamente mais elevado. O conjugado eletromecânico máximo T_{max} ocorre em s_{maxT} , ao passo que a potência máxima P_{max} ocorre em um escorregamento um pouco menor s_{maxP} . (Fitzgerald, 2014).

Figura 2 – Curvas típicas de conjugado (linha cheia) e potência (linha tracejada) para a região de funcionamento como motor.



Fonte: Fitzgerald, 2014

O aumento da potência não pode ser feito de maneira arbitrária, pois, a partir de certo ponto, também deve-se aumentar o tamanho do motor, por causa do aquecimento que ele gera.

2.7 Características da rede de alimentação

A padronização da alimentação elétrica vigente atualmente no Brasil é recente, meados da década de 1970, quando os padrões realmente se tornaram modelos institucionalizados. Tanto a frequência quanto a tensão elétrica antes dessa padronização dependiam dos padrões adotados nos países onde se compravam os equipamentos elétricos, da instalação e do fornecimento da empresa elétrica.

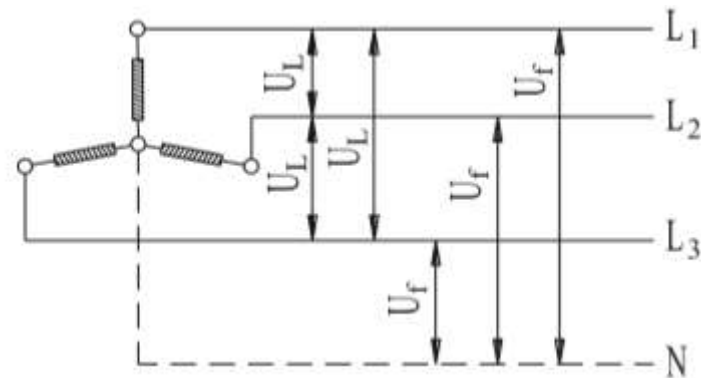
Quando a energia passou a ser gerada por usinas se fez necessário o implemento de padrões, pois agora, as usinas atendiam vários tipos de consumidores: iluminação pública, transportes públicos, fornecimento para empresas e atendimento a residências. As empresas de produção de energia começaram, então, um processo de padronização para realizar intercâmbio energético. A lei nº 4.454, de 6 de novembro de 1964, definiu adotar a frequência de 60 ciclos por segundo.

Em relação a tensão, uma comissão da Eletrobrás foi estabelecida, para criar um padrão, otimizar o fornecimento, melhorar o rendimento dos equipamentos e a eficiência energética. O decreto nº 73.080, de 5 de novembro de 1973, regulamentou os serviços de energia elétrica e estabeleceu os seguintes padrões de tensões nominais para novas instalações: transmissão e subtransmissão em corrente alternada, as tensões poderiam ser de 750 kV, 500 kV, 230 kV, 138 kV, 69 kV, 34,5 kV e 13,8 kV. Já para distribuição primária de corrente alternada em redes públicas, as tensões padrões deveriam ser de 34,5 kV ou 13,8 kV; e, por fim, para distribuição secundária de corrente alternada em redes públicas, poderiam ser 380 V/ 220 V, 220 V/ 127 V, em redes trifásicas a quatro fios, três fases e um neutro, e 230 V/ 115 V, em redes monofásicas a três fios.

A rede de alimentação monofásica é mais utilizada em serviços domésticos, comerciais e rurais, enquanto o sistema trifásico é mais utilizado em aplicações industriais.

O sistema trifásico estrela de baixa tensão, consiste de três condutores de fase (L1, L2, L3) e o condutor neutro (N), sendo este, conectado ao ponto estrela do gerador ou ao enrolamento secundário dos transformadores, figura 6.

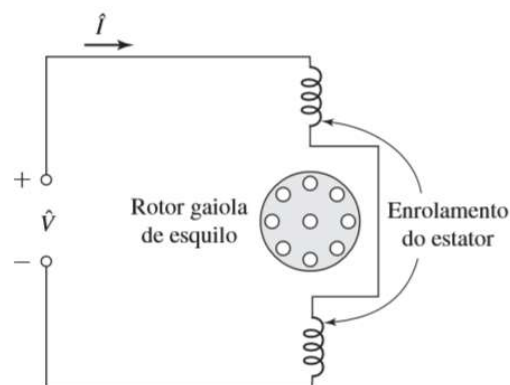
Figura 3 - Sistema trifásico estrela de baixa tensão



Fonte: WEG

Os motores monofásicos são ligados a duas fases (tensão entre linhas U_L) ou à uma fase e o neutro (tensão de fase U_f). Assim, a tensão nominal do motor monofásico deverá ser igual à tensão U_L ou U_f do sistema. Quando vários motores monofásicos são conectados ao sistema trifásico (formado por três sistemas monofásicos), deve-se tomar o cuidado para distribuí-los de maneira uniforme, evitando-se, assim, desequilíbrio de carga entre as fases, exemplo na figura 7.

Figura 4 - Vista esquemática de um motor de indução monofásico



Fonte: Fitzgerald, 2014

2.8 Características de alimentação do motor elétrico

Como foi discutido no tópico anterior, apesar da padronização das redes de alimentação, ainda é encontrado no sistema brasileiro várias tensões de alimentação. A fim de atender mais

aplicações, as fabricantes de motores geralmente projetam essas máquinas para poderem funcionar em redes de pelo menos duas tensões diferentes.

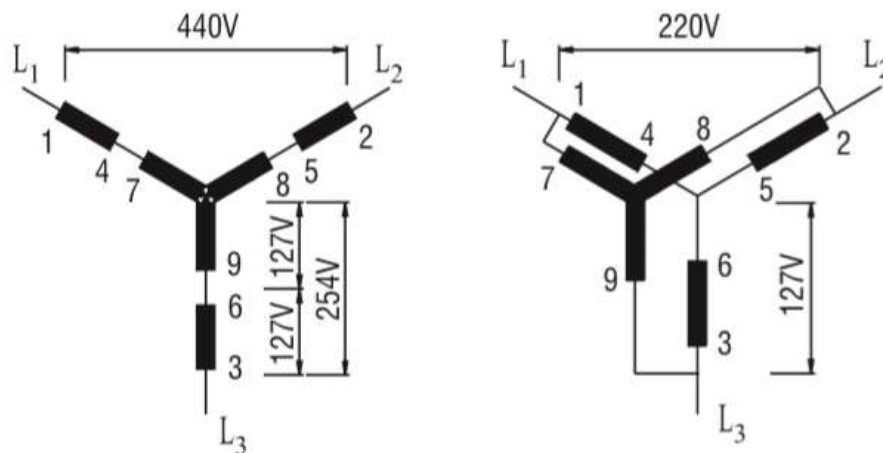
A forma utilizada em um projeto de motores elétricos, para que o mesmo atue em redes de diferentes tensões, é através da forma que as suas fases serão ligadas. Os principais tipos de ligação de motores para funcionamento em mais de um tipo de tensão de alimentação serão:

a) Ligação série-paralela

O enrolamento de cada fase é dividido em duas partes:

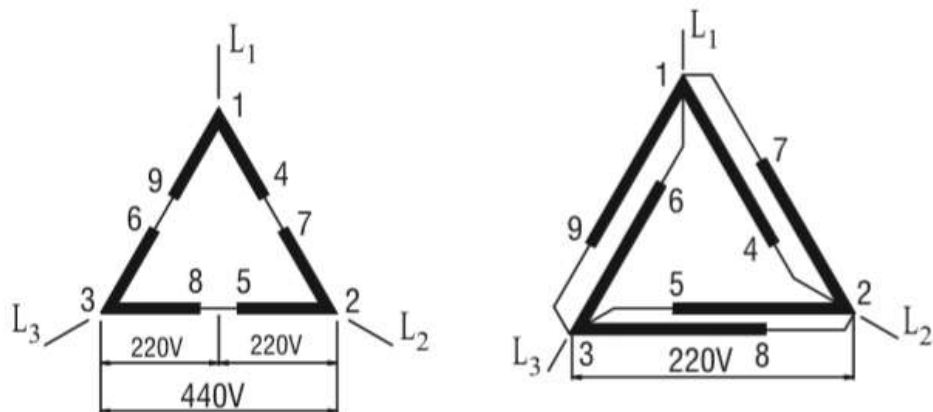
- Ligando as duas metades em série, cada metade ficará com a metade da tensão de fase nominal do motor. Veja figura 8.
- Ligando as duas metades em paralelo, o motor poderá ser alimentado com uma tensão igual à metade da tensão da condição anterior, sem que se altere a tensão aplicada a cada bobina. Veja figura 9.

Figura 5 - Ligação série-paralelo estrela



Fonte: WEG

Figura 6 - Ligação série-paralelo triângulo



Fonte: WEG

A tensão nominal mais comum para este tipo de ligação é 220/440 V e exige nove terminais no motor.

b) Ligação estrela-triângulo

Este tipo de ligação serve para qualquer combinação de tensões, somente se, a segunda tensão seja $\sqrt{3}$ maior que a primeira. Quando o motor é ligado em triângulo, ele permite que o motor seja alimentado por uma tensão igual a 220V. Ver figura 10. Entretanto, quando o mesmo é ligado em estrela, ela permite o motor ser alimentado por uma tensão igual a descrita na equação (2.13).

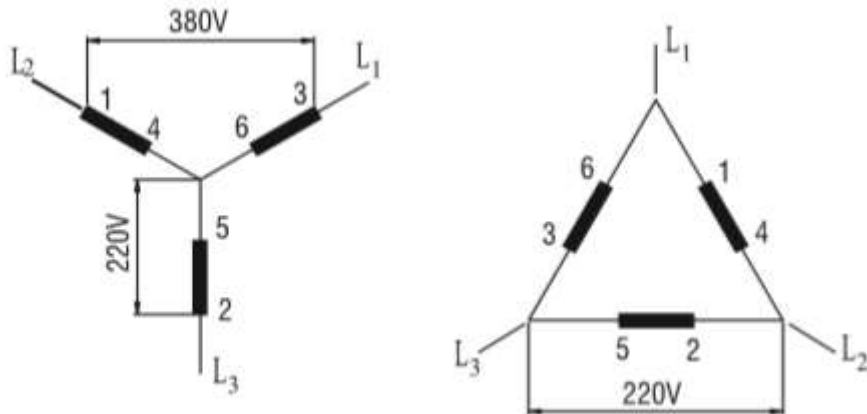
$$U_l = U_f * \sqrt{3} \quad (2.13)$$

Onde:

U_l = Tensão entre linhas (V);

U_f = Tensão de fase (V).

Figura 7 - Ligação estrela-triângulo



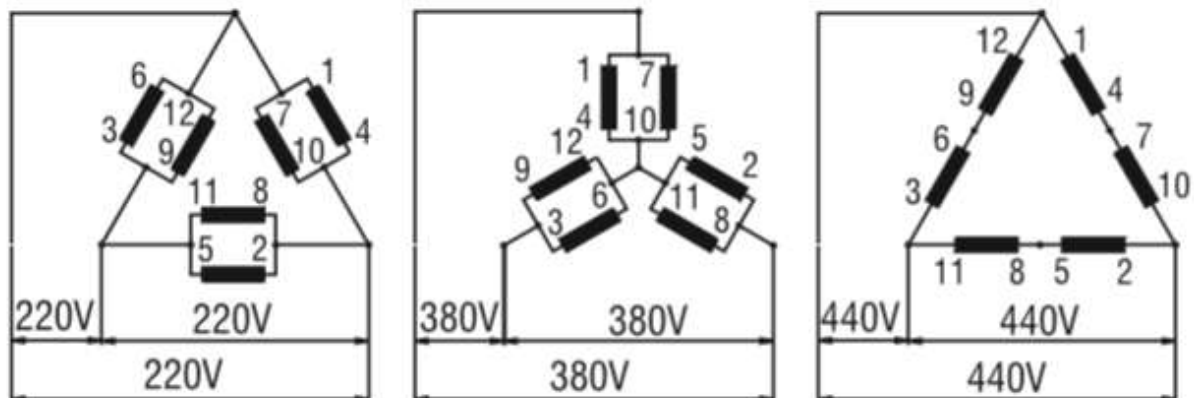
Fonte: WEG

c) Tripla tensão nominal

É a combinação dos dois tipos de ligação a e b: o enrolamento de cada fase é dividido em duas metades para ligação série-paralelo e todos os terminais podem ser usados para ligar as três fases em estrela ou triângulo. Com isso, são possíveis as seguintes combinações: triângulo paralelo, estrela paralela, triângulo série e estrela série. Veja a figura 11.

Assim como os motores elétricos são projetados para atuarem em determinadas tensões, os mesmos também são projetados para atuarem em determinadas frequências. Entretanto, existem certas restrições e perdas de algumas características.

Figura 8 - Ligação tripla tensão nominal



Fonte: WEG

Um motor trifásico projetado para 50 Hz pode ser ligado em uma rede de 60 Hz. Se ele for ligado mantendo a mesma tensão a tensão e corrente nominal do motor serão a mesma, a

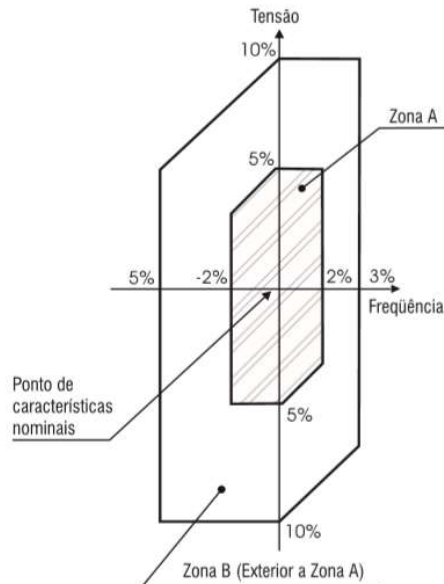
corrente de partida diminuirá **em cerca de 17%**, a velocidade nominal aumentará em cerca de 20% entre outras características (WEG, 2017).

Agora se a sua tensão for alterada proporcionalmente a sua frequência, a potência aumentará em cerca de 20%, a corrente nominal e de partida serão praticamente a mesma, a rotação nominal aumentará cerca de 20% entre outras características (WEG, 2017).

Os motores de indução possuem uma tolerância de variação de tensão e frequência, a norma ABNT NBR 17094 (2008) e IEC 60034-1, classifica em Zona A ou Zona B. Veja a figura 12.

Um motor deve ser capaz de desempenhar sua função principal na Zona B, mas pode apresentar desvios superiores àqueles da Zona A no que se refere às características de desempenho à tensão e frequência nominais. As elevações de temperatura podem ser superiores às verificadas com tensão e frequência nominais e muito provavelmente superiores àquelas da Zona A. O funcionamento prolongado na periferia da Zona B não é recomendado. Fonte: ABNT NBR 17094 (2008).

Figura 9 - Limites das variações de tensão e de frequência em funcionamento



Fonte: WEG

2.9 Regulagem da velocidade de motores assíncronos de indução

Uma característica que deve ser ressaltada levando-se em consideração a eficiência energética dos motores assíncronos de indução é como regular a sua velocidade. Um motor com

uma carga acoplada (bomba) em pleno funcionamento, sem nenhum equipamento para realizar o nivelamento de sua velocidade, de acordo com a necessidade, funcionará com velocidade máxima, mesmo que a carga não necessite de tal velocidade. Com isso, tem-se um alto gasto de energia e desperdício. Portanto, se faz necessário a regulagem da velocidade do motor, de acordo com a necessidade.

A velocidade do motor de indução pode ser dada pela equação (2.14):

$$N = \frac{2}{2P} \cdot f \cdot 60 \cdot (1 - s) \quad (2.14)$$

Onde:

N = Velocidade (RPM);

f = Frequência da tensão elétrica de alimentação (Hz);

2P = Número total de polos;

S = Escorregamento.

De acordo com os parâmetros da equação (2.14), para regular a velocidade de um motor assíncrono, pode-se utilizar o número de polos, escorregamento e frequência da tensão:

- Variação por número de pólos: a regulagem é discreta, sem perdas com uma carcaça maior do que a de um motor de velocidade única. Motores de duas velocidades com enrolamento por comutação de polos é o sistema mais comum, ela gera uma relação de pólos de 1:2 com relação de rotação de 2:1.
- Variação do Escorregamento: A velocidade do campo girante é mantida constante, e a velocidade do rotor é alterada, de acordo com as condições exigidas pela carga. (WEG, 2017)
- Variação da resistência rotórica: Devido a inserção de uma resistência interna no rotor, fazendo com que o escorregamento (s) aumente, causando a variação da velocidade. (WEG, 2017)
- Variação da Tensão do Estator: Pouco utilizado, pois gera perdas rotóricas e a faixa de variação de velocidade é pequena. (WEG, 2017).
- Variação por Inversores de Frequência: Também conhecidos como conversores estáticos de frequência, é amplamente utilizado na indústria, hoje é o método mais eficiente para o controle de velocidade dos motores de indução. Tais aplicações fornecem uma série de benefícios, redução de custos, o controle à distância, a

versatilidade, o aumento de qualidade, de qualidade e a melhor utilização da energia (WEG, 2017).

A falta de regulação da velocidade do motor pode prejudicar o funcionamento do equipamento ligado ao motor, consumo desnecessário de energia (desperdício) e falta de eficiência energética. Por tanto, sempre que se for escolher um motor para executar uma determinada função deve-se calcular a velocidade necessária do motor e fazer os ajustes necessários no mesmo.

2.10 Considerações finais

Neste capítulo, foi descrito o que é uma máquina elétrica, bem como suas classificações (máquinas rotativas e máquinas estáticas) e exemplos de cada tipo. Também foi explicado o que é um motor de indução trifásico, seu princípio de funcionamento, suas partes e funções ligadas a elas.

Apresentou-se a fundamentação teórica de algumas grandezas ligadas aos motores de indução trifásico, como: escorregamento, potência do rotor, rendimento, conjugado, entre outros. Além disso, foi abordado assuntos como: a regulação da velocidade nos motores de indução, as características de alimentação dos motores e da rede que alimenta o motor.

No próximo capítulo, será abordado a eficiência energética, suas áreas de aplicações e organizações que visam ampliar e melhorar sua utilização pela população em geral.

3 EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

3.1 Considerações iniciais

Neste capítulo, serão abordados os conceitos de eficiência e eficiência energética (EE), exemplos de projetos de eficiência energética, os setores da energia elétrica e iniciativas do governo em prol da eficiência energética.

Posteriormente, a introdução da teoria que cerca a eficiência energética, também será exposto com maior enfoque a atualização de motores de indução, com a intenção de aumentar a eficiência nas suas operações, gerando uma considerável economia, fazendo com que a atualização se torne viável.

3.2 Conceitos

Conceitualmente eficiência significa, “Capacidade de realizar bem um trabalho ou desempenhar adequadamente uma função; aptidão, capacidade, competência.” (Aurélio, 2019). Pode-se dizer, então, que eficiência é a capacidade de realizar um certo trabalho de modo eficaz com o mínimo de desperdício, ou seja, alcançar o melhor custo benefício possível.

A palavra eficiência energética (EE) indica o grau de sucesso como um processo de transferência ou conversão de energia é realizado. A equação (3.1) ajuda a entender o que é a eficiência energética.

$$\text{Eficiência} = \frac{\text{Resultado desejado}}{\text{Fornecimento necessário}} \quad (3.1)$$

Comumente é possível se deparar com a dúvida entre eficácia e eficiência, esclarecendo tem-se que eficiência, como exposto acima, é a qualidade com que se desempenha o trabalho, já eficácia é relacionado com o resultado, é alcançar melhor resultado com relação a meta, resultado possível. Um exemplo em que se distingue isto é um certo jogo de futebol. O time da casa atacou 55 vezes, chutou 18 vezes a gol, trocou 19 passes na área do adversário e teve 52% de posse de bola. O visitante atacou 34 vezes, chutou 14 vezes, trocou 11 passes na área e teve 48% de posse de bola. Com esses dados tem-se que o time da casa foi mais eficiente,

porém o exemplo foi tirado da Copa do Mundo de 2014, sabendo que o resultado foi 7 a 1 para a Alemanha, é notório o quão mais eficaz foi o visitante (POLITI, 2017).

Sabendo desses conceitos, pode-se chegar à conclusão de quando se trata de eficiência energética não basta apenas diminuir o consumo de energia, também há a necessidade de alcançar o mesmo resultado ou melhor, não adianta cortar o gasto energético pela metade e realizar apenas 60% do trabalho que anteriormente era realizado. Quando se trata de EE é possível resumir da seguinte forma, a troca de um equipamento antigo por um novo de mesma potência, porém com um consumo de energia menor, para que isso aconteça o rendimento deste novo equipamento deve ser melhor do que o anterior. E é em cima do rendimento dos motores de indução que este trabalho irá se basear.

3.3 Eficiência Energética no Brasil

Atualmente no Brasil é possível selecionar inúmeras iniciativas em EE, elas podem ser do setor privado ou de instituições públicas. Abaixo tem-se 15 das mais importantes dessas iniciativas (Estudo de Eficiência Energética, 2019).

Tabela 1 - Lista de Iniciativas de Eficiência Energética

1	Agenda Ambiental na Administração Pública - A3P
2	Transformação do Mercado de Eficiência Energética no Brasil - Projeto 3E
3	Projeto Brasil-Alemanha de Fomento ao Aproveit. Energ. de Biogás no Brasil (PROBIOGÁS)
4	Projeto de Eficiência Energética em Sistemas de Abastecimento de Água (ProEESA)
5	Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS)
6	Programa Desenvolvimento Produtivo
7	Programa Brasil Mais Produtivo (B+P)
8	Programa Inovar-Auto
9	Programa Sistemas de Propulsão Eficiente – PROMOB-e
10	Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE) – Inmetro
11	Sistema Esplanada Sustentável (SIS PES)
12	Central de Compras e Contratações (CENTRAL)
13	Planos de Gestão de Logística Sustentável (PLS)
14	Comissão Interministerial de Sustentabilidade na Administração Pública (CISAP)
15	EE: recomendações de ações de CT&I em segmentos da ind. Selec. - Celulose e Papel

Fonte: Estudo de Eficiência Energética, 2019

3.3.1 Lei de eficiência energética

A Lei nº 9991, de 24 de Julho de 2000 dispõe sobre a realização de investimentos em pesquisa e desenvolvimento e eficiência energética por parte das empresas concessionárias, permissionárias e autorizadas do setor de energia elétrica. A Lei nº 9991, de 24 de Julho de 2000 foi regulamentada pelo Decreto nº 3867, de 16/07/2001.

A Lei nº 9991/2000 decretou que as concessionárias e permissionárias de serviços públicos de distribuição de energia elétrica são obrigadas a aplicar, anualmente, o montante de, no mínimo, setenta e cinco centésimos por cento de sua receita operacional líquida em pesquisa e desenvolvimento do setor elétrico e, no mínimo, vinte e cinco centésimos por cento em programas de eficiência energética no uso final.

Em resumo, a Lei nº 9991/2000 impôs valores mínimos de investimentos que devem ser feitos por empresas de diversos setores relacionados à energia elétrica, em pesquisa e desenvolvimento.

Entretanto, as alterações que foram introduzidas pela Lei de eficiência energética criaram demandas, exigindo estrutura e conhecimento que as empresas do setor elétrico não possuíam, devido ao histórico reduzido de desenvolvimento de pesquisas em P&D no Brasil. Poucas empresas possuíam tradição de investimento em P&D antes da lei.

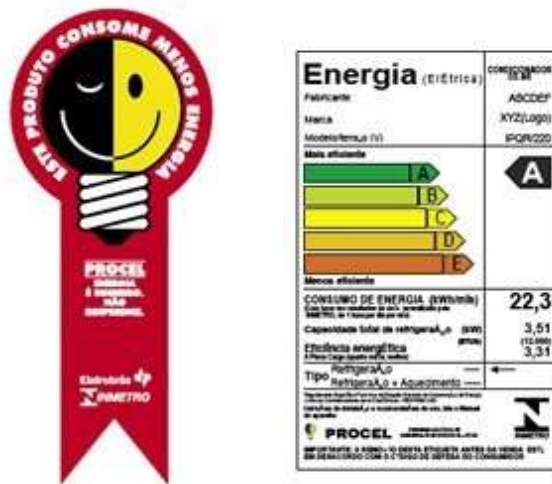
3.3.2 Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica

A preocupação com as fontes energéticas no Brasil não começou nos últimos anos, essa preocupação já tem mais de 40 anos, ela surgiu com os choques do petróleo em 1973-74 e 1979-1981. Com relação a energia elétrica, em 1985 foi criado o Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (PROCEL), inicialmente sua atuação esteve mais voltada para a publicação e distribuição de manuais destinados à conservação de energia elétrica, ou seja, voltada para a conscientização geral. Além da conscientização também houve algumas adequações de legislação e normas técnicas, porém apenas a partir de 1990 o PROCEL iniciou projetos de demonstração e cursos técnicos.

Após mais de 30 anos de programa é notório o quão importante se tornou o PROCEL para o desenvolvimento de novas tecnologias, mais eficientes e com preços atrativos. Uma iniciativa que é fundamental para que essa modernização tecnológica tenha mais visibilidade é o programa de etiquetagem e prêmios.

O programa do Selo Procel de Economia de Energia ou simplesmente Selo Procel foi instituído pelo Decreto Presidencial de 08 de dezembro de 1993. Este programa tem como intuito direcionar os consumidores aos produtos que apresentam os melhores níveis de eficiência energética dentro de cada categoria. Com esse direcionamento também é estimulado a criação, fabricação e comercialização de produtos mais eficientes, assim como as tecnologias que possibilitam essa maior eficiência.

Figura 10 - Selo Procel

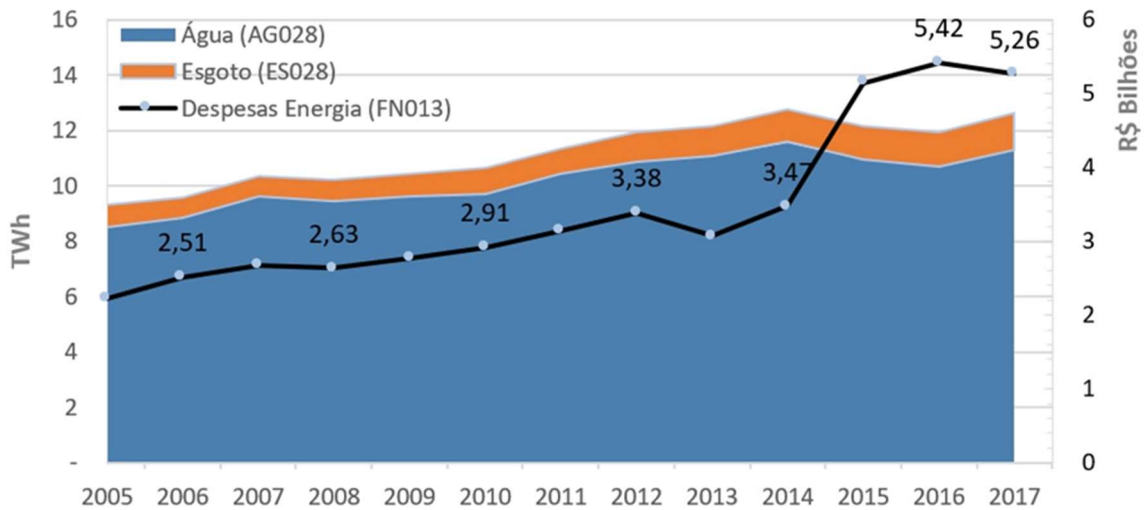


Fonte: Site Procelinfo, 2019

3.3.3 Projeto de Eficiência Energética em Sistemas de Abastecimento de Água

Projeto de Eficiência Energética em Sistemas de Abastecimento de Água (ProEESA) tem como objetivo aproveitar o potencial de economia existente nos sistemas de abastecimento. As empresas de saneamento possuem um gasto energético extremamente alto, dados do Sistema Nacional de Informações sobre o Saneamento (SNIS) de 2017 mostram que neste ano, as despesas com energia elétrica das empresas prestadoras de serviço de saneamento atingiram R\$ 5,26 bilhões (Figura 14), consumindo 12,6 TWh, esta quantidade de energia é equivalente ao consumo doméstico anual de cerca 18,2 milhões de habitantes no Brasil.

Figura 11 – Consumo Anual de Energia Elétrica no Saneamento



Fonte: SNIS

O foco em relação a todo esse potencial econômico existente no setor de saneamento é, que em médio prazo, gerar economias consideráveis nas despesas com eletricidade, diminuindo o consumo de energia elétrica e diminuindo as perdas de água. O ProEESA foi instituído em uma parceria entre a Secretaria Nacional de Saneamento do Ministério do Desenvolvimento Regional e o Ministério Federal da Cooperação Econômica e do Desenvolvimento (BMZ) da Alemanha, esta parceria teve respaldo da Cooperação Alemã para o Desenvolvimento Sustentável – *Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ)*.

Em 2016 um modelo foi concebido pelo ProEESA para demonstrar a sua viabilidade na prática, nele foi considerado uma cidade de 75.000 habitantes, com instalações de saneamento projetadas e construídas há 40 anos que não receberam nenhuma atualização, portanto não acompanharam o crescimento da cidade, funcionando acima da sua capacidade. O funcionamento acima da sua capacidade nominal faz com que o sistema opere 24h por dia, inclusive em hora de ponta, o que gera mais um acréscimo nos gastos. Para solucionar o desperdício energético várias intervenções são propostas, com estas intervenções no modelo é possível chegar a vários dados, economias de potência (kW), economia de consumo de energia (kWh) valor do investimento e o *payback*.

A seguir são expostas as intervenções propostas e seus resultados de acordo com o Ministério do Desenvolvimento Regional, mostrados nas tabelas 2, 3 e 4.

Tabela 2 - Intervenções no modelo do ProEESA

Local da Intervenção	Objetivo	Intervenções
Rede de Distribuição	Redução de perdas reais e aparentes	Implantação de válvulas redutoras de pressão;
		Substituição da rede de distribuição;
		Implantação de micromedidores em todas unidades consumidoras;
		Substituição de hidrômetros antigos.
Reservatório Apoiado	Eliminação bombeamento horário de ponta	Ampliação do volume de reservação.
Adutora de água tratada e água bruta	Redução da energia necessária para recalque de água	Substituição com aumento do diâmetro das adutoras.
Elevatória de água tratada e água bruta	Redução do consumo energético	Substituição das motobombas instaladas por conjuntos de maior eficiência com adequação da potência ao novo sistema instalado.

Fonte: Ministério do Desenvolvimento Regional

Tabela 3 - Resultado Energético das Intervenções no modelo do ProEESA

Energia Global Economizada (MWh/ano)			Demanda Global Economizada (kW)		
Total	Ponta	Fora de ponta	Total	Ponta	Fora de ponta
3.805	645	1.991	626	442	626

Fonte: Ministério do Desenvolvimento Regional

Tabela 4 - Resultado Econômico das Intervenções no modelo do ProEESA

Investimento	Custo Evitado	Payback
R\$ 25,6 milhões	R\$ 3,5 milhões/ano	7,3 anos

Fonte: Ministério do Desenvolvimento Regional

3.4 Tecnologias na Eficiência Energética

Cerca de 71 milhões de reais são “jogados fora” diariamente com o desperdício energético brasileiro, ou seja, em um ano são mais de 25 bilhões de reais, o que corresponde a 25% da produção de Itaipu no mesmo período. Os dados apresentados são da Associação

Brasileira das Empresas de Serviços de Conservação de Energia (ABESCO), de um estudo feito nos anos entre 2015 e 2017.

Analisando a figura 15 é notório que os maiores responsáveis por consumir a energia produzida no Brasil é o setor de transportes e o industrial. Desta forma, pode-se então dizer que são eles que encabeçam o desperdício de energia brasileiro, analisando um pouco mais a fundo é de fácil percepção que a indústria é a maior responsável pelo desperdício energético, uma vez que estão condicionados ao uso de maquinários que faz com que o valor de potência reativa aumenta, tal potência é a “culpada” pelo desperdício de energia, ou seja, energia que não gera trabalho.

Figura 12 - Gráfico de consumo de energia por classe no ano de 2018.

Fonte: BEN, 2019

3.4.1 Tecnologia no Setor Residencial

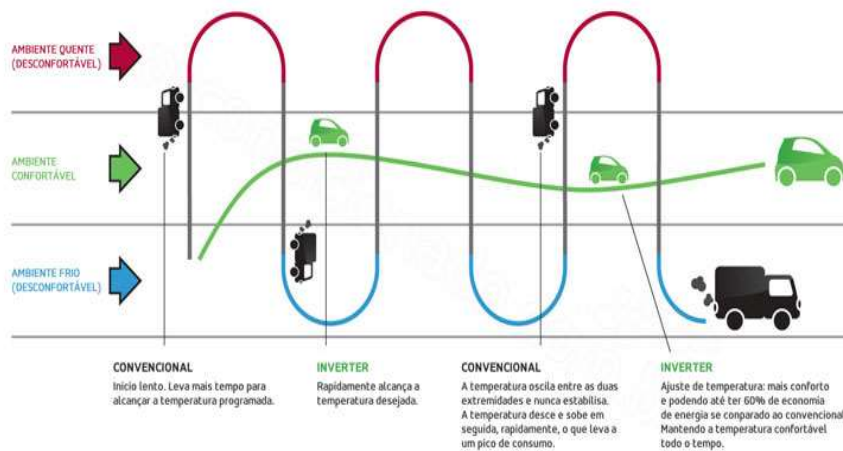
No setor residencial os aparelhos que estão ligados aos maiores consumos de energia são, chuveiro elétrico, ar condicionados e geladeiras. Nesse caso, a melhoria da eficiência energética está basicamente relacionada ao ar condicionados e geladeiras, já que pode-se dizer que a potência gasta em um chuveiro elétrico, mesmo sendo relativamente em grande quantidade, é unicamente ativa, por se tratar de uma carga integralmente resistiva. Já nos aparelhos de ar condicionado e geladeiras, além de ser em grande quantidade, não é toda a potência que vem para os aparelhos que é transformada em trabalho.

A melhor maneira para diminuir esse desperdício é tentar acompanhar a atualização da tecnologia empregada nestes eletrodomésticos. Atualmente, os aparelhos que possuem a tecnologia *inverter* têm uma grande vantagem energética em relação aos convencionais. Para entender o porquê da grande vantagem é necessário entender como cada um funciona.

Os equipamentos convencionais funcionam da seguinte forma: eles demoram um tempo considerável para alcançar a temperatura desejada, após alcançar esta temperatura o compressor desliga até que haja uma considerável mudança na temperatura, assim ele recebe um comando e voltar a ser ligado. E, desta forma, ele trabalha para manter a temperatura em acordo com a escolhida, porém com uma considerável variação. Já os equipamentos que possuem compressores *inverters* funcionam da seguinte forma: o compressor varia a rotação em função

da temperatura desejada, ou seja, ele nunca deixa de funcionar, assim que a temperatura desejada é alcançada ele diminui a rotação, voltando a aumentar de acordo com a necessidade ou até mesmo abaixando mais ainda, evitando picos de energia, o que diminui o consumo energético, além disso o aparelho com tecnologia *inverter* possui um rendimento maior do que o convencional, ou seja, naturalmente consomem menos energia para realizar o mesmo trabalho. A figura 16 mostra um comparativo entre os compressores e convencionais e *inverters*.

Figura 13 - Comparativo entre compressor convencional e compressor *inverter*.



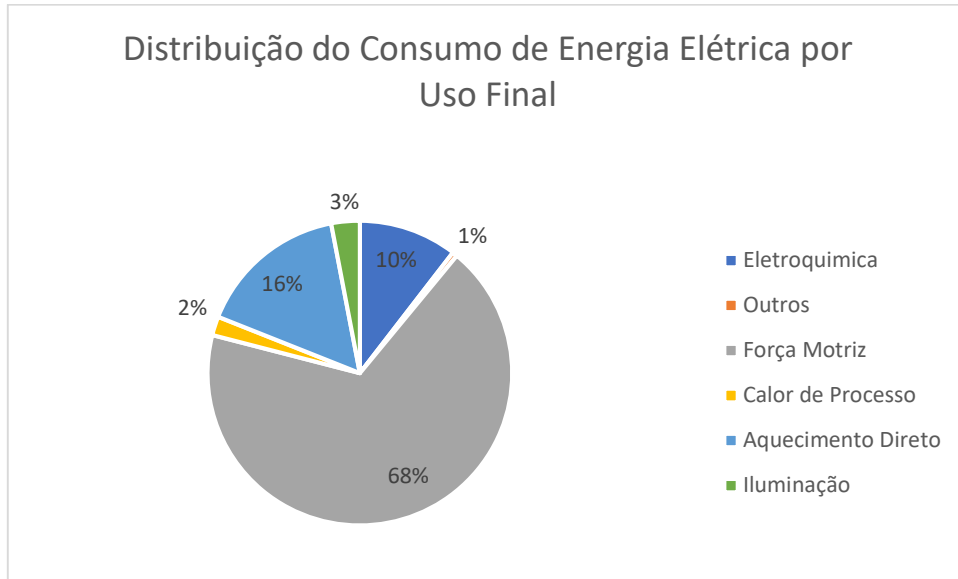
Fonte: Site Adias ar condicionado, 2019.

3.4.2 Tecnologia no Setor Industrial

Como visto na figura 15, o setor industrial é o segundo maior consumidor de energia do país, respondendo por 317% de todo o consumo final no ano de 2018 (BEN 2019, ano base 2018).

O consumo de energia elétrica entre todos os setores também é marcado pela forte participação da indústria. De 1970 até 2007 poucas variações ocorreram nesta distribuição, tendo o setor industrial uma ligeira queda de participação a partir da segunda metade da década de 80, mas recuperando-se nos últimos anos. (PNE 2030). A figura 17 mostra o perfil atual de consumo de energia elétrica entre os setores da economia.

Figura 14 - Distribuição do Consumo de Energia Elétrica por Uso Final



Fonte: PNE 2030

Com a grande utilização de energia por parte do setor industrial, seria comum se pensar que a eficiência energética fosse um assunto difundido e amplamente aplicado pelo setor. Entretanto, isso não ocorre com a intensidade desejada e uma ação mais efetiva se faz necessário.

No Brasil, várias ações têm sido empreendidas para a promoção da eficiência energética na indústria. Pode-se destacar quatro específicas: programa PROCEL Indústria (Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica); programa PROESCO (Apoio a Projetos de Eficiência Energética) com linha de financiamento do Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social– BNDES; os Programas de Eficiência Energética – PEE, conduzidos pela Agência Nacional de Energia Elétrica ANEEL e o do CONPET – Programa Nacional de Racionalização do Uso dos Derivados do Petróleo e do Gás Natural, conduzido pela Petrobras. (PNE 2030).

A energia é um fator de custo e não de resultados para a indústria em geral. Mas para a grande indústria, em particular, o peso da energia no custo final do produto produzido é significativo e pode atingir, em alguns segmentos, até 60% do custo total de produção.

No setor industrial, de forma geral, os motores industriais são os maiores responsáveis pelo gasto com energia, assim sendo, pode se trabalhar em cima deles para diminuir o desperdício de energia nas indústrias. Atualmente, existem motores de alto rendimento que podem alcançar mais de 95% de rendimento, isso se deve ao fato do motor de alto rendimento

ser feito de componentes de maior qualidade e uma maior quantidade de cobre do que o motor *standard* (padrão). O enrolamento em dupla camada faz com que o calor seja melhor dissipado, os rotores tratados termicamente e a menor região de entreferro reduzem as perdas suplementares. De acordo com o estudo realizado para o desenvolvimento deste trabalho de conclusão de curso, quando há a necessidade da instalação de um novo motor ou substituição de um motor antigo, principalmente em uma indústria de grande porte, que pode ter o uso dos motores de até 24 horas por dia, 7 dias por semana, a aquisição de um motor de alto rendimento se torna extremamente vantajoso.

O custo inicial de um motor de alto rendimento gira em torno de 30% mais caro do que o *standard*, dependendo do caso o retorno do investimento (*payback*) pode ser menos de um ano, então além dos benefícios para a rede em si, o benefício para o cliente chega de forma relativamente rápida.

Tabela 5 - Comparativo entre Motor *Standard* e Motor de Alto Rendimento

20 cv - 1.800 rpm		
MOTOR STANDARD		MOTOR ALTO RENDIMENTO
R\$	Preço de compra	31%
89.8%	Eficiência	92.4%
8.000 h	Uso anual	8.000 h
0	Economia anual de energia	3.703 kWh
0	Retorno do investimento	11.7 meses

Fonte: Site da WEG

De acordo com o Plano Nacional de Eficiência Energética, o quadro atual da eficiência energética na indústria pode ser resumido nas seguintes características:

- Energia é custo e não fator de resultado para a indústria;
- Energia é fator de competitividade para a indústria;
- Investimento em eficiência energética concorre com investimento na produção;
- Grande indústria compete em nível internacional: eficiência deve ser estimulada;
- A tecnologia é fator de competição, ou seja, não está livremente disponível;
- Os empreendimentos em eficiência energética têm dificuldade de acesso às linhas de financiamento;

- Necessidade de equipes multidisciplinares para tratar das questões de eficiência Energética;
- Limitação dos cursos tradicionais de engenharia na formação de profissionais para tratar das questões de eficiência energética;
- Limitação de projetos de eficiência destinados para economia de combustíveis e um maior foco em projetos de energia elétrica;
- Necessidade de definição de indicadores de desempenho energético por setor industrial que reflitam o consumo energético e a produção, incluindo treinamento de pessoal;
- Necessidade de firmar parcerias entre instituições de ensino com especialistas em Eficiência Energética e o sistema CONFEA-CREA com o objetivo de fomento à valorização profissional dos especialistas nessa área, em função de uma fiscalização multiprofissional competente, mais atuante e eficiente;
- Necessidade de definição de um roteiro básico ou *check list*, com o intuito de uma fiscalização mais apurada em Eficiência Energética nas empresas os empreendimentos, com o objetivo de evitar a informalidade na prestação de serviços nesse setor e conseqüentemente a busca pela valorização e divulgação do profissional especialista em Eficiência Energética.

3.5 Considerações finais

O capítulo nos mostrou o que é eficiência energética e alguns dos seus tipos. Também foi visto que existem vários programas em diferentes áreas que buscam a economia da energia elétrica, afim de obter um uso mais racional da mesma.

No próximo capítulo, será discutido sobre o saneamento no Brasil e formas para melhora-los, tendo como principal a troca de motores utilizados no bombeamento de água nos sistemas de abastecimento.

4 APLICAÇÃO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM MOTORES DE INDUÇÃO TRIFÁSICOS

4.1 Considerações iniciais

Neste capítulo será explicado sobre como surgiu e quais foram as etapas da eficiência energética em motores de indução trifásico, o que é padrão de rendimento e como a eficiência energética é tratada em uma empresa de saneamento básico.

4.2 Evolução da eficiência energética nos motores

A eficiência energética começou a ser tema de debates no Brasil após o apagão de 2001. A partir desse ano começou a se pensar formas para que os fabricantes de produtos eletroeletrônicos pudessem contribuir para a diminuição do consumo de energia elétrica.

Os rendimentos nominais dos motores no Brasil vêm sendo elevados, tanto da linha padrão como da linha de alto rendimento, devido ao mecanismo de “etiquetagem e padronização”, desde 1993. O grupo GT-Motores, do PBE – Programa Brasileiro de Etiquetagem, ele estabeleceu regras de rendimentos nominais mínimos. Os fabricantes também concorrem para obterem o Selo Procel, que premia os equipamentos mais eficientes em uma determinada categoria. Várias leis foram aprovadas pelo governo a fim de se produzir equipamentos mais eficientes.

Uma das leis que foram criadas foi a Lei Nº 10.295, de 17 de Outubro de 2001, que estabelece: “níveis máximos de consumo específico de energia, ou mínimos de eficiência energética, de máquinas e aparelhos consumidores de energia fabricados ou comercializados no País, com base em indicadores técnicos pertinentes.” Em 2005, o governo, através da portaria 553, estabeleceu os níveis mínimos de rendimentos para motores de indução trifásico, sem distinguir os motores padrão e de alto rendimento.

A boa implementação do mecanismo de “etiquetagem e padronização” nos motores, juntamente com a importância do motor elétrico trifásico de indução, impulsionou para que os MIT's fossem os primeiros equipamentos a terem os índices mínimos de desempenho regulamentados para atender a Lei de Eficiência Energética (Lei Nº10.295, de 17 de Outubro de 2001).

O decreto nº 4.508, de 11 de dezembro de 2002, estabeleceu os níveis de rendimento mínimo aceitáveis, fazendo a distinção entre motores padrões e de alto rendimento. Veja a

tabela 6 abaixo. Com isso, os fabricantes e consumidores finais são obrigados a adquirirem produtos que atendam os níveis definidos pelas leis vigentes.

Tabela 6 - Níveis de rendimento mínimo aceitáveis

cv ou hp	Kw	PADRÃO				ALTO RENDIMENTO			
		Pólos				Pólos			
		2	4	6	8	2	4	6	8
1	0,8	77	78	73	66	80	81	80	70
1,5	1,1	79	79	75	74	83	82	77	77
2	1,5	81	82	77	77	84	84	83	83
3	2,2	82	83	79	78	85	85	83	84
4	3	83	83	81	79	85	85	85	85
5	3,7	85	85	84	80	88	88	87,5	86
6	4,5	85	86	84	82	88	89	87,5	86
7,5	5,5	86	87	85	84	89	90	88	86
10	7,5	88	88	86	85	90	90	88,5	89
12,5	9,2	88	88	88	86	90	90	88,5	89
15	11	88	89	89	88	90	91	90,2	89
20	15	89	90	90	89	90	91	90,2	90
25	19	90	91	90	89	91	92	91,7	90
30	22	90	91	91	90	91	92	91,7	91
40	30	90	92	92	90	92	93	93	91
50	37	92	92	92	91	92	93	93	92
60	45	92	93	92	91	93	94	93,6	92
75	55	92	93	92	92	93	94	93,6	93
100	75	93	93	93	92	94	95	94,1	93
125	90	93	93	93	93	95	95	94,1	94
150	110	93	94	94	93	95	95	95	94
175	132	94	94	94		95	95	95	
200	150	94	95	94		95	95	95	
250	185	94	95			95	95		

Fonte: Ministério de Minas e Energia

4.3 Novo padrão de rendimento dos motores elétricos

Alinhar a competitividade ao patamar das indústrias internacionais que são referência em eficiência energética é um dos desafios do parque industrial brasileiro. É preciso investir em inovação e tecnologia que permitam às empresas melhorar seus resultados e reduzir os altos custos operacionais, especialmente ligados à energia elétrica e manutenção.

Afim de equalizar o nível de competitividade com as indústrias internacionais, o Brasil possui um novo programa de metas para motores elétricos trifásicos de indução. A partir de agosto de 2019, o Brasil passa a adotar o IR3 como o novo índice de rendimento padrão, conforme definição da portaria interministerial nº 1, publicada em 30 de agosto de 2017.

Esta portaria vem complementar a Regulamentação Específica de Motores Elétricos trifásicos de indução Gaiola de Esquilo, obedecendo o que é dito na Lei nº 10.295. Uma diferença dessa portaria em relação as anteriores é que ela aumenta a potência nominal regulamentada, que passa de 250 cv (184 kW) para 500 cv (370 kW).

O nível mínimo de eficiência energética adotado é estipulado por meio do rendimento do motor, uma vez que quanto maior for o rendimento do motor, menor vai ser as perdas devido a fatores internos e externos aos motores, com isso uma quantidade maior de potência absorvida da rede será transformada em potência mecânica entregue ao eixo do motor, fato este que fará com que a economia energética aumente.

4.4 Eficiência energética de motores de indução trifásico em uma empresa de saneamento básico

O conceito saneamento ambiental compreende atualmente o abastecimento de água, o esgotamento sanitário, a coleta e a disposição de resíduos sólidos, a drenagem urbana e o controle de vetores, entre outras ações inerentes ao meio ambiente salubre (BRASIL.MCidades, 2005).

O consumo de energia elétrica é indispensável para a gestão e operação de sistemas de abastecimento de água e esgotamento sanitário, representando uma despesa bastante significativa.

Os gastos com energia elétrica figura entre as 3 maiores despesas para a operação nas empresas de saneamento, na maioria dela esses custos representam a 2º maior despesa para a operação, sendo que em 626 sistemas já representam o maior custo de operação, conforme tabela 7. Em 2016, as despesas com energia elétrica das empresas de saneamento chegaram a R\$ 5,42, bilhões, SNIS 2016. Isso corresponde a quantidade de energia gasta por 21 milhões de habitantes anualmente, no Brasil.

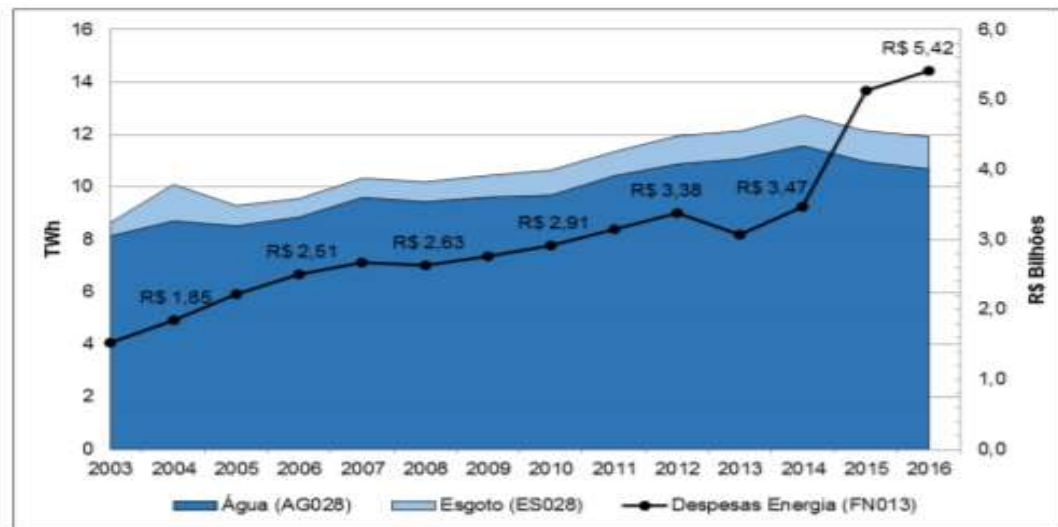
Tabela 7 - Representatividade do custo de energia elétrica

Municípios	Item de custo
626	Primeiro
1463	Segundo
1348	Terceiro
563	Quarto

Fonte: SNIS, 2016.

Nos últimos anos a demanda e consumo de energia pelas empresas de saneamento tem crescido muito, e a tendência é aumentar, uma vez que se observou um aumento no consumo per capita de água, da população brasileira e, portanto, a necessidade de expandir a cobertura dos serviços desse setor. A figura 18 mostra o crescimento energético das empresas nos últimos anos.

Figura 15 - Evolução do consumo com energia elétrica (AG028 e ES028) e despesas com energia elétrica (FN013) dos prestadores de serviços participantes do SNIS de 2003 a 2016



Fonte: SNIS, 2016

Juntamente com o aumento do consumo energético, o uso excessivo tem causado aumento também na emissão de gases de efeito estufa, causando impactos climáticos ao meio ambiente.

Após estudos realizados por técnicos da Procel Saner, Cepel e do Ministério das Cidades com os sistemas de saneamento de água indicou que o potencial de economia de energia elétrica é elevado, uma vez que há:

- Grandes perdas de água por vazamentos nas redes e ramais prediais;
- Dimensionamento inadequado dos equipamentos elétricos e eletromecânicos, que operam fora do ponto de rendimento ideal;
- Má utilização da capacidade de reserva, impedindo a racionalização do despacho das unidades e em consequência a redução da demanda no horário da ponta;
- Precariedade do controle operacional, expressa na ausência de equipamentos para medição de parâmetros elétricos e hidráulicos, telemetria e sistemas supervisórios, especialmente nos sistemas distribuidores;

- Deficiências de setorização dos sistemas e falta de controle de pressão adequados;
- Deficiências no controle de vazamentos;
- Deficiências na gestão da infraestrutura;
- Escassez de mão de obra qualificada;
- Prevalência da manutenção corretiva em detrimento da preditiva e preventiva.

A Procel Sanear também notou carência de projetos de eficiência energética e falta de cultura de medição elétrica no setor de saneamento. Os diagnósticos efetuados são baseados nos dados de placa e em práticas operacionais adquiridas por meio da experiência dos funcionários. A supervisão, controle e automação dos processos também é simples e não confiável.

A tabela 8 mostra o potencial de recuperação de energia elétrica no setor de saneamento:

Tabela 8 - Potencial técnico de recuperação de energia elétrica no setor saneamento

	MEDIDAS DE EFICIENTIZAÇÃO	POTENCIAL de redução	UNID	% CONSUMO DO SETOR
1	Redução de perdas reais de água (até o limite das perdas inevitáveis)	2,62	TWh	25,19%
2	Redução de altura manométrica de bombeamento (adequação de válvulas, carga / Uso de conversores de frequência adutoras, com eliminação de perdas de carga / aumento de diâmetros) / Modulação de barriletes,	2,08	TWh	20%
3	Sistemas eficientes (dimensionamento adequado, bombas eficientes, reservação bem utilizada, automação)			
4	Motores eficientes			
TOTAIS		4,705	TWh	45,19%

Fonte: PNE, 2010

Dentro de uma empresa de saneamento, o bombeamento de água tratada corresponde de 70% a 90% do consumo energético, o resto fica a cargo dos sistemas auxiliares e à iluminação. Com isso, as situações do conjunto bomba-motor estão fortemente ligadas a eficiência energética dos sistemas dessas empresas. A maior parte do desperdício energético ocorre devido a:

- Rendimento muito baixo dos motores, ocasionado por falta de substituição ou manutenção adequada;
- Operação de bombas fora do ponto de rendimento, por falhas de dimensionamento.

Podem ter desperdícios também no sistema hidráulico, devido a carga de bombeamento e falta de controle de pressões e vazões; e no sistema elétrico, mais especificamente nas instalações elétricas na empresa de saneamento.

A eficiência energética, aparece como um recurso para reduzir os custos operacionais nas empresas de saneamento, assim como é uma ferramenta para possibilitar que mais pessoas tenham acesso aos serviços de água e esgoto. O investimento em eficiência energética, geralmente, possibilita redução nos altos custos com eletricidade, baixo investimento relativo, e curto tempo para retorno do investimento, por esses e outros fatores deve-se dar atenção e investir em eficiência energética.

Portanto, se faz necessário a criação de um projeto de economia de energia, ou seja, desenvolver uma carteira de projetos e recomendações a serem implementadas, a fim de atingir todas as formas de economias possíveis, análises de eficiências, condições operacionais e de manutenção e demais áreas possíveis. Algumas ações que podem ser tomadas são listadas na tabela 9.

Tabela 9 - Ações para redução dos custos energéticos numa empresa de saneamento

Sistema	Medida genérica	Medida específica	
Sistema motor-bomba	Otimização da eficiência eletromecânica	Baixo investimento	Adequação do equipamento de bombeamento aos pontos de operação reais
		Médio investimento	Ajuste da posição dos impulsores em bombas de turbina com impulsor aberto
	Manutenção preventiva e preditiva	Baixo investimento	Substituição do motor
		Baixo investimento	Substituição do conjunto motor-bomba
Sistema de distribuição hidráulica	Otimização de cargas de bombeamento	Baixo investimento	Monitorização periódica de parâmetros relacionados com a eficiência eletromecânica
		Alto investimento	Monitorização de parâmetros mecânicos, tais como vibração, temperatura, etc
	Controle de pressões e vazões	Médio investimento	Corrigir defeitos na configuração de tubulações de descarga e na operação
		Alto investimento	Reduzir perdas por atritos em condutores
Sistema elétrico	Otimização das instalações elétricas	Baixo investimento	instalação de variadores de frequência
		Médio investimento	Instação de tanques de regulação
	Otimização das instalações elétricas	Baixo investimento	Otimização do fator de potência
		Médio investimento	Corrigir os desbalanceamentos de tensão
		Baixo investimento	Corrigir tensão de abastecimento do motor, para que seja igual ao valor nominal ou de placa
		Médio investimento	Reduzir perdas elétricas pelo efeito Joule
		Médio investimento	Reduzir perdas em transformadores

Fonte: Avaliação de sistemas de bombeamento de Água, 2011

Após a criação do projeto de economia de energia, é hora de criar um plano de ação e colocá-lo em prática. Nesta etapa, deverão ser relacionados, com ordem de prioridade, ações a serem realizadas em ordem cronológica.

Enfim, uma vez identificadas as propostas de economia, especificações do equipamento a ser substituído e as atividades a serem realizadas para o projeto de economia de energia, devem-se avaliar as eficiências, perdas e o balanço energético que serão obtidos, e adotar as medidas para poder identificar a economia potencial total esperada com a implantação do plano de economia.(AVALIAÇÃO DE SISTEMAS DE BOMBEAMENTO DE ÁGUA, 2011).

O envelhecimento gradual dos sistemas de abastecimento se reflete na evolução deste índice, tanto nas suas componentes de construção civil como de equipamentos eletromecânicos. A falta de medidas de reabilitação e de manutenção preventiva tem um impacto negativo na eficiência energética dos sistemas, especialmente nos equipamentos eletromecânicos, que são centros de custos de exploração importantes. (PLANO NACIONAL DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA, 2011).

Além do desgaste gradual das infraestruturas, a escassez hídrica, na vertente quantitativa e qualitativa, tem um impacto negativo no índice. Uma redução na quantidade de água disponível requer a utilização de fontes de água mais distantes ou mais profundas, aumentando o consumo energético. Uma degradação na qualidade da água requer um tratamento mais intensivo de energia e, conseqüentemente, mais oneroso. (PLANO NACIONAL DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA, 2011).

Logo, o objetivo principal da eficiência energética em sistemas de abastecimento de água e esgotamento sanitário é a redução de consumo e custos sem comprometer a saúde pública e o compromisso com os aspectos regulatórios ambientais.

4.5 Motores de indução de alto rendimento aplicados em empresas de saneamento básico

Os motores elétricos de indução sofrem com inúmeras perdas que afetam o seu rendimento. Destacam-se as perdas júllicas no estator e no rotor, as perdas magnéticas no ferro, as perdas mecânicas por atrito e ventilação, além de perdas suplementares (MONTEIRO & ROCHA, 2005).

Neste contexto, surgiram no mercado os motores de alto rendimento, que permitem perdas minimizadas, aumentando, assim, o rendimento elétrico em relação ao motor de linha padrão. As perdas joule no estator podem ser minimizadas pela redução da resistência ôhmica (aumentando-se a seção de cobre dos condutores). Já o aumento das gaiolas condutoras auxilia

na redução das perdas joule no rotor. A redução das perdas no ferro, por sua vez, é obtida através do emprego de materiais com baixas perdas magnéticas, além da utilização de maior volume de material para a redução das densidades de fluxo magnético. Por fim, as perdas mecânicas podem ser reduzidas por meio do projeto de ventiladores mais eficientes e rolamentos com menor atrito (MONTEIRO & ROCHA, 2005).

Um motor bem dimensionado é aquele que consome de 75% até 100% da sua potência nominal. Se for constatada a operação fora dessa faixa, a substituição é recomendada. Motores antigos e muitas vezes sobre dimensionados que apresentam ocorrências frequentes de queima também têm as perdas aumentadas. Além disso, limitam-se a baixos rendimentos quando comparados aos motores atuais que permitem melhor distribuição térmica e isolamento elétrica (SANTOS, 2007).

Os critérios para escolha por um motor com rendimento superior em detrimento a um custo superior são essencialmente financeiros. Deverão ser avaliados indicadores relativos ao retorno de capital, a disponibilidade de recursos e de custo do capital de terceiros. Além disso, obviamente, deverá ser quantificada a economia prevista com a adoção da tecnologia superior (MONTEIRO & ROCHA, 2005).

Mesmo os motores de alto rendimento terem um maior custo para aquisição, eles são mais eficientes que os motores padrões, consumindo menos energia, realizando a mesma função. Com isso, o custo de aquisição é compensado pelo menor custo. Indicadores, como o tempo de retorno de capital são baixos, portanto, seu uso deve ser considerando em empresas de saneamento, analisando todos os custos operacionais e não somente o custo de aquisição do motor.

4.6 Considerações finais

Este capítulo abordou a história evolutiva da aplicação da eficiência energética em motores de indução trifásico do tipo gaiola de esquilo, bem como aspectos ligados aos padrões mínimos que devem ser respeitados por todos os fabricantes sob pena de sofrerem sanções caso não se enquadrem nas regras.

Também falou sobre o saneamento básico no Brasil e formas para melhora-los e evitar o desperdício que ocorre. Neste trabalho o enfoque foi sobre a troca de motores de indução trifásico que atual no bombeamento de água nesses sistemas. Portanto, abordou a eficiência energética aplicada a motores de indução trifásico aplicados numa empresa de saneamento.

No próximo capítulo será apresentado o *software* criado para realizar os cálculos dos motores atualmente utilizados na empresa de saneamento e os motores que poderão servir para substituí-los, para poder descobrir se compensa a troca de motores e se sim, qual será a eficiência energética e em quanto tempo a empresa terá esse retorno.

5 DESENVOLVIMENTO DE *SOFTWARE* E APLICAÇÃO EM EMPRESA DE SANEAMENTO

5.1 Considerações iniciais

Neste capítulo será exposto o desenvolvimento do *software* de comparação entre motores. Os dados sobre os motores de bombeamento de uma empresa de saneamento e a utilização do referido *software* desenvolvido para este caso em específico, no sentido de verificar a viabilidade e o feedback sobre a utilização de motores padrão e motores de alto rendimento.

5.2 Desenvolvimento do *Software*

O desenvolvimento do *software* (Vale a Pena) teve como objetivo a sua utilização para o comparativo entre motores, sendo possível a análise se a troca de um motor standard (motor com um rendimento normal) por um motor de alto rendimento seria viável ou não. Para isso, utiliza-se como base a equação 5.1.

$$\text{Consumo} = \frac{P}{\eta} * t * d \quad (5.1)$$

Onde:

P – Potência elétrica entregue no eixo [W];

η - Rendimento do motor [%];

t - Tempo de uso diário do motor [horas];

d - Dias por ano que o motor é usado.

Com a equação 5.1 é possível chegar no consumo anual do motor em kWh, ou seja, determinar quanto de energia o motor gastou no decorrer de um ano. Sabendo que cada kWh tem um certo custo, é de consequente determinação o valor em reais da energia gasta.

$$\text{Valor Final} = \text{Consumo} * (\text{custo do kWh}) \quad (5.2)$$

A troca de um motor fica atrelada a compra de um novo motor, ou seja, um custo inicial será adicionado a equação 5.2, de forma que assim o custo total do novo sistema é:

$$\text{Total} = \text{Inicial} + \text{Valor Final} \quad (5.3)$$

Analisando a equação (5.1) é notório que ao se aumentar o rendimento do motor, sendo que esse entrega a mesma potência no eixo, o consumo de energia irá diminuir. É essa a motivação da troca de um motor.

Tendo dois motores, A e B, com rendimentos diferentes e tempos de uso iguais, é possível equacionar seus dados de forma que se chegue ao tempo de uso em que ambos terão gastos a mesma quantidade de energia, tal como mostrado nas equações 5.4 e 5.

$$\text{TotalA} = \text{Inicial}_A + \frac{P_A}{\eta_A} * t * d * kWh \quad (5.4)$$

$$\text{TotalB} = \text{Inicial}_B + \frac{P_B}{\eta_B} * t * d * kWh \quad (5.5)$$

Desta forma, igualando as duas equações e isolando o d , encontra-se a quantidade de dias de uso em que os dois motores terão o mesmo custo total.

$$d = \frac{\text{Inicial}_A - \text{Inicial}_B}{\left(\frac{P_B}{\eta_B} - \frac{P_A}{\eta_A}\right) * t * kWh} \quad (5.6)$$

Após a determinação da equação 5.6 é possível todo o desenvolvimento do *software* (Vale a Pena), uma vez que é em torno dele que os cálculos serão feitos. Uma pré análise pode ser feita sobre a equação 5.6, em casos reais, ao fazer a troca do motor, onde a tarefa a ser realizada será a mesma, geralmente $P_A = P_B$, sendo o uso do motor (t) pequeno, por exemplo, 1 (uma) hora por dia, o valor de d pode ser consideravelmente grande, dependendo do custo inicial e do preço do motor, torna inviável a troca.

Para o *software* ter uma maior veracidade, foi adicionado a ele o detalhamento em relação às diferentes tarifas que são cobradas pelas concessionárias, no caso são elas, ponta, fora de ponta e horário reservado, porém o horário reservado aplicasse apenas para as unidades consumidoras que detêm equipamentos com uso de energia específico para irrigação e/ ou agricultura. Já no caso de horário de ponta, são as 03 (três) horas diárias consecutivas, compreendido das 18h às 21h, de segunda a sexta-feira, exceto sábados, domingos e feriados nacionais (Concessionária Enel-GO). E Horário fora de ponta: Composto pelo conjunto das horas diárias consecutivas e complementares às definidas no horário de ponta, inclusive

sábados, domingos e feriados nacionais. De maneira quantitativa o valor da tarifa entre o Horário Fora de Ponta e o Horário de Ponta pode chegar a uma variação de 500%, porém no caso da SANEAGO, por um acordo com a Concessionária ENEL esta variação chega “apenas” na casa dos 50%. Desta forma, usando o *Software* Excel e a partir da equação (5.6), foi desenvolvido o “Vale a Pena”, que possui a interface da Figura 19.

Figura 16 - Interface do programa para cálculo da eficiência energética de motores

Fonte: Os autores

No “Vale a Pena” é possível entrar com dados de comparativo para a troca de 1 a 4 motores. Sendo que para a realização da análise deve-se colocar os seguintes dados: Custo Inicial (R\$), Potência (em kW, cv ou hp), Rendimento, Tempo de funcionamento (em horas), distinguindo entre uso em horário de Ponta e de Fora de Ponta, o valor do kWh de cada horário e a quantidade de dias por ano em que o motor é usado. Após o preenchimento dos dados o *software* gera os resultados, possibilitando, assim, a conclusão se vale a pena ou não a substituição do motor.

Figura 17 - Comparativo entre motores para cálculo da eficiência energética



Fonte: Os autores

Para exemplificar o uso do *software* “Vale a Pena”, é possível aplicá-lo aos motores de uma empresa de saneamento.

5.3 Implementação do *Software* em uma empresa de saneamento.

A empresa escolhida para a implementação foi a SANEAGO, empresa de saneamento do estado de Goiás. Para tal implementação foram coletados os dados das máquinas usadas e dos seus consumos ao longo de um mês.

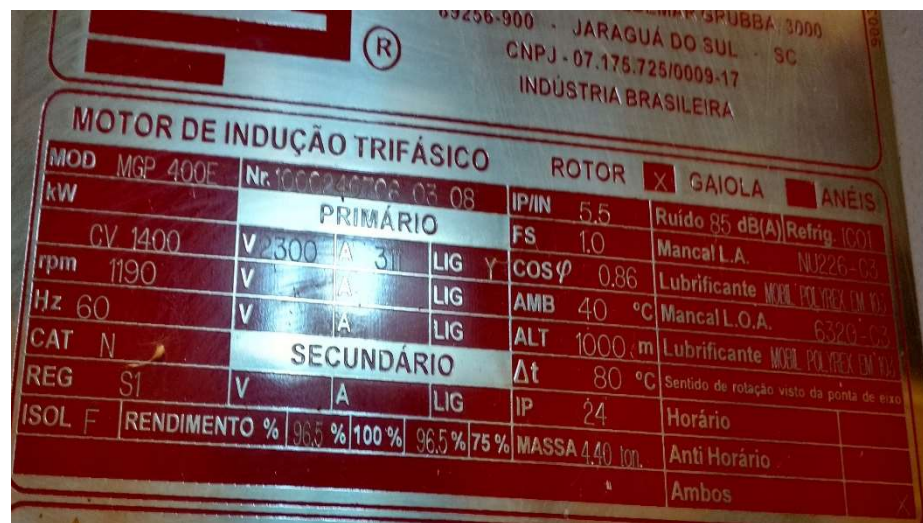
Atualmente, na SANEAGO, são encontrados 5 (cinco) motores no sistema de bombeamento do elevatório do Meia Ponte, seus dados são, 3 (três) motores de indução Toshiba de 1200 hp, com rendimento de 95%, e 2 (dois) motores de indução WEG de 1400 cv, com rendimento de 96,5%. Os motores possuem mais de 30 anos, portanto o seus rendimentos naturalmente já caíram consideravelmente e provavelmente já sofreram reenrolamentos o que também causa a diminuição no rendimento e um enorme custo de manutenção, o que diminuiria o pay back da atualização. Mesmo assim a fim de mostrar a grande importância da atualização dos motores serão usados os dados de placa, As Figuras 21 e 22 apresentam os dados de placa dos motores utilizados de exemplo neste TCC.

Figura 18 - Dados de placa motor de indução trifásico 1200 HP



Fonte: Os autores

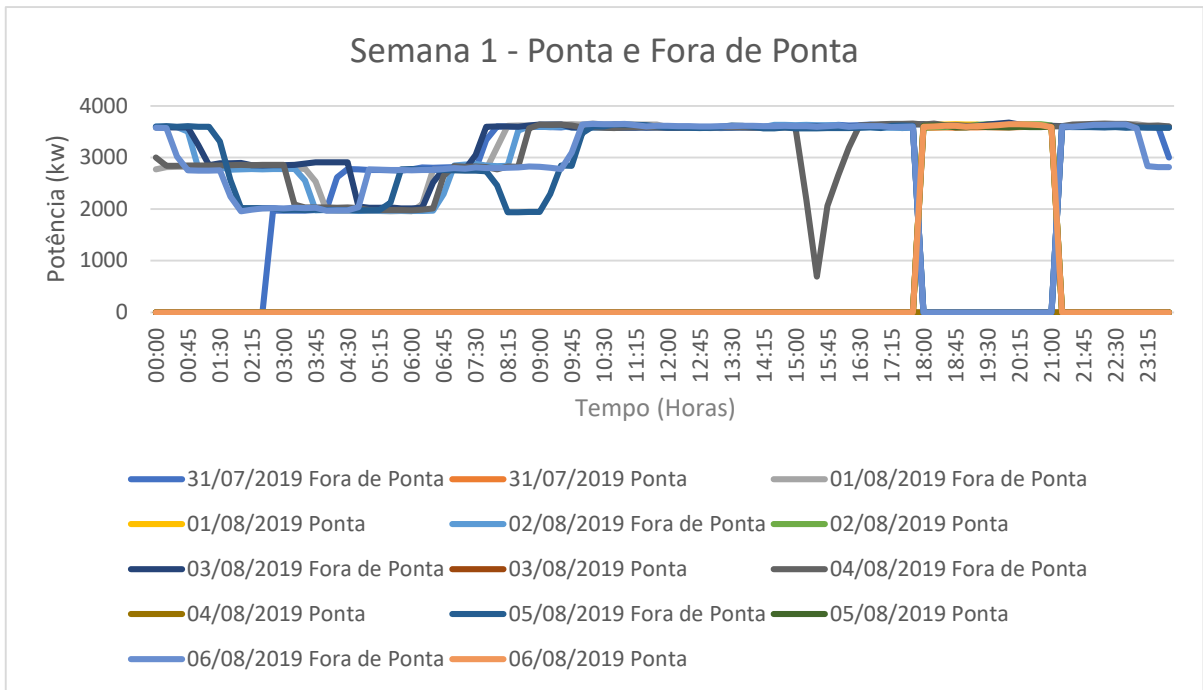
Figura 19 - Dados de placa motor de indução trifásico 1400 cv



Fonte: Os autores

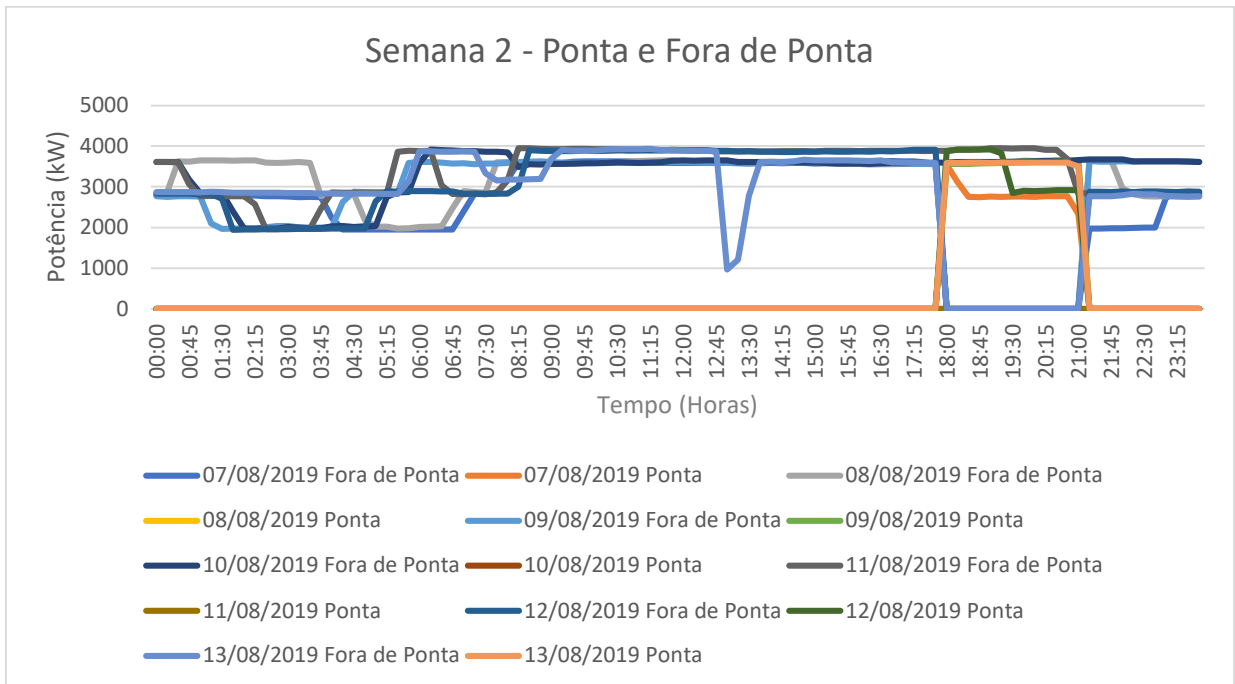
Com os dados coletados da SANEAGO acerca da potência que é consumida a cada momento no sistema de bombeamento ao longo do mês de agosto de 2019, foi possível gerar os perfis a seguir, detalhando entre horário de ponta e fora de ponta, de forma semanal. Estes dados são apresentados nas figuras 23, 24, 25, 26 e 27.

Figura 20 - Potência consumida na primeira semana de Agosto de 2019



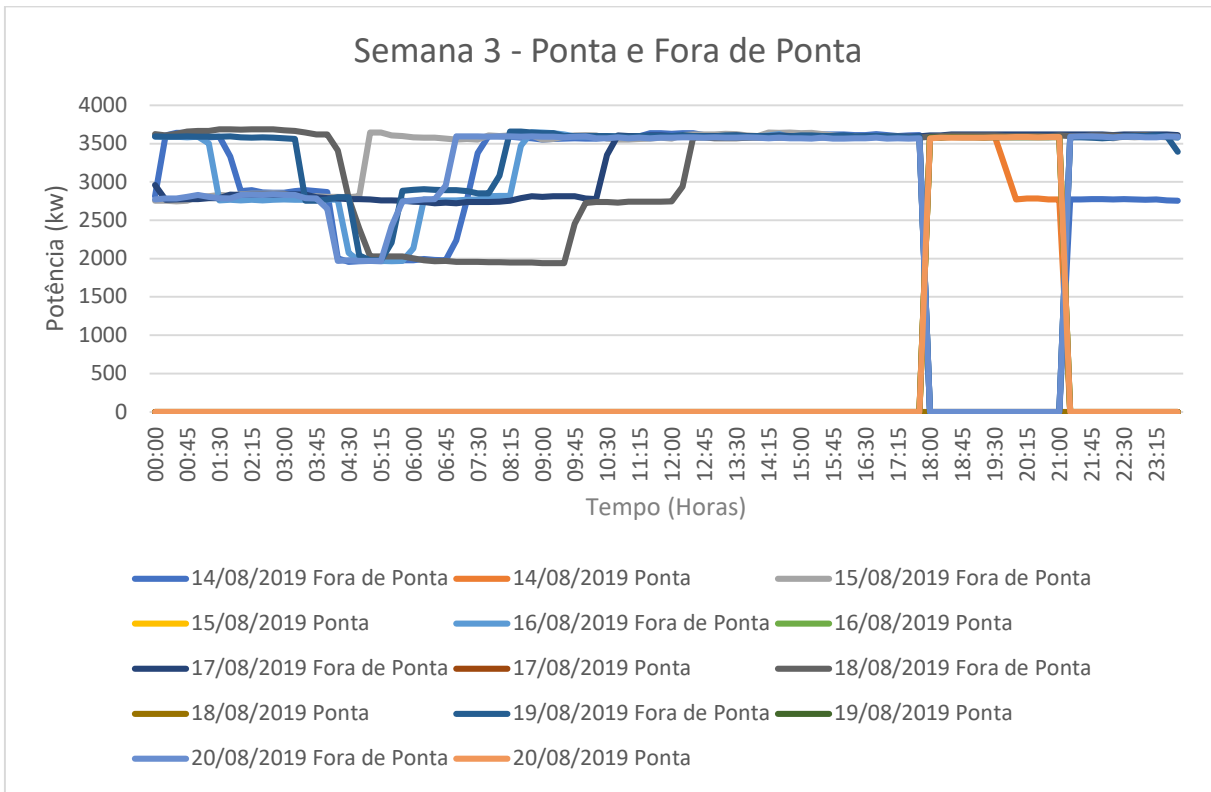
Fonte: Os autores

Figura 21 - Potência consumida na segunda semana de Agosto de 2019



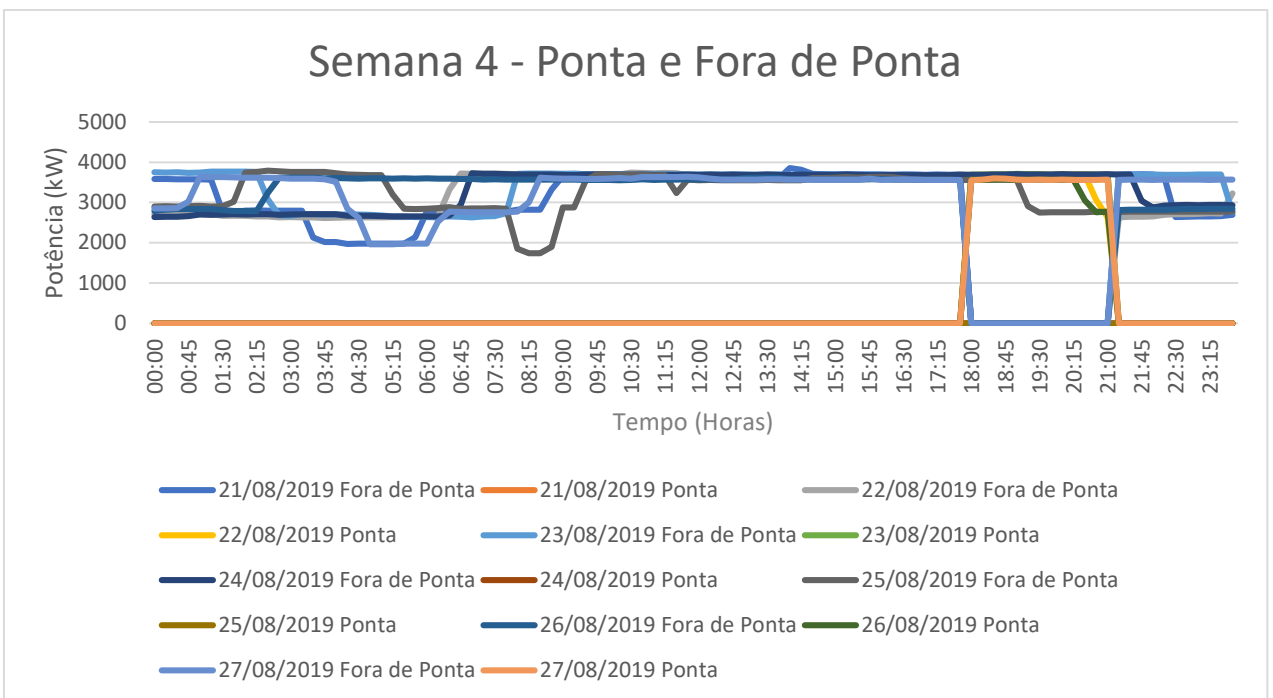
Fonte: Os autores

Figura 22 - Potência consumida na terceira semana de Agosto de 2019



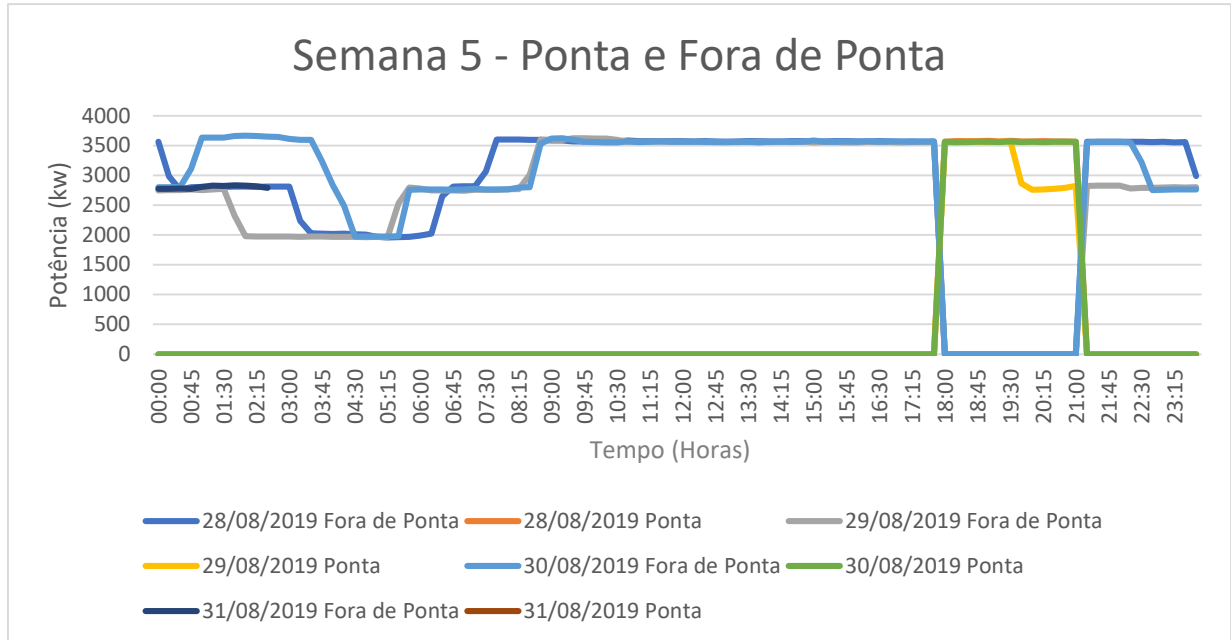
Fonte: Os autores

Figura 23 - Potência consumida na quarta semana de Agosto de 2019



Fonte: Os autores

Figura 24 - Potência consumida na quinta semana de Agosto de 2019



Fonte: Os autores

A partir das figuras acima, de forma estimada, tem-se os seguintes dados de funcionamento de cada um dos motores, em média, sintetizados na tabela 10.

Tabela 10 - Média de funcionamento de cada motor

Motor	Marca	Potência	Hora/dia - Ponta	Hora/dia - Fora de Ponta
Motor 1	Toshiba	1200 hp	2,15 h	21,85 h
Motor 2	WEG	1400 cv	2,15 h	21,85 h
Motor 3	Toshiba	1200 hp	2,15 h	16,85 h
Motor 4	WEG	1400 cv	2,15 h	16,85 h
Motor 5	Toshiba	1200 hp	2,15 h	12,85 h

Fonte: Os autores

Utilizando os dados dos horários de funcionamento dos motores de bombeamento da SANEAGO, no *software* “Vale a Pena” e supondo a troca por motores com o rendimento em média de 1,75% a mais do que os que estão atualmente instalados e com o preço do novo motor em R\$ 450.000,00, valor obtido através de orçamento feito no fornecedor WEG, tem-se os resultados mostrados na Figura 28.

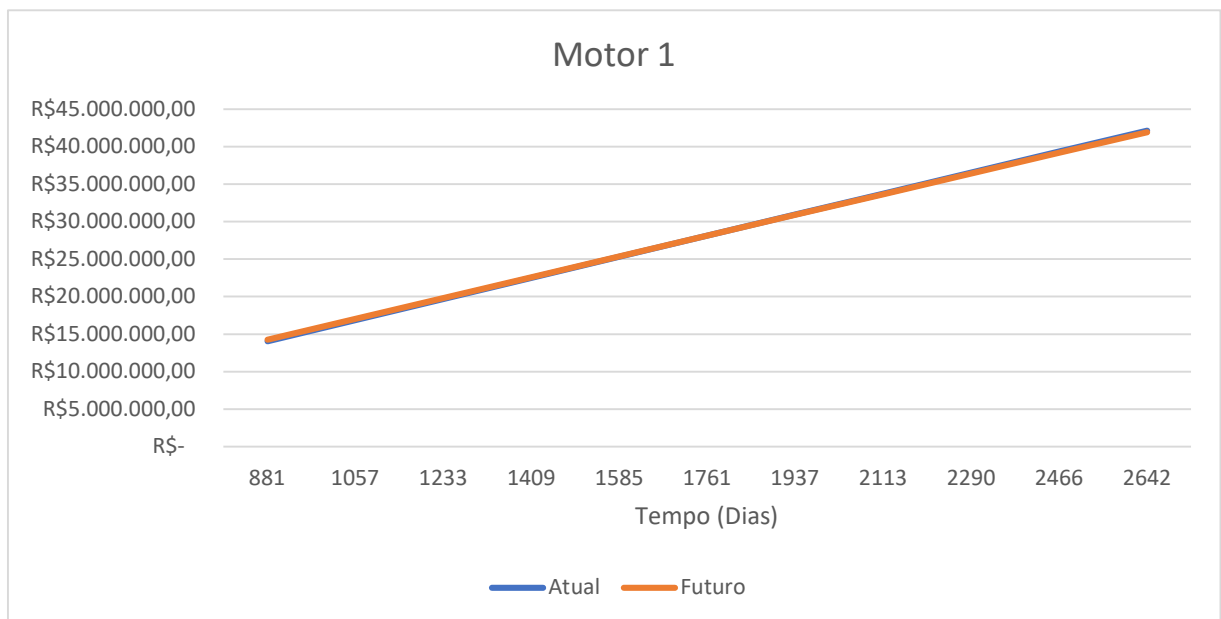
Figura 25 - Comparativo entre motores



Fonte: Os autores

Considerando como custo inicial dos motores instalados apenas o valor da manutenção, chega-se aos seguintes resultados (Figuras 29 a 33 e Tabelas 11 a 20).

Figura 26 - Custos motor 1



Fonte: Os autores

Tabela 11 - Custos motor 1

	Dias de Uso	Atual	Futuro
	881	R\$14.066.666,67	R\$14.281.666,67
	1057	R\$16.876.000,00	R\$17.048.000,00
	1233	R\$19.685.333,33	R\$19.814.333,33
	1409	R\$22.494.666,67	R\$22.580.666,67
	1585	R\$25.304.000,00	R\$25.347.000,00
Equilíbrio	1761	R\$28.113.333,33	R\$28.113.333,33
	1937	R\$30.922.666,67	R\$30.879.666,67
	2113	R\$33.732.000,00	R\$33.646.000,00
	2290	R\$36.541.333,33	R\$36.412.333,33
	2466	R\$39.350.666,67	R\$39.178.666,67
	2642	R\$42.160.000,00	R\$41.945.000,00

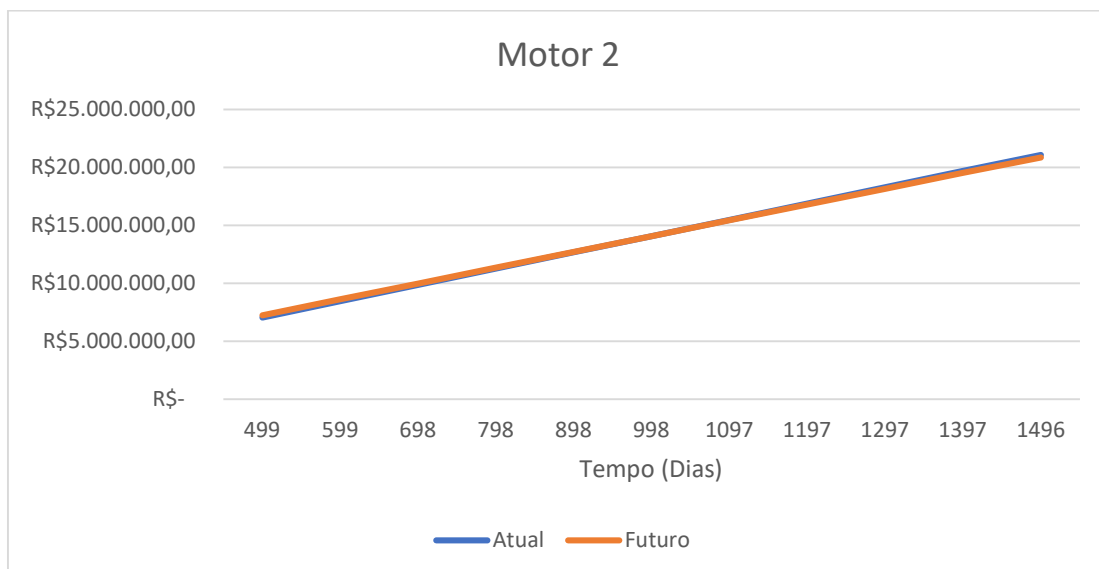
Fonte: Os autores

Tabela 12 - Comparativo motor 1 atual e futuro

Motor Atual		Motor Futuro
97%	Eficiência	98%
-	Economia de P	143.071,16 kWh/ano
-	Economia/ano	R\$ 89.113,13
-	Retorno	57,9 meses

Fonte: Os autores

Figura 27 - Custos motor 2



Fonte: Os autores

Tabela 13 - Custos motor 2

Dias de Uso	Atual	Futuro
499	R\$ 7.043.333,33	R\$ 7.258.333,33
599	R\$ 8.448.000,00	R\$ 8.620.000,00
698	R\$ 9.852.666,67	R\$ 9.981.666,67
798	R\$ 11.257.333,33	R\$ 11.343.333,33
898	R\$ 12.662.000,00	R\$ 12.705.000,00
Equilíbrio 998	R\$ 14.066.666,67	R\$ 14.066.666,67
1097	R\$ 15.471.333,33	R\$ 15.428.333,33
1197	R\$ 16.876.000,00	R\$ 16.790.000,00
1297	R\$ 18.280.666,67	R\$ 18.151.666,67
1397	R\$ 19.685.333,33	R\$ 19.513.333,33
1496	R\$ 21.090.000,00	R\$ 20.875.000,00

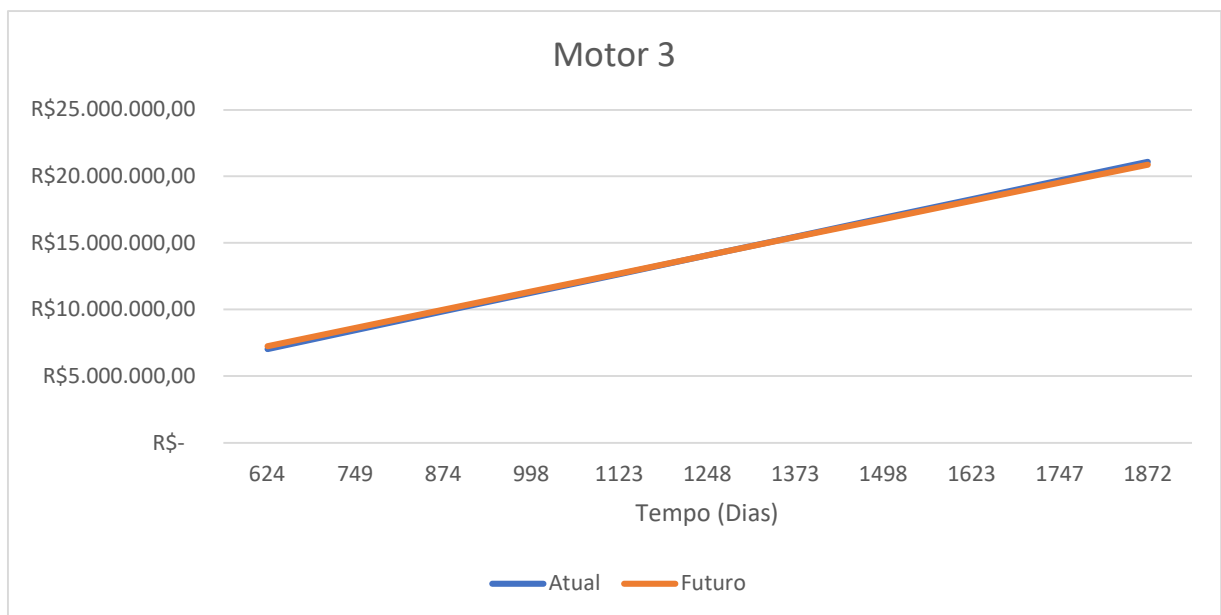
Fonte: Os autores

Tabela 14 - Comparativo motor 2 atual e futuro

Motor Atual		Motor Futuro
95%	Eficiência	98%
-	Economia de P	252.592,86 kWh/ano
-	Economia/ano	R\$ 157.329,69
-	Retorno	32,8 meses

Fonte: Os autores

Figura 28 - Custos motor 3



Fonte: Os autores

Tabela 15 - Custos motor 3

Dias de Uso	Atual		Futuro	
624	R\$	7.043.333,33	R\$	7.258.333,33
749	R\$	8.448.000,00	R\$	8.620.000,00
874	R\$	9.852.666,67	R\$	9.981.666,67
998	R\$	11.257.333,33	R\$	11.343.333,33
1123	R\$	12.662.000,00	R\$	12.705.000,00
Equilíbrio 1248	R\$	14.066.666,67	R\$	14.066.666,67
1373	R\$	15.471.333,33	R\$	15.428.333,33
1498	R\$	16.876.000,00	R\$	16.790.000,00
1623	R\$	18.280.666,67	R\$	18.151.666,67
1747	R\$	19.685.333,33	R\$	19.513.333,33
1872	R\$	21.090.000,00	R\$	20.875.000,00

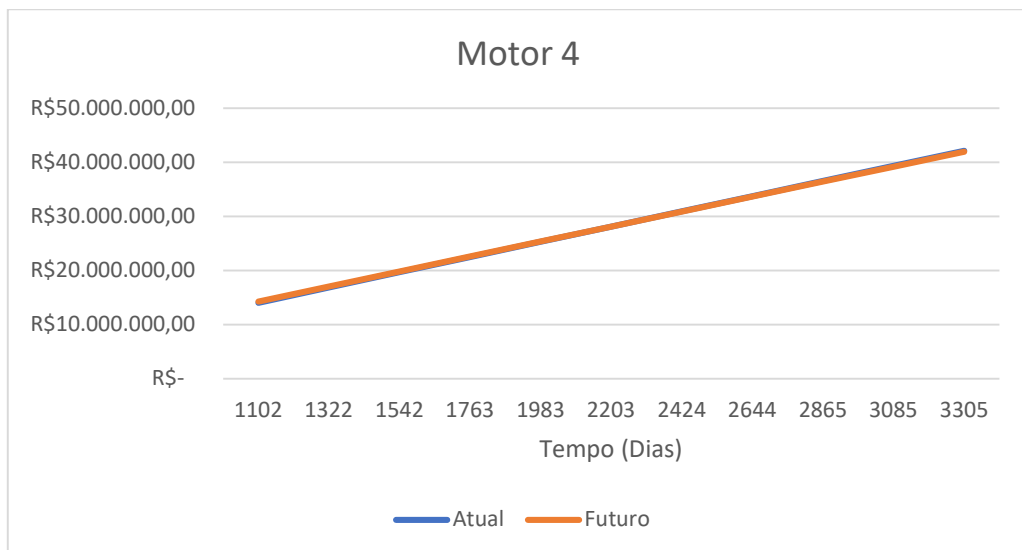
Fonte: Os autores

Tabela 16 - Comparativo motor 3 atual e futuro

Motor Atual		Motor Futuro
95%	Eficiência	98%
-	Economia de P	199.969,35 kWh/ano
-	Economia/ano	R\$ 125.752,95
-	Retorno	41,0 meses

Fonte: Os autores

Figura 29 - Custos motor 4



Fonte: Os autores

Tabela 17 - Custos motor 4

Dias de Uso	Atual	Futuro
1102	R\$ 14.066.666,67	R\$ 14.281.666,67
1322	R\$ 16.876.000,00	R\$ 17.048.000,00
1542	R\$ 19.685.333,33	R\$ 19.814.333,33
1763	R\$ 22.494.666,67	R\$ 22.580.666,67
1983	R\$ 25.304.000,00	R\$ 25.347.000,00
Equilíbrio 2203	R\$ 28.113.333,33	R\$ 28.113.333,33
2424	R\$ 30.922.666,67	R\$ 30.879.666,67
2644	R\$ 33.732.000,00	R\$ 33.646.000,00
2865	R\$ 36.541.333,33	R\$ 36.412.333,33
3085	R\$ 39.350.666,67	R\$ 39.178.666,67
3305	R\$ 42.160.000,00	R\$ 41.945.000,00

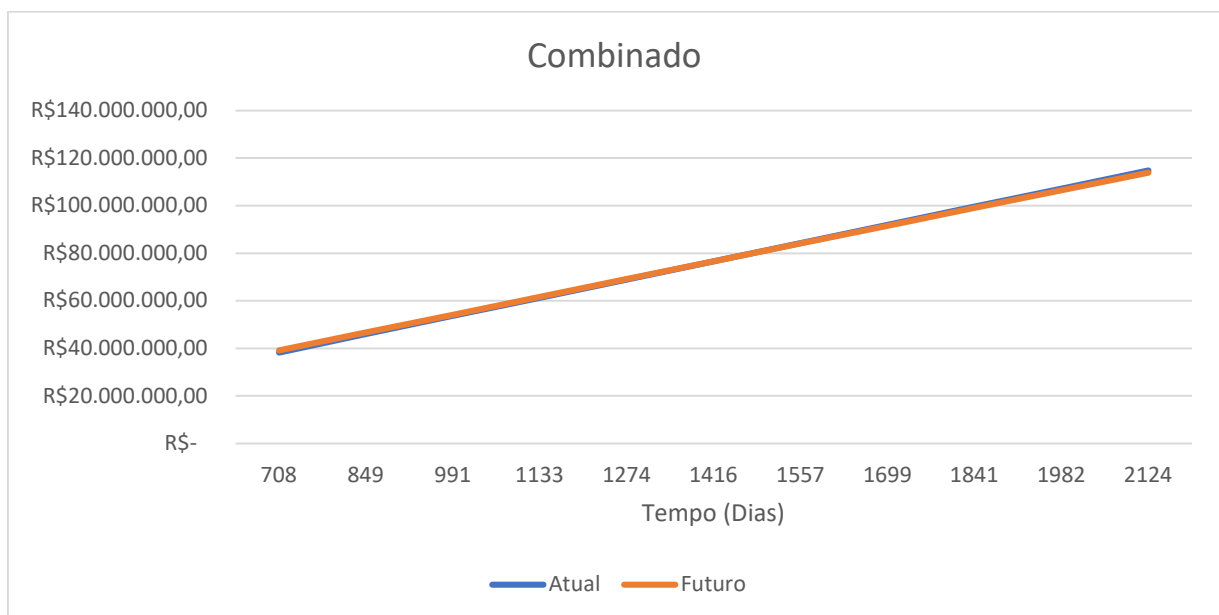
Fonte: Os autores

Tabela 18 - Comparativo motor 4 atual e futuro

Motor Atual		Motor Futuro
97%	Eficiência	98%
-	Economia de P	113.264,67 kWh/ano
-	Economia/ano	R\$ 71.227,75
-	Retorno	72,4 meses

Fonte: Os autores

Figura 30 - Custos da combinação dos motores



Fonte: Os autores

Tabela 19 - Custos da combinação dos motores

Tempo	Atual		Futuro	
708	R\$	38.331.815,26	R\$	39.191.815,26
849	R\$	45.982.178,31	R\$	46.670.178,31
991	R\$	53.632.541,36	R\$	54.148.541,36
1133	R\$	61.282.904,42	R\$	61.626.904,42
1274	R\$	68.933.267,47	R\$	69.105.267,47
Equilíbrio	R\$	76.583.630,52	R\$	76.583.630,52
1416	R\$	84.233.993,57	R\$	84.061.993,57
1557	R\$	91.884.356,62	R\$	91.540.356,62
1699	R\$	99.534.719,67	R\$	99.018.719,67
1841	R\$	107.185.082,73	R\$	106.497.082,73
1982	R\$	114.835.445,78	R\$	113.975.445,78
2124	R\$		R\$	

Fonte: Os autores

Tabela 20 - Comparativo valores atuais e futuros

ATUAL		FUTURO
-	Economia de P	708.898,03 kWh/ano
-	Economia/ano	R\$ 443.423,52
-	Retorno	46,5 meses

Fonte: Os autores

5.4 Considerações Finais

Indubitavelmente, é notório que o *software* “Vale a Pena”, desenvolvido na base do Excel, possui todas as condições de fornecer uma análise confiável entre motores de indução, permitindo, assim, concluir de forma rápida e assertiva se a melhor opção é a troca ou não do motor. É possível também perceber que dentro de um cenário pode-se criar inúmeras hipóteses, como no caso da SANEAGO, se um ou mais motores quebrarem, o retorno diminuiria consideravelmente, uma vez que a diferença entre os custos iniciais diminuiria. Outro ponto que deve ser destacado para mostrar a confiabilidade do *software* é a proximidade do valor retornado por ele e o valor obtido na fatura da Concessionária. No mês de agosto de 2019 o valor faturado pela concessionária foi de R\$1.763.894,08 e do *software* conseguimos obter um valor médio mensal para o sistema atual de R\$ 1.646.959,80, ou seja, uma boa aproximação.

6 CONCLUSÃO

Neste trabalho foram apresentados os conceitos teóricos de um motor de indução trifásico do tipo gaiola de esquilo, dando enfoque nos parâmetros básicos e que são relevantes para o cálculo da eficiência energética dos mesmos.

No tocante a eficiência energética, foi feita uma abordagem mostrando conceitos e programas atuantes, a fim de promover a disseminação de eficiência energética e a aplicação da eficiência energética em certas áreas do conhecimento.

Após essa parte teórica foi discutido sobre motores de alto rendimento, suas vantagens, aplicações entre outros. Por conseguinte, foi tratado sobre a eficiência energética que esses motores podem apresentar quando implementados em uma empresa de saneamento, a qual apresenta um grande custo energético, principalmente no que diz respeito ao bombeamento de água nas empresas de saneamento.

Também foram mostradas diversas outras formas de se obter a eficiência energética nas empresas de saneamento, entretanto, os valores da eficiência energética apresentada junto aos motores chamam mais a atenção por representar uma parte muito importantes dos custos energéticos dessas empresas.

Na última parte do trabalho, foi realizado o desenvolvimento da interface, “Vale a pena”, por meio do *software* Excel, para poder realizar os cálculos comparativos entre os motores que estão sendo utilizados atualmente na empresa de saneamento e quais seriam suas economias, ou seja, eficiência energética, caso escolham trocar os motores atuais por motores de alto rendimento.

Por fim, no que diz respeito a eficiência energética na empresa de saneamento por meio da troca de motores padrões por motores de alto rendimento, o *software* criado por este trabalho possui condições suficientes para realizar as comparações e indicar ao usuário qual atitude tomar: trocar ou não trocar o motor atual por um mais novo, com maior eficiência e com um retorno de investimento em um período razoável.

Dessa forma, observando os dados amostrados no capítulo 5, fica evidente que investir em eficiência energética é vantajoso e vem cada vez mais sendo efetivado pelos órgãos governamentais.

E para trabalhos futuros fica notório a possibilidade do estudo da economia gerada com o correto dimensionamento dos transformadores que alimentam os motores de bombeamento.

REFERÊNCIAS

_____. **Como controlar a velocidade de um motor trifásico?**. Disponível em: <<https://blog.ageon.com.br/controlar-velocidade-motor-trifasico/>>. Acesso em: 01 nov 2019d.

_____. **O que são máquinas elétricas?**. Disponível em: <https://www.mundodaeletrica.com.br/o-que-sao-maquinas-eletricas/>>. Acesso em: 10 nov. 2019b.

PAIXÃO, Jacqueline Pinho. **Controle de Velocidade de Motores Elétricos**. Disponível em: <<http://www.ct.utfpr.edu.br/deptos/ceaut/monografias/ControledeVelocidadeMotoresEletricos.pdf>>. Acesso em: 29 out, 2019.

CUNHA, Livia. **Padrões Brasileiros**. Disponível em: <<https://www.osetoelettrico.com.br/padroes-brasileiros/>>. Acesso em: 29 out, 2019.

LIMA, Aline. **Quais são as Principais Aplicações dos Geradores Elétricos**. Disponível em: <<https://www.webartigos.com/artigos/quais-sao-as-principais-aplicacoes-dos-geradores-eletricos/125906>>. Acesso em: 30 out, 2019.

HENRIQUE, Hélio.; **Motores Trifásicos de CA** Disponível em: <<https://docente.ifrn.edu.br/heliopinheiro/Disciplinas/maquinas-acionamentos-eletricos/aula-de-motores-trifasicos-de-ca>>. Acesso em: 13 nov. 2019c.

_____. **Portaria IR3 - Novo Padrão de Rendimento dos Motores Elétricos**. Disponível em: <https://d335luupugsy2.cloudfront.net/cms/files/92176/1561383939E-book_portaria-WIDE_web.pdf>. Acesso em: 12 nov. 2019b.

HENRIQUE, Hélio.; **Motores Trifásicos de CA** Disponível em: <<https://docente.ifrn.edu.br/heliopinheiro/Disciplinas/maquinas-acionamentos-eletricos/aula-de-motores-trifasicos-de-ca>>. Acesso em: 13 nov. 2019c.

SIMONE, Gilio Aluisio; CREPPE, Renato Crivellari; **Conversão Eletromecânica de Energia**. 1. ed. Editora Érica, 2010.

ABNT; **MNBR 17094 – Máquinas Elétrica Girantes**. Disponível em: <<https://www.abntcatalogo.com.br/norma.aspx?ID=398392>>. Acesso em: 20 nov. 2019c.

Fitzgerald; Kingsley: **Máquinas elétricas**. 1. Ed. Editora AMGH, 2014.

Motores elétricos: Guia de especificação: Disponível em:<[file:///C:/Users/Miguel%20Alves/Desktop/TCC/ARTIGOS%20PARA%20LER/WEG-motores-eletricos-guia-de-especificacao-50032749-brochure-portuguese-web\(2\).pdf](file:///C:/Users/Miguel%20Alves/Desktop/TCC/ARTIGOS%20PARA%20LER/WEG-motores-eletricos-guia-de-especificacao-50032749-brochure-portuguese-web(2).pdf)>. Acesso em: 15/09/2019

Decreto Nº 73.080, de 5 de Novembro de 1973. Disponível em: <<https://www2.camara.leg.br/legin/fed/decret/1970-1979/decreto-73080-5-novembro-1973-421533-publicacaooriginal-1-pe.html>> Acesso em: 12 out. 2019c.

Lei N° 4.454, de 6 de Novembro de 1964. Disponível em: <<https://www2.camara.leg.br/legin/fed/lei/1960-1969/lei-4454-6-novembro-1964-376693-publicacaooriginal-1-pl.html>> Acesso em: 12 out. 2019c.

Plano Nacional de Energia, 2030. . Disponível em: <<http://www.epe.gov.br/sites/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-165/topico173/PNE%202030%20-%20Efici%C3%Aancia%20Energ%C3%A9tica.pdf>> Acesso em: 08 out. 2019c.

IEC; **IEC 60034-30-1 Rotating electrical machines - Part 30-1**. Disponível em: <<https://webstore.iec.ch/publication/136>>. Acesso em: 02 jan. 2020.