



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

AFONSO DE ALMEIDA PINTO SEGUNDO

**ESTUDO DE READEQUAÇÃO DAS PROTEÇÕES ELÉTRICAS DE BAIXA
TENSÃO UTILIZANDO UM RELÉ MICROPROCESSADO EM UMA PLANTA
SIDERÚRGICA**

FORTALEZA

2018

AFONSO DE ALMEIDA PINTO SEGUNDO

ESTUDO DE READEQUAÇÃO DAS PROTEÇÕES ELÉTRICAS DE BAIXA TENSÃO
UTILIZANDO UM RELÉ MICROPROCESSADO EM UMA PLANTA SIDERÚRGICA

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Departamento de Engenharia Elétrica da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Elétrica.

Orientador: Prof. M. Sc. Lucas Silveira Melo.
Coorientador: Prof. Dr. Raimundo Furtado Sampaio.

FORTALEZA

2018

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca Universitária
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

- P726e Pinto Segundo, Afonso de Almeida.
Estudo de readequação das proteções elétricas de baixa tensão utilizando um relé microprocessado em uma planta siderúrgica / Afonso de Almeida Pinto Segundo. – 2018.
95 f. : il. color.
- Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia, Curso de Engenharia Elétrica, Fortaleza, 2018.
Orientação: Profa. Ma. Lucas Silveira Melo.
Coorientação: Prof. Dr. Raimundo Furtado Sampaio.
1. Motores elétricos. 2. Relé Tesys T. 3. Proteção do CCMI de baixa tensão. I. Título.
- CDD 621.3
-

AFONSO DE ALMEIDA PINTO SEGUNDO

ESTUDO DE READEQUAÇÃO DAS PROTEÇÕES ELÉTRICAS DE BAIXA TENSÃO
UTILIZANDO UM RELÉ MICROPROCESSADO EM UMA PLANTA SIDERÚRGICA

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Departamento de Engenharia Elétrica da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Elétrica.

Aprovada em: ___/___/_____.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Msc. Lucas Silveira Melo (Orientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Raimundo Furtado Sampaio
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Sérgio Daher
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Eng.^a Matheus Gomes Joaquim

A Deus.

Aos meus pais, Afonso de Almeida Pinto e
Maria de Fátima Teixeira.

AGRADECIMENTOS

Ao meu pai Afonso de Almeida Pinto (in memorian) pelos bons ensinamentos e valores passados e todo carinho e empenho dedicados.

A minha mãe, Maria de Fátima Teixeira, pelo amor incondicional e por assumir o papel de pai e mãe, sendo ainda um exemplo de honestidade e fibra.

A minha irmã, Priscilla Teixeira, pela amizade e apoio. Agradeço ainda, a meu tio Aécio, a tia Mazé e a Tia Horacina pelo carinho e apoio.

Ao Prof. Msc Lucas Melo por me orientar no desenvolvimento da minha monografia e por sua disponibilidade e apoio.

Aos professores Dr. Raimundo Furtado e Dr. Sérgio Daher pela disponibilidade e as importantes observações referentes ao trabalho.

Aos engenheiros Matheus Joaquim, Hudson Santos e Charlie Cordeiro pela oportunidade de trabalhar na minha área de formação, pelos preciosos ensinamentos e pela confiança.

A todos os colegas do curso de engenharia elétrica da UFC pelo apoio e amizade durante essa caminhada.

A todos os colegas de estágio da manutenção da CSP pela amizade e companheirismo, sem os quais essa experiência não teria sido tão especial.

A todos os colegas da Aciaria e Lingotamento contínuo da Companhia Siderúrgica do Pécem pela disponibilidade e ajuda.

*"O sucesso é ir de fracasso em fracasso sem
perder entusiasmo."*

Winston Churchill

RESUMO

Os motores elétricos destacam-se por ser a principal carga elétrica nas indústrias e um dos principais problemas associados a sua utilização é a queima de seus enrolamentos. Por este motivo foi desenvolvido um projeto com o objetivo de reajustar as proteções de um Centro de Comando de Motores Inteligente (CCMI) de baixa tensão, com o intuito de reduzir a queima de motores e quebra de equipamentos a eles acoplados em uma unidade de despoejamento de uma planta siderúrgica. Diante desse contexto, o presente trabalho se propõe a fazer uma revisão das principais características elétricas dos motores de indução trifásico e elementos de comando e proteção e a apresentação de um relé microprocessado de baixa tensão, *Tesys T* da *Schneider*, uma vez que o mesmo implementa as principais funções de proteção de motores. A partir de uma análise acerca dos motores elétricos, dos equipamentos a ele acoplados e dos elementos das unidades funcionais de um CCMI de baixa tensão de uma unidade industrial, foi possível identificar e apresentar uma metodologia para ajuste das proteções desses motores, ao mesmo tempo, há uma tentativa de identificar os principais aspectos relacionados aos motores de indução trifásicos, tendo como premissas estudar: os parâmetros dos motores de indução trifásicos, seus principais elementos de proteção e comando, suas principais funções de proteção e o relé inteligente *Tesys T*. Concluiu-se o trabalho em etapas que visam apresentar: o levantamento de dados dos motores e equipamentos que compõem as gavetas do CCMI, a definição dos ajustes de proteção dos *backups* dos relés e o acompanhamento da implementação e registros dos parâmetros das funções de proteção ajustadas. Durante estas etapas foram identificados como principais problemas da implantação do projeto: as atuações por desequilíbrio de corrente, onde foi identificada uma condição inadequada na planta elétrica, equipamentos com acoplamento mecânico com desgaste e relés *Tesys T* com faixa de atuação inadequada, o que comprometia a atuação das funções de proteção.

Palavras-Chave: Motores elétricos. Relé *Tesys T*. Proteções do CCMI de baixa tensão.

ABSTRACT

The electric engines stand out as the main electrical load in industries and one of the major problems associated with their use is the burning of their windings. For this justification, a plan was developed with the main of readjusting the protections of a Low Voltage Intelligent Motor Command Center (MCC), with the intention of decrease the combustion of motors and breaking equipment coupled in a dedusting unit of a steel plant. In intuition of this context, the present essay proposes to review the main electrical characteristics of three-phase induction motors and control and protection elements and the presentation of a low voltage microprocessor relay, Tesys T from Schneider, since it implements the main motor protection functions. From an analysis of the electric motors, the equipment coupled to it and the outline of the functional units of a low voltage CCMI of an industrial unit, it was possible to identify and present a methodology for adjusting the protections of these motors withal, there is an attempt to identify the principal aspects related to three-phase induction motors, with the following assumptions: the parameters of three-phase induction motors, their main protection and control elements, their main protection functions and the Tesys T intelligent relay. the essay in phases is presented: the data collection of the engines and equipment that compose the CCMI drawers, the definition of the protection settings of the backups of the relays and the monitoring of the implementation and records of the parameters of the adjusted protection functions. Pending these stages, the main problems of the project implementation were identified: current unbalance, where an inadequate condition was identified in the electric plant, equipment with mechanical coupling with wear and Tesys T relays with inadequate range of performance, which compromised performance of protection functions.

Keywords: Electric motors. Relay Tesys T. Low-voltage CCMI protections.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Redução da relação tamanho versus potência dos motores elétricos.....	20
Figura 2 – Principais consumidores de energia elétrica no Brasil	21
Figura 3 – Comportamento do campo girante em um motor de indução trifásico.....	24
Figura 4 – Elementos básicos do motor de indução trifásico.....	28
Figura 5 – Elementos básicos do motor de indução trifásico.....	29
Figura 6 – Placa de um motor trifásico.	32
Figura 7 – Curvas das categorias N,H e D	39
Figura 8 – Curvas de carga, perdas e temperatura do regime de serviço S1	41
Figura 9 – Estrutura básica de comando e proteção de motores de baixa tensão.....	42
Figura 10 – Componentes do fusível Diazed.....	47
Figura 11 – Zonas de proteção para o fusível Diazed.	47
Figura 12 – Estrutura do Fusível NH.	48
Figura 13 – Zonas de proteção do fusível NH.....	48
Figura 14 – Disjuntores em caixa aberta e caixa moldada.	50
Figura 15 – CCM da <i>Siemens</i>	53
Figura 16 – Elementos básicos de um CCM	53
Figura 17 – Tipos de unidades funcionais de um CCM	54
Figura 18 – Comparativo de requisitos e características entre unidades funcionais fixas, removíveis e extraíveis de um CCM de baixa tensão.....	54
Figura 19 – Conjunto de manobra com relé bimetálico versus conjunto de manobra inteligente.	56
Figura 20 – CCMi com rede Profibus.	56
Figura 21 – Relé inteligente de baixa tensão <i>Tesys T</i>	57
Figura 22 – Módulo de expansão em módulo IHM do relé inteligente <i>Tesys T</i>	58
Figura 23 – Queima por sobrecarga térmica.	59
Figura 24 – Curvas térmicas do relé para o motor a frio e a quente.....	60
Figura 25 – Curva de tempo definido <i>Tesys T</i>	62
Figura 26 – Curva de tempo inverso <i>Tesys T</i>	62
Figura 27 – Modelo térmico para o motor	63
Figura 28 – Lógica de funcionamento função de sobrecarga térmica <i>Tesys T</i>	63
Figura 29 – Lógica de funcionamento função de sobrecorrente temporizada <i>Tesys T</i>	64
Figura 30 – Lógica de funcionamento função de falta a terra temporizada <i>Tesys T</i>	65
Figura 31 – Queima por rotor bloqueado.	66
Figura 32 – Lógica de funcionamento função de rotor bloqueado em regime <i>Tesys T</i>	67
Figura 33 – Queima por desequilíbrio de fase.....	68
Figura 34 – Lógica de funcionamento função de desequilíbrio de corrente	69
Figura 35 – Lógica de funcionamento função de perda de fase	70
Figura 36 – Lógica de funcionamento função rotor bloqueado na partida.....	71
Figura 37 – Unidade de despoeiramento Aciaria	72
Figura 38 – Diagrama unifilar CCM do despoeiramento do RH e LF da Aciaria.	73
Figura 39 – Classe de curvas de proteção relé <i>Tesys</i>	77

Figura 40 – Curva de térmica do motor e curva de proteção de sobrecarga.	78
Figura 41 – Arquivos SoMove Project File Tesys T	81
Figura 42 - Fragmento da tela inicial <i>my Device</i>	81
Figura 43 – Fragmento da tela inicial <i>main settings</i> da aba <i>parameterlist</i>	82
Figura 44 - Configuração do motor no <i>SoMove</i>	82
Figura 45 – Configuração da função de sobrecarga térmica no <i>SoMove</i>	83
Figura 46 – Configuração da função de falta a terra no <i>SoMove</i>	84
Figura 47 – Configuração da função desequilíbrio de corrente no <i>SoMove</i>	84
Figura 48 – Configuração da função perca de fase no <i>SoMove</i>	84
Figura 49 - Configuração da função rotor bloqueado em regime no <i>SoMove</i>	85
Figura 50 - Configuração da função rotor bloqueado na partida no <i>SoMove</i>	85
Figura 51 - Configuração da função sobrecorrente temporizada <i>SoMove</i>	86

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Classes de isolamento	36
Tabela 2 – Fatores de correção de potência em função da temperatura e altitude.....	37
Tabela 3 – Características de cada regime de serviço.....	38
Tabela 4 – Graus de proteção de motores elétricos.....	40
Tabela 5 – Rendimentos nominais mínimos para as categorias padrão e alto rendimento.....	41
Tabela 6 – Exemplo de categorias de emprego de contadores de baixa tensão.....	44
Tabela 7 - Categoria de utilização	50
Tabela 8 - Classes de disparo relés térmicos bimetálicos	51
Tabela 9 - Funções de proteção <i>Tesys T</i>	58
Tabela 10 - Identificação dos equipamentos e gavetas.....	74
Tabela 11 - Características físicas e elétricas das gavetas do CCMI.....	75
Tabela 12 - Características elétricas dos motores	75

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANSI	<i>American National Standards Institute</i>
CA	Corrente Alternada
CC	Corrente Conínua
CCM	Centro de Controle de Motores
CCMI	Centro de Controle de Motores Inteligente
CLP	Controlador Lógico Programável
CSP	Companhia Siderúrgica do Pecém
DIN	<i>Deutsches Institut für Normung</i>
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
F.E.M	Força Eletromotiz
GFR	<i>Ground Fault Relay</i>
IEC	<i>International Electrotechnical Commission</i>
IHM	Interação Homem-Máquina
MCCB	Molded Case Circuit Breackers
MIT	Motor de Indução Trifásico
PROCEL	Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica
PPTA	Parcialmente Testado
TC	Transformador de Corrente
TTA	Totalmente Testado
VDE	<i>Verband Detscher Elektrotecchniker</i>

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	17
1.1	Justificativa	17
1.2	Objetivo Do Trabalho	18
1.3	Metodologia	18
1.4	Estrutura Do Trabalho	18
2	MOTOR DE INDUÇÃO: BREVE HISTÓRICO E ATUAL RELEVÂNCIA	20
2.1	Motor De Indução Trifásico	21
2.1.1	Princípio De Funcionamento	23
2.1.2	Equações Fundamentais	24
2.1.3	Aspectos Construtivos	27
2.1.3.1	<i>Estató</i>	27
2.1.3.1.1	<i>Carcaça</i>	28
2.1.3.1.2	<i>Núcleo Do Estató</i>	28
2.1.3.1.3	<i>Enrolamento</i>	29
2.1.3.2	<i>Roto</i>	29
2.1.3.2.1	<i>Eixo</i>	30
2.1.3.2.2	<i>Núcleo De Chapas</i>	30
2.1.3.2.3	<i>Barras e Anéis de Curto-Circuito</i>	30
2.1.3.3	<i>Demais Componentes</i>	30
2.1.4	Dados De Placa.....	31
2.1.4.1	<i>Tipo de ligação, tensão nominal e corrente nominal</i>	32
2.1.4.1.1	<i>Potência nominal</i>	33
2.1.4.1.2	<i>Velocidade de rotação nominal</i>	33
2.1.4.1.3	<i>Frequência nominal</i>	33
2.1.4.1.4	<i>Fator de serviço</i>	34
2.1.4.1.5	<i>Relação corrente de partida e corrente nominal</i>	34
2.1.4.1.6	<i>Fator de potência</i>	35
2.1.4.1.7	<i>Rendimento</i>	35
2.1.4.1.8	<i>Classe de isolamento</i>	36
2.1.4.1.9	<i>Categoria do motor</i>	38
2.1.4.1.10	<i>Grau de proteção</i>	39

2.1.4.1.II	<i>Regime de serviço</i>	40
3	PROTEÇÃO DE MOTORES DE INDUÇÃO TRIFÁSICOS DE BAIXA TENSÃO	42
3.1	Elementos De Comando, Manobra E Proteção	43
3.1.1	Elemento De Comando.....	43
3.1.2	Elementos De Proteção: Fusíveis De Baixa	45
3.1.2.1	<i>Tipos De Fusíveis</i>	45
3.1.2.2	<i>Fusíveis Utilizados Na Proteção De Motores De Indução</i>	46
3.1.3	Elementos De Proteção: Disjuntores De Baixa Tensão.....	49
3.1.4	Elementos De Proteção: Relés De Sobrecarga Bimetálico	51
3.2	CCM	52
3.2.1	CCMI	55
3.3	Relés Inteligentes	57
3.3.1	Funções De Proteção: Função De Sobrecarga Térmica – ANSI 49	59
3.3.2	Funções De Proteção: Função De Sobrecorrente Temporizada– ANSI 51	64
3.3.3	Funções De Proteção: função De Falta A Terra Temporizada – ANSI 51gs	64
3.3.4	Funções De Proteção: função De Rotor Bloqueado Após A Partida – ANSI 51lr	66
3.3.5	Funções De Proteção: função Falta De Fase Ou Desequilíbrio De Corrente – ANSI 46	67
3.3.6	Funções De Proteção: função De Rotor Bloqueado Na Partida – ANSI 48	70
4	ESTUDO DE CASO	72
4.1	Coleta de Dados	73
4.2	Definição dos Ajustes de Proteção	76
4.3	Reparametrização Relés Tesys T	80
4.4	Monitoramento e Registro dos Novos Ajustes	86
4.5	Resultados	87
5	CONCLUSÃO E DESENVOLVIMENTO DE TRABALHOS FUTUROS	88
	REFERÊNCIAS	89
	APÊNDICE 1 – PARÂMETROS DAS FUNÇÕES DE PROTEÇÃO DO TESYS T	92
	APÊNDICE 2 - AJUSTES DA CORRENTE DE BASE, SOBRECARGA TÉRMICA, SOBRECORRENTE E FUGA A TERRA	93
	APÊNDICE 3 - AJUSTES DE DESEQUILÍBRIO, ROTOR BLOQUEADO, PARTIDA LONGA E FALTA DE FASE	94

1 INTRODUÇÃO

Os motores elétricos são a principal carga elétrica nas indústrias e a que mais consome energia elétrica no Brasil (EPE, 2017), com destaque para os motores de indução trifásicos que somaram cerca de dois milhões e meio de unidades comercializados no Brasil de 1987 a 2007, onde predominou-se motores de potência entre 0 e 10 cv, os quais representaram algo em torno de 90% das unidades vendidas (PROCEL, 2007). Apesar das múltiplas aplicações e da sua relevância no parque industrial brasileiro, motores de pequena potência são os que recebem menor atenção quando o assunto é proteção elétrica. Nesse contexto, o conjunto disjuntor (ou fusível), contator e relé bimetálico datam até hoje como a configuração mais usual para comando e proteção dos motores de indução trifásicos, sendo reservado o uso dos relés microprocessados para motores de média e alta tensão (MAMEDE FILHO, 2017).

Esse cenário, porém, tem mudado nos últimos anos com a adoção, principalmente nas indústrias de relés microprocessados na proteção de motores de baixa tensão, graças a redução do preço e por agregarem em um só dispositivo funções de proteção, acionamento, supervisão e comunicação. Como esses equipamentos têm sido cada vez mais empregados e o mercado tem ofertado uma variedade cada vez maior de relés para a baixa tensão, engenheiros e técnicos devem acompanhar de perto a evolução e variedade desses equipamentos, tornando-se necessário que os profissionais da área de projeto, comissionamento e manutenção elétrica estejam atentos a evolução desses equipamentos.

O uso desses relés, assim como os relés de média e alta tensão, exigem conhecimentos das principais características elétricas e mecânicas dos motores de indução e das principais funções de proteção para motores, sendo que para a baixa tensão a bibliografia disponível ainda é restrita, onde em muitos casos os autores recomendam o uso das mesmas recomendações da média tensão. É diante desse cenário que o presente trabalho se propõe a fazer uma revisão das principais características elétricas dos motores de indução trifásico e elementos de comando, proteção, bem como a apresentação do relé *Tesys T* da *Schneider*, um modelo de relé inteligente de baixa tensão, indicando ainda como o mesmo implementa as principais funções de proteção de motores. Por fim, será apresentado um caso prático de ajuste desse equipamento e as principais particularidades que devem ser observadas.

1.1 Justificativa

Com intuito de reduzir a queima de motores e quebra de equipamentos a eles acoplados em uma unidade de despoejamento de uma planta siderúrgica foi desenvolvido um

projeto para reajustar as proteções do seu CCMI de baixa tensão utilizando um relé microprocessado, *Tesys T* da *Schneider*, capaz de implementar as principais funções de proteção para motores de baixa tensão.

1.2 Objetivo Do Trabalho

Este trabalho tem como objetivo geral demonstrar como definir os ajustes de proteção em um relé microprocessado de baixa tensão, implementar esses ajustes e registrar as informações dos motores, unidades funcionais e os próprios ajustes.

Tem-se ainda como objetivos específicos estudar: os parâmetros dos motores de indução trifásicos, suas principais funções de proteção e o relé inteligente *Tesys T*; apresentar o levantamento de dados dos motores e equipamentos que compõem as gavetas do CCMI; definir os ajustes de proteção dos backups do relé de cada equipamento e acompanhar a implementação e registros dos parâmetros das funções de proteção ajustadas.

1.3 Metodologia

A metodologia empregada para o desenvolvimento deste trabalho seguiu os seguintes passos: estudo dos parâmetros dos motores de indução trifásicos, suas principais funções de proteção e o relé inteligente *Tesys T*; levantamento de dados dos motores e equipamentos que compõem as gavetas do CCMI; definição dos ajustes de proteção; ajuste dos *backups* dos relés e acompanhamento da implementação e registros dos parâmetros das funções de proteção ajustadas.

1.4 Estrutura Do Trabalho

O presente trabalho está dividido em 6 capítulos.

O Capítulo 1 apresenta de forma resumida a introdução, justificativa, objetivo geral e específicos e a estrutura do trabalho.

O Capítulo 2 apresenta uma introdução quanto a importância dos motores elétricos na formação das indústrias modernas e atualmente no Brasil. Neste capítulo também são apontados os principais aspectos elétricos e construtivos dos motores de indução trifásicos, bem como, seus principais parâmetros elétricos.

O Capítulo 3 está relacionado aos principais elementos empregados na proteção e comando dos motores elétricos, sendo apresentada ainda, a estrutura dos CCM's, o relé inteligente *Tesys T* e os aspectos relevantes das funções de proteção empregadas em motores,

bem como, a lógica utilizada para implementação do relé *Tesys T*.

No Capítulo 4, é apresentada a aplicação prática dos conceitos abordados nos capítulos anteriores, são apresentados todos os passos necessários para o ajuste da proteção de uma planta elétrica em funcionamento que empregue o relé inteligente *Tesys T*, bem como relés de baixa tensão com características similares.

O Capítulo 5 apresenta as conclusões do trabalho e as propostas de trabalhos futuros relacionados ao tema.

2 MOTOR DE INDUÇÃO: BREVE HISTÓRICO E ATUAL RELEVÂNCIA

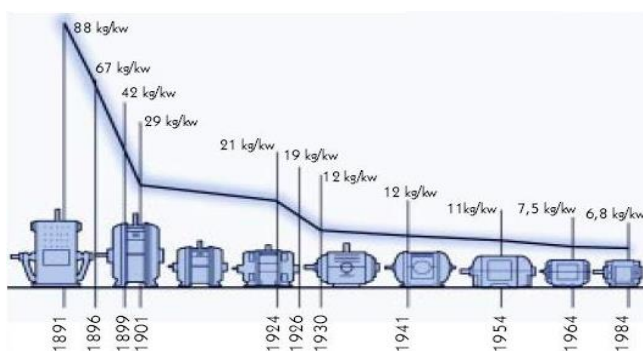
A partir da obra do cientista inglês William Gilbert, que descrevia a força de atração magnética, houve o início de pesquisas e publicações acerca de máquinas elétricas, culminando, em 1889 na patente do primeiro motor trifásico com rotor tipo gaiola do russo Mikhail Dobrowolsky e em 1891, após quase três séculos de pesquisas e invenções, houve o início da fabricação em série de motores assíncronos, nas potências de 0,4 a 7,5 kW (MUSEU WEG, 2018).

Assim, à medida que se estruturavam os sistemas de geração, transmissão e distribuição de energia elétrica as indústrias deixavam de ser instaladas necessariamente nas proximidades de quedas d'água, uma vez que agora existia uma alternativa a energia hidráulica, ganhando destaque nesse cenário a energia elétrica. Além disso, as máquinas térmicas movidas a carvão também foram palatinamente substituídas por motores elétricos, este fato, proporcionou o surgimento de inúmeras novas pequenas indústrias, inaugurando uma fase moderna de seu desenvolvimento (DATHEIN, 2003).

Depois de se consolidar como alternativa viável a outros tipos de motores, os motores elétricos passaram por um intenso processo de aperfeiçoamento, com simplificação construtiva, redução de custo de fabricação e manutenção, maior robustez, redução da relação tamanho/potência, aumento do rendimento e acionamentos mais simples e baratos, o resultado desse processo contínuo de melhorias foi a obtenção de máquinas mais eficientes, bem como, a adoção do motor de corrente alternada na maioria das aplicações, com destaque para os motores trifásicos.

Diante do exposto, coloca-se em destaque a evolução do motor elétrico de 1891 a 1984 na Figura 1, retratando-se a redução da relação tamanho *versus* potência dos motores elétricos.

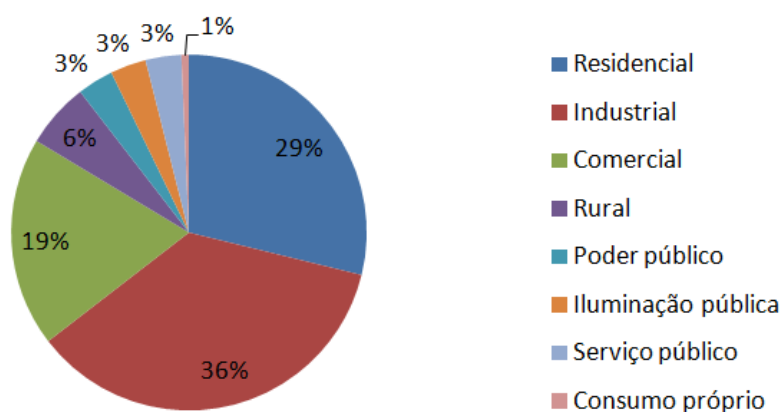
Figura 1 - Redução da relação tamanho versus potência dos motores elétricos



Fonte: Sens (2010)

A evolução dos motores elétricos impulsionou o crescimento do setor industrial tornando este tão importante que sua participação no consumo de energia elétrica é preponderante. No âmbito nacional a indústria consome sozinha cerca de 36% (EPE, 2017) da energia elétrica, conforme apresentado no Figura 2, deste montante, cerca de 68% (BECKER, 2017) é consumido por motores.

Figura 2 – Principais consumidores de energia elétrica no Brasil



Fonte: Adaptado de EPE (2017)

Do exposto, conclui-se que cerca de 24% de toda a energia consumida no Brasil em 2017, é empregada no funcionamento de motores elétricos. Esse percentual é na realidade ainda maior, já que o uso destes não se resumem apenas ao setor industrial, uma vez que são amplamente utilizados na zona rural, no comércio e nas residências.

Portanto, além dos motores elétricos serem utilizados intensivamente, suas aplicações são múltiplas e extremamente diversificadas, vão desde as mais comuns, como nos compressores e elevadores, até as mais específicas, como o acionamento de rolos em uma máquina de lingotamento contínuo, empregada no setor siderúrgico, isso torna o entendimento do seu funcionamento uma competência imprescindível dentro do escopo da engenharia elétrica.

2.1 Motor de indução trifásico

Partindo-se da premissa que o motor elétrico é um dispositivo que converte energia elétrica em energia mecânica, destaca-se a existência de duas categorias básicas de motores

elétricos baseados na sua tensão de alimentação, são eles: motores de corrente contínua e motores de corrente alternada.

Logo, as características de funcionamento do motor de corrente alternada são semelhantes aos de corrente contínua, na maioria dos casos, porém, o motor de corrente alternada apresenta uma série de vantagens que o colocam como uma opção mais atrativa em um grande número de aplicações, com destaque, para o seu menor preço de aquisição entre motores de mesma potência e manutenção mais simples e barata, já que o motor de corrente contínua tem escovas e comutador e o motor de indução não.

Cabe ressaltar, que os motores de corrente alternada são por sua vez divididos em duas outras categorias, os motores síncronos e assíncronos. Neste caso, os últimos apresentam como grande vantagem não necessitarem de dupla alimentação. Já, os motores síncronos recebem alimentação de corrente alternada em seu estator e corrente contínua em seu rotor, enquanto que os motores assíncronos recebem alimentação apenas em seu estator, sendo o seu rotor autossuficiente.

Com isso, conclui-se que o motor síncrono apresenta maior complexidade construtiva e a necessidade de uma fonte de corrente contínua, tais fatores torna seu uso e manutenção mais caro e complexo do que os motores assíncronos.

Dentre os motores assíncronos destaca-se o trifásico, sendo atualmente o mais utilizado em acionamentos industriais. Segundo Francisco (2008, p. 28) “Trata-se de uma máquina robusta, de construção simples, de rendimento elevado, de baixa manutenção, facilmente colocada em serviço, mais barata comparada com outras e com binário de arranque que atende a maioria das aplicações”. Vale lembrar, que é preferível a utilização do motor trifásico ao monofásico devido este apresentar limitação de potência, com menor rendimento e torque, o que torna o seu uso restrito a aplicações que exijam menores potências e onde o custo operacional mais elevado possa ser justificado pela ausência de uma rede de alimentação trifásica.

Portanto, serão apresentados os conceitos fundamentais, aspectos construtivos e particularidades do motor de indução trifásico. Tais conceitos são fundamentais para o correto entendimento de como e porque devem se empregar as funções de proteção elétricas nestes motores.

2.1.1 Princípio de funcionamento

O motor de indução trifásico (MIT) é constituído basicamente de dois elementos, um fixo e um móvel, estator e rotor, respectivamente. O estator tem como parte fundamental o enrolamento, o mesmo é constituído por um conjunto de três bobinas idênticas sobrepostas, isoladas e defasadas entre si. Já o rotor é essencialmente composto por um conjunto de condutores curto-circuitados ou em forma de bobinas fixadas a um eixo (MAMEDE FILHO, 2017).

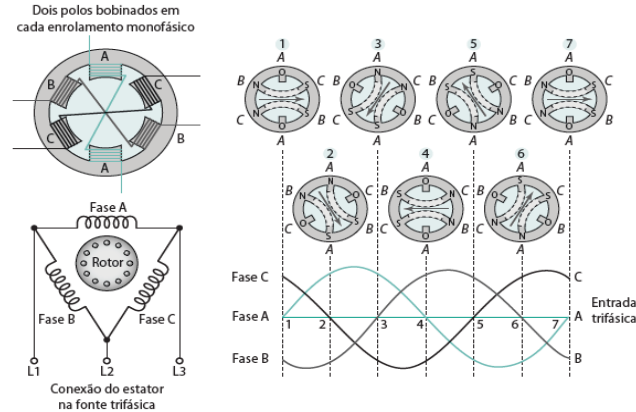
No estator é gerado um campo magnético girante, o mesmo é formado quando o enrolamento do estator é energizado por uma alimentação trifásica. O campo magnético gira eletricamente em torno de um círculo e o fluxo magnético criado interage com o rotor induzindo nos seus condutores uma corrente induzida e uma força eletromotriz, f.e.m (PETRUZELLA, 2013).

A formação da f.e.m é explicada pela lei de *Lenz-Faraday*, que tem o seguinte postulado: “Sempre que uma bobina é atravessada por um fluxo magnético variável gera-se uma f.e.m induzida, que cria uma corrente induzida, que tende a opor-se à causa que lhe deu origem”. Ou seja, o campo girante do estator impõe um fluxo magnético variável sobre os condutores do rotor formando nele uma f.e.m que tende a se opor ao campo que lhe deu origem, produzindo no rotor um movimento de rotação. Assim, como o movimento do rotor é resultado de uma reação ao campo do estator, a velocidade de rotação deste será sempre maior que a velocidade daquele.

Na figura abaixo é apresentado o comportamento do campo girante no estator de um motor de indução trifásico. Nele o estator apresenta três conjuntos de enrolamentos defasados em 120 graus elétricos, com cada conjunto ligado a uma fase da fonte de alimentação trifásica. Quando a corrente trifásica passa através dos enrolamentos do estator, forma-se um campo magnético girante que percorre seu interior, com a resultante desse campo variando conforme o posicionamento das ondas senoidais das correntes que fluem nas fases A, B e C.

Na Figura 3 ainda são apresentadas seis posições com intervalos de 60 graus nas ondas senoidais das correntes, onde fica claro o movimento no sentido horário do campo girante (PETRUZELLA, 2013).

Figura 3 - Comportamento do campo girante em um motor de indução trifásico



Fonte: Petruzella, (2013)

Portanto, é devido a tal fenômeno que chamamos esse tipo de máquina de motor de indução. Vale lembrar, que o termo assíncrono também faz referência ao fenômeno acima retratado, já que esses equipamentos só funcionam se existir uma diferença de velocidade entre o campo magnético do estator e o campo magnético do rotor.

2.1.2 Equações fundamentais

Neste tópico serão apresentadas as equações dos principais parâmetros do motor de indução trifásico: potência nominal, corrente nominal, velocidade síncrona, escorregamento e torque nominal.

Para o cálculo da potência nominal de um motor de indução trifásico é necessário o conhecimento de quatro parâmetros do motor, a tensão de alimentação; a corrente de trabalho do motor sob essa tensão; o fator de potência e o rendimento do motor. O fator de potência é a relação entre a potência ativa e a potência aparente do motor. A primeira diz respeito à potência utilizada para realizar trabalho, enquanto a segunda é a potência total absorvida pelo motor. Já o rendimento é a relação entre a potência que o motor converte em trabalho e a potência total absorvida da rede (MAMEDE FILHO, 2017).

Na Equação 1 é apresentada a fórmula para o cálculo da potência nominal de um motor de indução trifásico.

$$P_N = 3 \cdot V_F \cdot I_F \cdot \cos \theta \cdot \eta \quad (1)$$

P_M = Potência fornecida na ponta do eixo sob tensão, corrente e frequência nominal,
W;

V_F = Tensão de alimentação do estator, tensão de fase, V;

I_F = Corrente de fase absorvida da rede pelo estator, corrente de fase, A;

$\cos \theta$ = Fator de potência do motor;

η = rendimento do motor.

A Equação 1 ainda pode ser reescrita em termos da tensão de linha e corrente de linha, que é a mais usual. Considerando que as fases do motor estão ligadas em estrela, ou seja, que uma das extremidades de cada uma das bobinas estão ligadas a um ponto comum, a tensão de linha é raiz de três vezes maior que a tensão de fase e a corrente de linha é igual a corrente de fase, conforme apresentado nas Equações 2 e 3.

$$V_L = \sqrt{3} \cdot V_F \quad (2)$$

V_L = Tensão de linha, V;

V_F = Tensão de fase, V;

$$I_L = I_F \quad (3)$$

I_L = Corrente de linha, V;

I_F = Corrente de fase, V;

Logo, a nova expressão da potência é apresentada na Equação 4:

$$P_n = \sqrt{3} \cdot V_L \cdot I_L \cdot \cos \theta \cdot \eta \quad (4)$$

P_n = Potência nominal, W;

V_L = Tensão de linha do sistema de alimentação, tensão de fase, V;

I_L = Corrente de linha do sistema de alimentação, A;

$\cos \theta$ = Fator de potência do motor;

η = rendimento do motor;

Assim, caso seja necessário o cálculo da corrente basta isolar o termo da corrente em um dos lados da expressão, conforme apresentado na Equação 5:

$$I_L = \frac{P_N}{\sqrt{3} \cdot V_L \cdot \cos \theta \cdot \eta} \quad (5)$$

Com relação ao cálculo da velocidade nominal do motor é necessário o conhecimento de dois parâmetros, a velocidade síncrona do motor e o seu escorregamento. Sendo a velocidade síncrona a velocidade do campo magnético do estator e o escorregamento expressa a diferença de velocidade entre o campo magnético do rotor e o campo magnético do estator percentualmente em relação à velocidade do campo magnético do estator. Vale lembrar, que a velocidade do campo magnético do estator depende do número de pólos magnéticos em cada uma das bobinas que compõem o enrolamento do estator e da frequência de alimentação do motor (PETRUZELLA, 2013), conforme apresenta a Equação 6.

$$n_s = \frac{120 \cdot f_s}{p} \quad (6)$$

n_s = Velocidade do campo magnético do estator, velocidade síncrona, rpm;

f_s = Frequência de alimentação do motor, Hz;

p = Numero de pólos;

O Escorregamento, por sua vez, é dado pela Equação 7 representada abaixo:

$$s = \frac{n_s - n}{n_s} \cdot 100\% \quad (7)$$

s = Escorregamento, % ;

n = Velocidade nominal, rpm;

n_s = Velocidade síncrona, rpm;

Com isso, juntando as Equações 6 e 7 obtém-se a fórmula para o cálculo da velocidade nominal, conforme apresentado na Equação 8:

$$n = \left(1 - \frac{s}{100}\right) \cdot n_s \quad (8)$$

s = Escorregamento, % ;

n = Velocidade nominal, rpm;

n_s = Velocidade síncrona, rpm;

Por fim, o torque nominal do motor pode ser obtido através da divisão da potência nominal pela velocidade nominal do motor, como bem apresenta a Equação 9:

$$C_M = \frac{716 \cdot P_M}{n} \quad (9)$$

C_M = Escorregamento, mkgf ;

P_M = Potência nominal, cv;

n = Velocidade nominal, rpm;

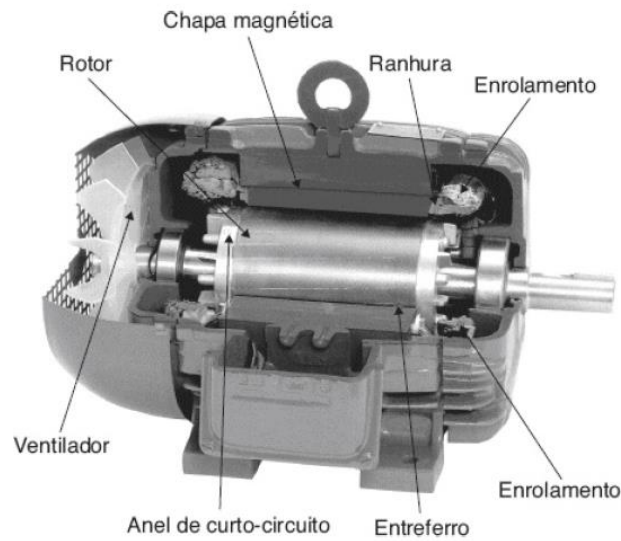
2.1.3 Aspectos construtivos

Como já mencionado, o motor de indução é constituído basicamente de dois elementos, o rotor e o estator. Esses elementos apresentam partes componentes com uma série de particularidades que influenciam diretamente os parâmetros de funcionamento do motor (MAMEDE FILHO, 2017).

2.1.3.1 Estator

Caracteriza-se por ser a parte fixa do motor, é a única que recebe alimentação e é responsável pela produção do campo magnético. A seguir, serão apresentados os seus três elementos básicos: carcaça, núcleo do estator e enrolamento, conforme apresentado na Figura 4.

Figura 4 - Elementos básicos do motor de indução trifásico



Fonte: Mamede Filho (2017)

2.1.3.1.1 Carcaça

É o elemento de sustentação de todas as partes fixas e móveis do motor. É fabricada em material robusto, normalmente, em ferro fundido, aço ou alumínio, o que lhe confere resistência ao estresse mecânico e a corrosão, ainda possui aletas em sua superfície, que servem para aumentar sua área de contato com o ar e assim favorecer a dissipação térmica do motor (MAMEDE FILHO, 2017).

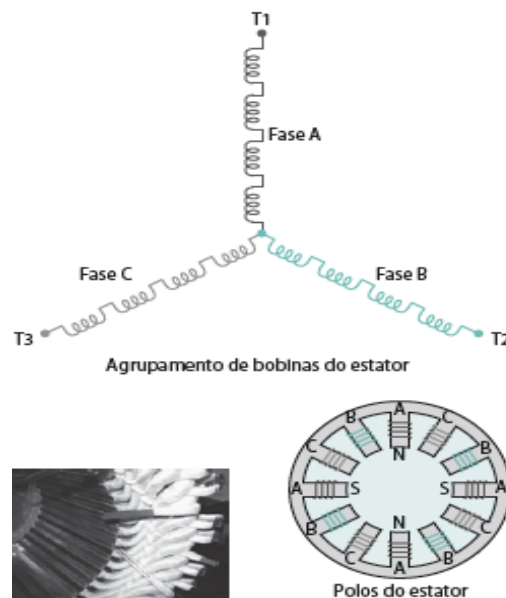
2.1.3.1.2 Núcleo do Estator

Funciona como um caminho de baixa relutância para o fluxo magnético criado nas bobinas do enrolamento. É constituído de chapas de aço magnético, as quais são tratadas termicamente para reduzir as perdas de natureza magnética, fixadas ao estator apresenta ranhuras, que são espaços reservados para as bobinas, e dentes, que são estruturas para a formação dos pólos (GUIA DE ESPECIFICAÇÃO WEG, 2016).

2.1.3.1.3 Enrolamento

Constituído de três conjuntos idênticos de bobinas, onde a quantidade de bobinas de cada conjunto determina o número de pólos do motor, dispostas sobre o núcleo estatórico de tal forma, que seja possível fazer a ligação do motor em estrela ou delta (PETRUZELLA, 2013). Na Figura 5 é apresentado o exemplo da configuração de um motor de quatro pólos ligado em estrela.

Figura 5 – Boninas do estator de um motor de indução trifásico de quatro pólos conectado em estrela



Fonte: Petruzella (2013)

Vale lembrar, que o enrolamento é confeccionado com material condutor, normalmente cobre, coberto por um verniz com propriedades isolantes. As características físicas desse verniz influenciam diretamente na vida útil do motor, já que a principal causa de queima de motores elétricos é devido à perda de isolamento dos condutores que compõem o enrolamento.

2.1.3.2 Rotor

O rotor é a parte móvel do motor, responsável por realizar o trabalho mecânico de rotação existe dois tipos básicos de rotores: gaiola de esquilo e o bobinado (MAMEDE FILHO, 2017). Sendo que o segundo requer um desembolso maior para sua aquisição e

necessita de manutenção frequente, por esse motivo o motor de indução trifásico com rotor tipo gaiola de esquilo é o mais utilizado, desta forma, será esse o rotor apresentado.

Assim, os elementos básicos do rotor tipo gaiola de esquilo são: o eixo, núcleo de chapas e as barras e anéis de curto-circuito.

2.1.3.2.1 Eixo

O eixo é a estrutura sobre a qual onde são montados os outros elementos do rotor. Além do suporte, o eixo é o responsável pela transmissão para a carga da potência mecânica gerada pelo motor, devido a isso, é um componente muito exigido mecanicamente, sendo normalmente fabricado em aço carbono (MAMEDE FILHO, 2017).

2.1.3.2.2 Núcleo De Chapas

Tem função semelhante ao núcleo estatórico, ou seja, serve de caminho de baixa relutância para o fluxo magnético que vem do enrolamento do estator tornando mais eficiente sua interação com os condutores do rotor. É acoplado mecanicamente ao eixo e recebe as barras e anéis em curto-circuito (MAMEDE FILHO, 2017).

2.1.3.2.3 Barras e Anéis de Curto-Circuito

As barras são normalmente constituídas de alumínio ou cobre, sendo fabricadas sobre o núcleo magnético através de um processo de injeção sobre pressão. Apresentam seção reta larga, devido à passagem de altas correntes induzidas e tem suas extremidades unidas pelos anéis de curto circuito, os quais são fabricados geralmente de seu mesmo material (MAMEDE FILHO, 2017).

2.1.3.3 Demais Componentes

Além do rotor e do estator, o motor de indução trifásico apresenta uma série de componentes secundários com importantes funções. Assim, são três grupos de componentes: os de suporte ou proteção mecânica, refrigeração e ligação.

São componentes de suporte ou proteção mecânica: a tampa, tampa defletora e rolamentos. A tampa é um componente metálico que tem como função, fazer o fechamento

lateral do motor sendo esta normalmente feita do mesmo material da carcaça. Já, a tampa defletora é um componente que protege a parte traseira do motor e normalmente é confeccionada em alumínio, podendo apresentar fendas que permitem a entrada de ar no motor no caso de motores abertos ou pode ser fechada, no caso de motores blindados, mas em ambos os casos fica instalada sobre o ventilador. Por fim, os rolamentos são os responsáveis pelo suporte mecânico do eixo do motor (MAMEDE FILHO, 2017).

A refrigeração fica a cargo do ventilador, este componente é muito importante para o funcionamento do motor, já que é o responsável por prover um fluxo de ar sobre os componentes internos do motor.

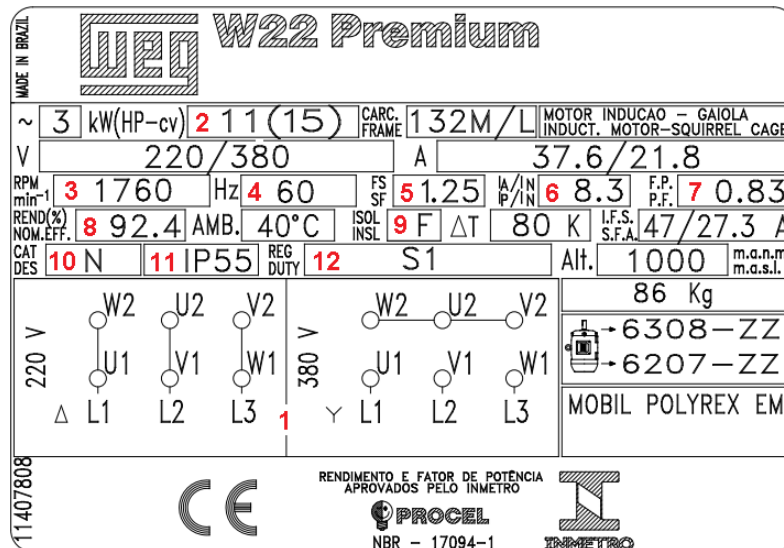
O último grupo é o responsável pela alimentação do motor e é composto pela caixa de ligação e os terminais. A caixa de ligação é o local onde são fixados os terminais e é normalmente feito do mesmo material da carcaça tendo a função de proteger os terminais de agentes corrosivos, umidade e choques mecânicos. Os terminais, por sua vez, são conectores metálicos responsáveis por conectar o motor aos condutores a fonte de alimentação (MAMEDE FILHO, 2017).

2.1.4 Dados De Placa

Há uma série de parâmetros que são indispensáveis para a devida caracterização de um motor de indução. Normalmente, esses dados são encontrados na placa do motor ou na folha de dados do equipamento, ambos fornecidos pelo fabricante. Tais dados são necessários para o dimensionamento correto do motor, a escolha do tipo de partida e para a parametrização das proteções elétricas. Assim, serão apresentados os principais dados que caracterizam o motor de indução trifásico.

Inicialmente, será analisada uma placa de um motor de indução trifásico, conforme ilustrada na Figura 6, a fim de exemplificar como normalmente são apresentados os dados e qual a importância de cada um deles.

Figura 6 - Placa de um motor trifásico



Fonte: MANUAL...(2018)

2.1.4.1 Tipo de ligação, tensão nominal e corrente nominal

Uma informação crucial para a instalação adequada de um motor de indução trifásico é o tipo de ligação. Esse fator determina qual será a tensão aplicada em cada bobina do motor e conseqüentemente a corrente que fluirá em cada fase.

Na placa são apresentadas duas figuras, a primeira é um triângulo que representa a ligação em delta e a sua direita uma estrela, de três pontas, que representa a ligação em estrela.

Na ligação em delta, as bobinas do motor recebem uma tensão nominal de 220 V, sendo esta a tensão entre fases da rede de alimentação. Além disso, para essa configuração a corrente nominal é 37,6 A. Outro dado importante apresentado é como devem ser feitas as ligações no físico do motor, sendo três pares de entradas, também chamadas de *bornes*, U1,U2,V1,V2,W1 e W2, onde cada par de entradas é representado pela mesma letra e é interligado a uma extremidade de uma bobina. Logo, a figura indica como interligar as entradas entre si e as fases de alimentação, de forma a obter uma ligação em delta.

Já para ligar o motor em estrela, a tensão aplicada nas entradas será maior, uma vez que será aplicada a tensão de linha da rede de alimentação, que no caso é 380 V, sendo esta a tensão nominal do motor. Nesta configuração a corrente nominal de funcionamento, que no caso é 21,8 A, é menor devido à maior tensão de operação. Por fim, como no caso anterior também é mostrado como interligar os *bornes* do motor entre si e com as fases da rede.

2.1.4.1.1 Potência nominal

Neste item é apresentado a potência ativa do motor, sendo esta a potência que o motor pode fornecer em regime contínuo a plena carga, dentro de suas características nominais, sem que haja redução da sua vida útil (STEPHAN, 2008).

A escolha de um motor com potência adequada à aplicação é muito importante, tendo em vista que motores sobredimensionados e subdimensionados podem ocasionar sérios prejuízos. Motores sobredimensionados apresentam maior custo de aquisição e operação, isso se deve ao seu consumo desnecessário de energia elétrica. No caso de motores subdimensionados pode haver uma sobrecarga excessiva, que incidindo de forma continua leva a perda de isolamento do enrolamento, causando a redução da vida útil do motor.

A unidade de potência do Sistema Internacional de Medidas é o Watt [W] que equivale a um joule por segundo, além dele é comum o uso do cavalo vapor [cv], devido ao seu longo historio de uso. A conversão de kW, unidade mais utilizada, para o cv é feita multiplicando o valor da potência em kW por 1,341, e o inverso é feito multiplicando o valor em cv por 0,736. Na placa em análise a potência é apresentada nas duas unidades, sendo o motor de 11 kW ou 15 cv.

2.1.4.1.2 Velocidade de rotação nominal

A velocidade de rotação nominal de um motor caracteriza-se por ser a velocidade de operação a potencia nominal sob tensão e frequência nominal. Este é apresentado normalmente em rotação por minuto, rpm, e depende do número de pólos, frequência de operação e escorregamento do motor (Guia de especificação WEG, 2016).

Assim, na placa em análise o valor da velocidade de rotação nominal é de 1760 rpm.

2.1.4.1.3 Frequência nominal

A frequência nominal é a frequência de alimentação para o qual o motor foi dimensionado, no Brasil, este valor é de 60 Hz, como apresentado na placa.

Segundo Mamede (2017, p.632) “O motor deve trabalhar satisfatoriamente se a frequência variar dentre de limites de $\pm 5\%$ da frequência nominal, desde que seja mantida a tensão nominal constante”. Logo, o fabricante só garante as características de velocidade de rotação

nominal, por exemplo, se o motor operar dentro destes limites de frequência para o qual foi projetado.

2.1.4.1.4 Fator de serviço

Representa a reserva de potência do motor, ou seja, a capacidade que o motor tem de suportar um período constante de sobrecarga, permitindo que o motor opere em condições desfavoráveis. Apesar disso, o funcionamento nesta condição deve ser exceção, já que o uso prolongado neste estado de funcionamento reduz a vida útil do motor.

Especificar um motor para funcionar continuamente com a potência reserva indicada no fator de em uma redução significativa da vida útil do sistema de isolamento, cerca de 50%, quando comparado à condição de carga nominal (PROCEL INDUSTRIAL, 2009)

Na placa analisada o fator de serviço é 1,15, o que indica que esse motor pode operar com até 15% acima da sua potência nominal em regimes esporádicos ou intermitentes.

2.1.4.1.5 Relação corrente de partida e corrente nominal

A corrente absorvida da rede por um motor de indução quando sua velocidade de rotação é nula, sob tensão e frequência nominal, é um dado muito importante, já que descreve o comportamento da corrente no instante inicial em que o motor entra em operação, ou seja, durante sua partida, e quando há um travamento mecânico do seu rotor. Essas duas situações devem ser levadas em conta na escolha da partida do motor e na parametrização das proteções elétricas do motor.

Essas informações são apresentadas na placa do motor através da relação I_P/I_N , que indica quantas vezes a corrente de partida e corrente de rotor bloqueado é maior que a corrente nominal, ou seja, basta multiplicar o valor dessa relação pela corrente nominal para obter o valor dessas correntes.

Na placa da Figura 6 valor de I_P/I_N é 7,3 e a corrente nominal do motor é 25,2 na ligação em delta e 14,5 na ligação estrela. Conclui-se com isso, que a corrente de partida e corrente de rotor bloqueado em delta é 183,96 A e em estrela é 105,85 A.

2.1.4.1.6 Fator de potência

Os motores de indução e vários outros equipamentos, tais como transformadores reatores e dentre outros precisam absorver da rede dois tipos diferentes de potência elétrica para entrar em funcionamento, a potência ativa e a potência reativa, cuja soma resulta na potência aparente do equipamento. A potência ativa é aquela que é utilizada para efetivamente realizar trabalho e a potência reativa é utilizada na formação do campo magnético e apesar de ser essencial para o funcionamento deste tipo de equipamento, esta não é consumida, ao invés disso, fica transitando entre a fonte e a carga (Mamede Filho, 2017).

Diante disso, o fator de potência expressa a relação entre a potência ativa e a potência aparente e pode ser indutivo ou capacitivo, o que determina o seu caráter é o tipo da potência reativa. Sendo assim, equipamentos compostos por bobinas, como os motores de indução, absorvem potência reativa indutiva e por isso apresentam fator de potência indutivo. Já no caso dos motores síncronos super excitados ou capacitores, por exemplo, a potência reativa fornecida tem caráter capacitivo e devido a isso apresentam fator de potência capacitivo (MAMEDE FILHO, 2017).

Logo, é importante ressaltar que o valor do fator de potência revela quanto da rede de alimentação está sendo ocupada por energia ativa e reativa, uma vez que as concessionárias podem cobrar taxas quando o fator de potência da unidade consumidora ficar abaixo de 0,92 indutivo ou capacitivo (MANUAL DE TARIFAÇÃO PROCEL, 2011).

Por fim, o valor constante na placa em análise é 0,82, o que significa que este motor apresenta um fator de potência indutivo.

2.1.4.1.7 Rendimento

O rendimento é o parâmetro que retrata o quanto da potência elétrica que é absorvida da rede é efetivamente transformada em potência mecânica no eixo do motor, ou seja, é a potência que o motor absorve menos as suas perdas. As perdas mais significativas são a potência dissipada no cobre do estator, potência dissipada no cobre do rotor, perdas no ferro e perdas por atrito e ventilação (PROCEL INDUSTRIAL, 2009).

A escolha de motores com maior rendimento reduz os custos de operação, já que consomem menos energia elétrica que um motor de mesma potência com menor rendimento. É importante ressaltar, que o Decreto Nº 4.508 de 11 de dezembro de 2002 estabelece os

rendimentos mínimos para que os motores trifásicos de indução com rotor gaiola de esquilo sejam classificados em padrão e alto rendimento.

Na Tabela 1 são apresentados os valores percentuais de rendimento mínimo em função da sua potência nominal e número de pólos. O motor em análise apresenta potência nominal de 10 cv e 4 pólos com um rendimento de 91%, o que segundo a portaria, apresentada na Tabela 1, está acima dos parâmetros mínimos para um motor de alto rendimento.

Tabela 1 - Rendimentos nominais mínimos para as categorias padrão e alto rendimento

cv ou hp	kW	PADRÃO					ALTO RENDIMENTO			
		NÚMERO DE PÓLOS					NÚMERO DE PÓLOS			
		2	4	6	8		2	4	6	8
1	0,75	77	78	73	66		80	80,5	80	70
1,5	1,1	78,5	79	75	73,5		82,5	81,5	77	77
2	1,5	81	81,5	77	77		83,5	84	83	82,5
3	2,2	81,5	83	78,5	78		85	85	83	84
4	3	82,5	83	81	79		85	86	85	84,5
5	3,7	84,5	85	83,5	80		87,5	87,5	87,5	85,5
6	4,5	85	85,5	84	82		88	88,5	87,5	85,5
7,5	5,5	86	87	85	84		88,5	89,5	88	85,5
10	7,5	87,5	87,5	86	85		89,5	89,5	88,5	88,5
12,5	9,2	87,5	87,5	87,5	86		89,5	90	88,5	88,5
15	11	87,5	88,5	89	87,5		90,2	91	90,2	88,5
20	15	88,5	89,5	89,5	88,5		90,2	91	90,2	89,5
25	18,5	89,5	90,5	90,2	88,5		91	92,4	91,7	89,5
30	22	89,5	91	91	90,2		91	92,4	91,7	91
40	30	90,2	91,7	91,7	90,2		91,7	93	93	91
50	37	91,5	92,4	91,7	91		92,4	93	93	91,7
60	45	91,7	93	91,7	91		93	93,6	93,6	91,7
75	55	92,4	93	92,1	91,5		93	94,1	93,6	93
100	75	93	93,2	93	92		93,6	94,5	94,1	93
125	90	93	93,2	93	92,5		94,5	94,5	94,1	93,6
150	110	93	93,5	94,1	92,5		94,5	95	95	93,6
175	132	93,5	94,1	94,1			94,7	95	95	
200	150	94,1	94,5	94,1			95	95	95	
250	185	94,1	94,5				95,4	95		

Fonte: Adaptado de DECRETO N° 4.508, 11 de dezembro de 2002.

2.1.4.1.8 Classe de isolamento

O componente com maior influência sobre a vida útil de um motor de indução é o seu enrolamento, já que o desgaste de sua isolação leva a queima do equipamento. Assim, os principais fatores que contribuem para o processo de desgaste são a umidade, ambientes corrosivos e temperatura, com destaque para o último, tendo em vista, que um aumento de 8 a 10 graus na temperatura da isolação do enrolamento pode reduzir em 50% a vida útil do mesmo. (STEPHAN, 2008)

Logo, a temperatura limite do enrolamento depende do tipo de material isolante empregado, por isso, foram criadas classes que estipulam o valor máximo de temperatura do motor, sem que haja perda de sua vida útil. A NBR 17094-2 estabelece para cada classe de isolamento uma temperatura de serviço e uma temperatura máxima de funcionamento, conforme apresentado na Tabela 2.

Tabela 2 - Classes de isolamento

Classe	Temperatura Máxima (°C)	Temperatura de serviço (°C)
Y	90	80
A	105	95
E	120	110
B	130	120
F	155	145
H	180	170
C	Acima de 180	Depende do material

Fonte: Stephan (2008)

As duas classes mais utilizadas são a B e a F, em aplicações comerciais e industriais, respectivamente. Apesar disso, é importante ressaltar que os motores são ensaiados tendo como temperatura ambiente de referência 40 °C e altitude de até 1000 m. Para locais com temperatura ambiente acima da indicada o motor naturalmente não consegue trocar calor com a mesma eficácia com que foi projetado, resultando em um sobreaquecimento ao longo do seu funcionamento. No caso de locais de maior altitude, o ar apresenta uma menor densidade, o que limita sua capacidade de absorver calor, resultando mais uma vez em estresse térmico para o motor.

Algumas recomendações para evitar a redução da vida útil de um motor funcionando fora da faixa de temperatura e altitude de referência é a utilização de motores com classe de isolamento superior, o uso de ventilação forçada ou ainda, a utilização do motor abaixo de sua potência nominal. Para o último caso, os fabricantes fornecem tabelas que indicam qual a porcentagem da potência nominal deve ser utilizada para uma determinada temperatura e altitude.

Na Tabela 3 é apresentada uma tabela da fabricante brasileira WEG com fatores que devem ser multiplicados pela potência nominal do motor para um conjunto de temperaturas e altitudes.

Tabela 3 - Fatores de correção de potência em função da temperatura e altitude

T/H	1000	1500	2000	2500	3000	3500	4000
10	1,16	1,13	1,11	1,08	1,04	1,01	0,97
15	1,13	1,11	1,08	1,05	1,02	0,98	0,94
20	1,11	1,08	1,06	1,03	1,00	0,95	0,91
25	1,08	1,06	1,03	1,00	0,95	0,93	0,89
30	1,06	1,03	1,00	0,96	0,92	0,90	0,86
35	1,03	1,00	0,95	0,93	0,90	0,88	0,84
40	1,00	0,97	0,94	0,90	0,86	0,82	0,80
45	0,95	0,92	0,90	0,88	0,85	0,82	0,78
50	0,92	0,90	0,87	0,85	0,82	0,80	0,77
55	0,88	0,85	0,83	0,81	0,78	0,76	0,73
60	0,83	0,82	0,80	0,77	0,75	0,73	0,70

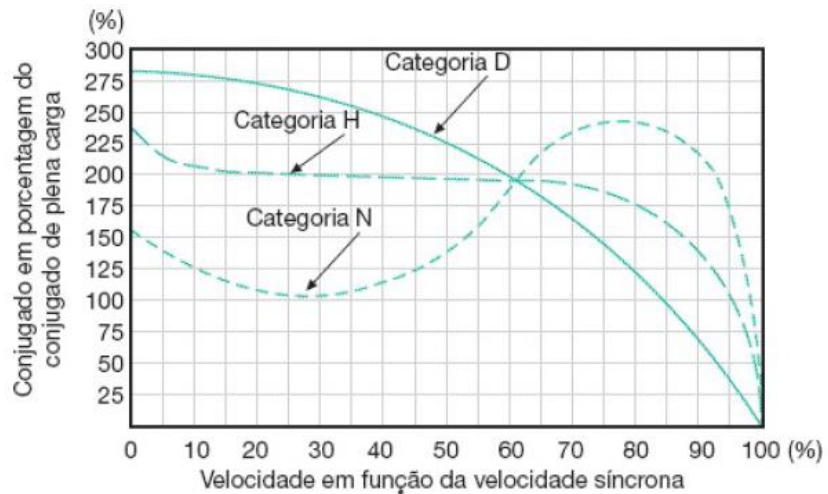
Fonte: Guia de especificação WEG (2016)

2.1.4.1.9 Categoria do motor

Durante o acionamento de uma carga o conjugado de partida do motor deve ser superior ao conjugado resistente da carga até que o motor entre em regime. Apesar de essa definição se aplicar a qualquer tipo de partida as exigências de conjugado e velocidade variam conforme o tipo de carga a ser acionada. Devido a isso, a NBR 17094-1 padronizou categorias de partida, onde cada uma delas apresenta determinadas características de conjugado, velocidade e corrente de partida.

As principais categorias são a N, H e D, conforme apresentado na Figura 6, com a categoria N sendo a mais a comum, já que abrange os motores de aplicação geral, a exemplo de bombas, ventiladores, máquinas operatrizes e etc. Os motores dessa categoria apresentam conjugado de partida normal, baixo escorregamento e elevada corrente de partida. Já a categoria H é indicada para cargas cujo conjugado resistente é próximo ao conjugado nominal, como peneiras e britadores, por exemplo. Essa categoria tem como características um elevado conjugado de partida, baixo escorregamento e corrente de partida normal. Por fim, a categoria D é recomendada para aplicações de regime intermitente e de elevado conjugado de partida, tendo como exemplo as prensas excêntricas. Assim, conjugado de partida muito elevado, alto escorregamento e corrente de partida normal são características dos motores dessa categoria, conforme apresentado na Figura 7.

Figura 7 - Curvas das categorias N,H e D.



Fonte: Mamede Filho (2017)

2.1.4.1.10 Grau de proteção

O grau de proteção diz respeito a que condições o invólucro do motor pode ser exposto sem que haja penetração de corpos sólidos estranhos e água, ou ainda a capacidade de proteção contra contato acidental de pessoas a partes energizadas sem isolamento. A norma NBR 9.884 escabele os critérios e ensaios que os fabricantes devem seguir para que os motores obtenham a qualificação em um determinado grau de proteção.

A norma também define que a indicação da classificação deve ser feita pelas letras IP seguida de dois algarismos, onde o primeiro indica o grau de proteção contra a penetração de corpos sólidos estranhos e contato acidental de pessoas e o segundo indica o grau de proteção contra a penetração de água no interior do motor. Estes dois critérios são combinados e apresentados de forma resumida na Tabela 4.

Tabela 4- Graus de proteção de motores elétricos

GRAU DE PROTEÇÃO	MOTORES ABERTOS			GRAU DE PROTEÇÃO	MOTORES FECHADOS		
	1º ALGARISMO		2º ALGARISMO		1º ALGARISMO		2º ALGARISMO
	PROTEÇÃO CONTRA CONTATO	PROTEÇÃO CONTRA CORPOS ESTRANHOS	PROTEÇÃO CONTRA ÁGUA		PROTEÇÃO CONTRA CONTATO	PROTEÇÃO CONTRA CORPOS ESTRANHOS	PROTEÇÃO CONTRA ÁGUA
IP00	NÃO TEM	NÃO TEM	NÃO TEM	IP44	TOQUE COM FERRAMENTAS	CORPOS ESTRANHOS SÓLIDOS DE DIMENSÕES ACIMA DE 1 mm	RESPINGOS DE TODAS AS DIREÇÕES
IP02	NÃO TEM	NÃO TEM	PINGOS DE ÁGUA ATÉ UMA INCLINAÇÃO DE 15° COM A VERTICAL	IP54	PROTEÇÃO COMPLETA CONTRA TOQUES	PROTEÇÃO CONTRA ACÚMULO DE POEIRAS NOCIVAS	RESPINGOS DE TODAS AS DIREÇÕES
IP11	TOQUE ACIDENTAL COM A MÃO	CORPOS ESTRANHOS SÓLIDOS DE DIMENSÕES ACIMA DE 50 mm	PINGOS DE ÁGUA NA VERTICAL	IP55	PROTEÇÃO COMPLETA CONTRA TOQUES	PROTEÇÃO CONTRA ACÚMULO DE POEIRAS NOCIVAS	JATOS DE ÁGUA EM TODAS AS DIREÇÕES
IP12	TOQUE ACIDENTAL COM A MÃO	CORPOS ESTRANHOS SÓLIDOS DE DIMENSÕES ACIMA DE 50 mm	PINGOS DE ÁGUA ATÉ UMA INCLINAÇÃO DE 15° COM A VERTICAL	IP66	PROTEÇÃO COMPLETA CONTRA TOQUES	TOTALMENTE PROTEGIDO CONTRA ACÚMULO DE POEIRAS NOCIVAS	PROTEGIDO CONTRA ÁGUA DE VERGALHÕES
IP13	TOQUE ACIDENTAL COM A MÃO	CORPOS ESTRANHOS SÓLIDOS DE DIMENSÕES ACIMA DE 50 mm	ÁGUA DE CHUVA ATÉ UMA INCLINAÇÃO DE 60° COM A VERTICAL	-	-	-	-
IP21	TOQUE COM OS DEDOS	CORPOS ESTRANHOS SÓLIDOS DE DIMENSÕES ACIMA DE 12 mm	PINGOS DE ÁGUA NA VERTICAL	-	-	-	-
IP22	TOQUE COM OS DEDOS	CORPOS ESTRANHOS SÓLIDOS DE DIMENSÕES ACIMA DE 12 mm	PINGOS DE ÁGUA ATÉ UMA INCLINAÇÃO DE 15° COM A VERTICAL	-	-	-	-
IP23	TOQUE COM OS DEDOS	CORPOS ESTRANHOS SÓLIDOS DE DIMENSÕES ACIMA DE 12 mm	ÁGUA DE CHUVA ATÉ UMA INCLINAÇÃO DE 60° COM A VERTICAL	-	-	-	-

Fonte: Adaptado de Guia de especificação WEG (2016)

O motor cuja placa está sendo analisada apresenta IP55, ou seja, é um motor fechado com invólucro com proteção completa contra toques, proteção contra acúmulo de poeiras nocivas e ainda contra respingos em todas as direções. Por fim é importante ressaltar que a escolha de um motor com grau de proteção inadequado pode acarretar acidentes com pessoas, redução drástica da vida útil do motor ou até mesmo a sua queima, já que o invólucro será incapaz de proteger as pessoas de possíveis contatos e o interior do motor de agentes externos.

2.1.4.1.11 Regime de serviço

Uma premissa importante no projeto de um motor elétrico é a regularidade à que ele vai ser submetido à determinada carga, essa premissa diz quanto de potência o motor deve fornecer, quais serão suas perdas e qual o estresse térmico que essa máquina vai sofrer durante seu regime de funcionamento.

Por essa razão a ABNT NBR 17094-1 padronizou 10 tipos de regime de serviço, apresentadas na Tabela 5, que servem de premissa aos fabricantes e orientam os técnicos e engenheiros na hora de escolher um motor adequado a uma determinada aplicação.

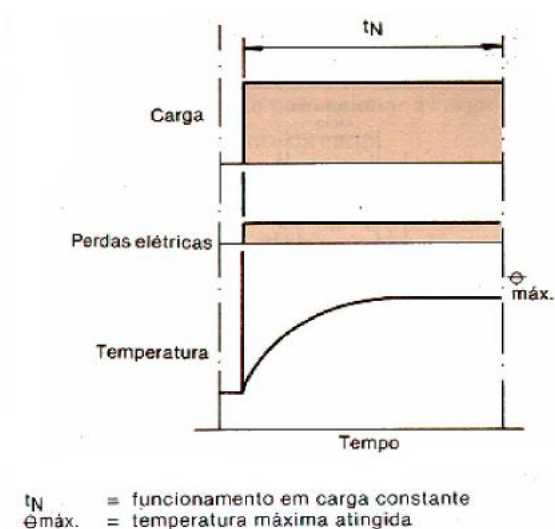
Tabela 5 - Características de cada regime de serviço

Regime Tipo	Características
S1	Regime contínuo.
S2	Regime de tempo limitado.
S3	Regime intermitente periódico.
S4	Regime intermitente periódico com partidas.
S5	Regime intermitente periódico com frenagem elétrica.
S6	Regime de funcionamento contínuo e periódico com carga intermitente.
S7	Regime de funcionamento contínuo e periódico com frenagem elétrica.
S8	Regime de funcionamento contínuo e periódico com mudanças correspondentes de carga e de velocidade.
S9	Regime com variações não periódicas de carga e de velocidade.
S10	Regime com cargas constantes distintas.

Fonte: PROCEL INDUSTRIAL (2009)

O motor da placa analisada tem o regime de serviço S1 que é o regime contínuo. Na Figura 7 são apresentadas as curvas de carga, perdas e temperatura para um motor em regime contínuo. Conforme apresentado na Figura 8 a potência e as perdas são constantes e o período de funcionamento é longo o suficiente para que o motor alcance o equilíbrio térmico. Além disso, nesse regime o motor fica desligado tempo suficiente para que alcance o equilíbrio térmico com o ambiente. Esse é o regime de serviço mais comum.

Figura 8 - Curvas de carga, perdas e temperatura do regime de serviço S1

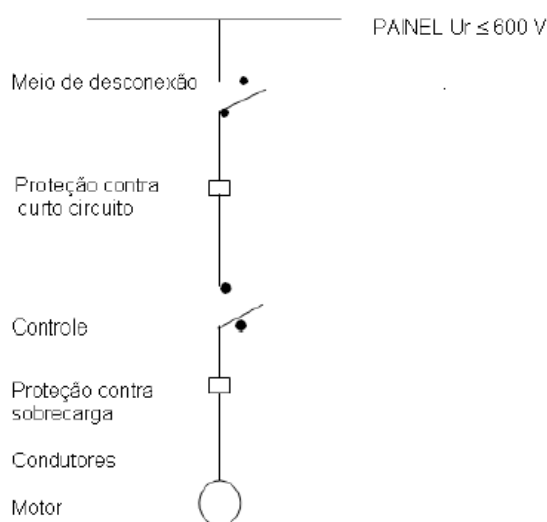


Fonte: PROCEL INDUSTRIAL (2009)

3 PROTEÇÃO DE MOTORES DE INDUÇÃO TRIFÁSICOS DE BAIXA TENSÃO

Os motores de indução de baixa tensão são comumente protegidos por disjuntores termomagnéticos ou fusíveis retardados contra curto-circuito e relés térmicos de sobrecarga associados à contadores para a proteção contra sobrecarga térmica, com estrutura básica apresentada na Figura 9, sendo reservado o uso de proteções mais elaboradas para motores de maior potência, como os motores isolados de média tensão (MAMEDE FILHO; RIBEIRO MAMEDE, 2013).

Figura 9 - Estrutura básica de comando e proteção de motores de baixa tensão.



Fonte: Bordignon (2014)

Essa estrutura básica de proteção para o MIT ganhou o reforço dos relés digitais, a medida que estes dispositivos tiveram redução substancial em seu tamanho, consumo de energia e preço houve o aumento na sua velocidade de processamento de dados. Além disso, para aplicações que demandam um maior número de motores a incorporação dos relés aos centros de controle de motores (CCM's) trouxe grandes melhorias no acionamento, controle e supervisão do sistema.

Com isso, apesar das evidentes vantagens dos relés digitais, a implementação e manutenção de sistemas de proteção com esses dispositivos exige uma mudança significativa no nível técnico dos profissionais que prestam esse serviço. Assim, serão apresentados os aspectos relevantes dos elementos de proteção e comando dos MIT, a estrutura básica do CCM e as principais funções de proteção.

3.1 Elementos De Comando, Manobra E Proteção

Acerca dos circuitos de comando e proteção do MIT, estes podem apresentar diversas configurações, porém, para que seu funcionamento seja efetivo todas elas devem contar com elementos de comando, manobra e proteção.

Assim, para o circuito de comando são utilizados diversos elementos, como por exemplo: botoeiras, chaves manuais, contatos auxiliares, relés temporizados e etc. Enquanto, que os circuitos de manobra de baixa tensão têm como principal elemento o contator. Já para os circuitos de proteção, deve ser empregado um elemento de proteção contra curto-circuito e um elemento de proteção de sobrecarga, sendo que os elementos utilizados para proteção contra curto-circuito são fusíveis e disjuntores e para sobrecarga o elemento básico é o relé sobrecarga bimetalico (TAQUES, 2016).

Vale acrescentar, que os relés bimetalicos vêm sendo palatinamente substituídos por relés microprocessados, que além da proteção contra sobrecarga apresentam outras funções de proteção. Apesar disso, é importante conhecer o princípio de funcionamento e as particularidades desse componente, tendo em vista que os relés digitais emulam o comportamento desse componente através de modelos térmicos.

3.1.1 Elemento De Comando

Em aplicações em baixa tensão o contator de potência é o principal dispositivo de manobra mecânica, com sua operação não manual e geralmente eletromagnética, esta se dá quando o contator recebe um comando elétrico. Cabe anotar, que o contator apresenta uma única posição de repouso, sendo capaz de estabelecer, conduzir e interromper correntes do circuito em condições normais e anormais (COTRIM, 2009).

Logo, os contadores são empregados em diversas aplicações, havendo assim uma grande variedade de dispositivos, sendo que eles são normalmente divididos em duas grandes classes: os alimentados em corrente contínua (CC) e corrente alternada (CA). Pra cada um destes, existem categorias de emprego, ou seja, classes com características voltadas para determinadas aplicações.

Na Tabela 6 abaixo são apresentados exemplos de algumas categorias de emprego e suas aplicações típicas, onde pode ser observado que para MIT com rotor tipo gaiola de esquilo deve ser usada a categoria AC-3.

Tabela 6 - Exemplo de categorias de emprego de contadores de baixa tensão

<i>Alimentação</i>	<i>Categoria de emprego</i>	<i>Aplicações típicas</i>
CC	DC-1	Cargas não indutivas ou pouco indutivas, (fornos de resistência).
	DC-3	Motores cc com excitação independente: partindo, em operação contínua ou em chaveamento intermitente. frenagem dinâmica de motores cc.
	DC-5	Motores cc com excitação série: partindo, em operação contínua ou em chaveamento intermitente. frenagem dinâmica de motores cc.
CA	AC-1	Manobras leves; carga ôhmica ou pouco indutivas (aquecedores, lâmpadas incandescentes e fluorescentes compensadas).
	AC-2	Manobras leves; comando de motores com anéis coletores (guinchos, bombas, compressores). Desligamento em regime.
	AC-3	Serviço normal de manobras de motores com rotor gaiola (bombas, ventiladores, compressores). Desligamento em regime.*
*A categoria AC - 3 pode ser usada para regimes intermitentes ocasionais por um período de tempo limitado como em set-up de máquinas; durante tal período de tempo limitado o número de operações não pode exceder 5 por minuto ou mais que 10 em um período de 10 minutos.		

Fonte: Módulo I treinamento WEG (2018)

Além da escolha correta da categoria do contator, a norma internacional IEC 60 947-4-1 estabelece que o contator deve ser especificado, levando-se em conta o nível de curto circuito no local de instalação e o tipo de coordenação desejado para este nível de curto-circuito.

Logo abaixo são apresentados os tipos de coordenação de partida protegida, sendo que estes critérios também se aplicam aos relés térmicos:

- a) Coordenação Tipo 1: O conjunto de partida, sob condição de curto, pode apresentar falha no contator e/ou no relé térmico, sendo necessário para operações futuras a substituição de um deles ou de ambos e o disjuntor ser rearmado. Apesar de ser tolerável a falha desses equipamentos, a falta não deve causar perigo a pessoas e equipamentos;
- b) Coordenação Tipo 2: O conjunto de partida, sob condição de curto, pode apresentar risco de falha apenas no contator, sendo este restrito ao risco de soldagem de seus contatos principais, uma vez que essa falha seja facilmente reparável, não comprometendo assim os serviços futuros. De mesmo modo, a falta não deve causar perigo a pessoas e equipamentos;
- c) Coordenação Total: O conjunto de partida sob condição de curto não deve ter nenhum de seus componentes danificados, permitindo o pronto reestabelecimento do serviço sem inspeção ou manutenção e garantindo a segurança de pessoas e equipamentos.

3.1.2 Elementos De Proteção: Fusíveis De Baixa

Na proteção contra os efeitos da sobrecorrente, principalmente , quando esta é oriunda de curto circuito de grande intensidade, se destaca o uso do fusível, tendo em vista, que o uso de disjuntores pode ter um alto custo. Assim, o fusível é amplamente utilizado na média e baixa tensão devido a sua simplicidade e baixo custo, tornando-se uma alternativa técnica e economicamente viável.

Segundo Cláudio S. Mardegan (2012, p. 218), o fusível “Constitui-se por um elemento condutor que se funde ao circuito, o que o interrompe quando a corrente atinge valores acima dos da sua capacidade normal. Podem ser retardados, rápidos, ultrarrápidos, limitadores de corrente etc”. Logo, devido à baixa complexidade de seu funcionamento existe uma gama de dispositivos empregados na proteção de sistemas elétricos com esse princípio de funcionamento.

A seguir, serão apresentadas as características gerais dos fusíveis e a sua utilização na proteção de motores de indução.

3.1.2.1 Tipos De Fusíveis

A norma DIN 57636 e VDE 0636 definem que os fusíveis de baixa tensão são classificados conforme a sua faixa de interrupção e a categoria de utilização. Essa classificação se dá através do uso de duas letras, conforme apresentado abaixo:

- a) Primeira letra: Indica para qual faixa de sobrecorrente o fusível é indicado. Essa faixa vai desde situações de sobrecorrente baixa, como por exemplo, durante uma sobrecarga até situações de sobrecarga muito elevada, como ocorre durante um curto-circuito. Os fusíveis podem ser de dois tipos, conforme essa classificação: fusíveis “g”, os quais atuam em situações de sobrecarga e curto-circuito, tendo capacidade de atuação em toda a faixa de sobrecorrente e fusíveis “a”, que atuam apenas em situações de curto-circuito, tendo capacidade de atuação em uma faixa parcial de sobrecorrente;
- b) Segunda letra: Indica as características de funcionamento do fusível ou para qual aplicação ele é recomendado. Os tipos mais comuns são L/G, fusíveis para cabos e linhas ou proteção de uso geral; D para fusíveis temporizados e M, sendo de fusível remendado para proteção motores.

Além disso, são exemplos de classificação de fusíveis: gL/gG, fusíveis para cabos e linhas ou proteção de uso geral, com capacidade de interrupção em toda faixa; aM fusíveis para proteção de motores, com capacidade de interrupção em faixa parcial e gM, fusíveis para proteção de motores, com capacidade de interrupção em faixa em toda faixa (TAQUES, 2016).

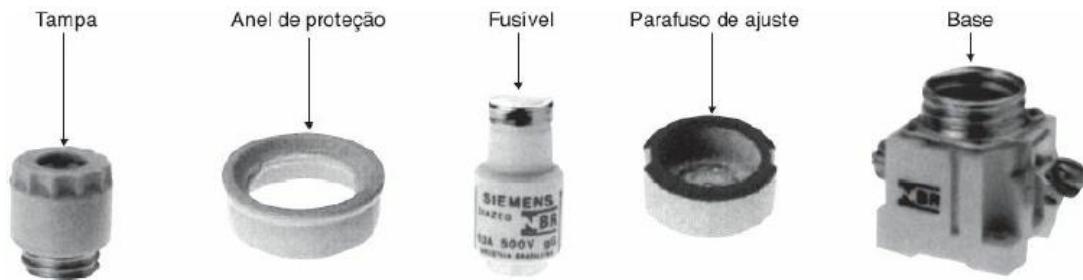
Além da classificação por faixa de atuação e categoria de utilização, os fusíveis são classificados quanto a sua velocidade de atuação, podendo ser: ultrarrápidos, rápidos, normais e retardados. Os fusíveis ultrarrápidos atuam em um curtíssimo intervalo de tempo, mesmo em situações de baixa sobrecorrente e são utilizados na proteção de componentes semicondutores. Também utilizados na proteção de componentes semicondutores, os fusíveis rápidos atuam em um curto intervalo de tempo, o suficiente para que atuem na limitação da corrente. Já, os normais atuam em intervalo de tempo mediano e são normalmente empregados na proteção de circuitos elétricos de baixa indutância. Por fim, os fusíveis retardados são empregados na proteção de cargas indutivas, como motores, por exemplo e atuam em um intervalo de tempo maior, permitindo a partida da carga a ser protegida (MATSUMI, 2018).

3.1.2.2 Fusíveis Utilizados Na Proteção De Motores De Indução

Os tipos de fusíveis comumente empregados na proteção de motores são o DIAZED e o NH, ambos são limitadores de corrente com classificação gL/gG, podem ser do tipo rápido ou retardo, sendo que para a proteção de motores são usados os do tipo retardado. Além disso, eles têm indicadores de atuação e obedecem a curvas de tempo x corrente, definidas pela curva de tempo médio de fusão x corrente do material que constitui o elemento fusível (MAMEDE, 2017).

Logo, os fusíveis Diazed são constituídos de tampa, anel de proteção, elemento fusível, parafuso de ajuste e base, conforme representado na Figura 10.

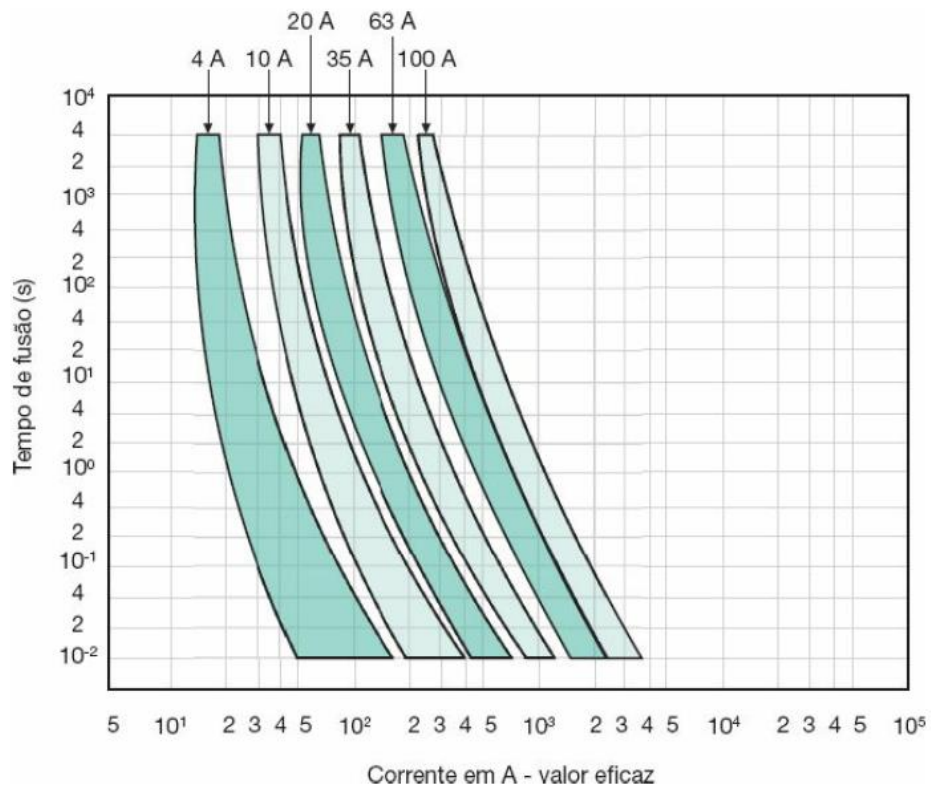
Figura 10 - Componentes dos fusíveis Diazed



Fonte: Mamede Filho (2017)

Além disso, esses fusíveis são normalmente fabricados com corrente nominal de dois, quatro, seis, dez, dezesseis, vinte, vinte e cinco, trinta e cinco, cinquenta e sessenta e três e cem amperes. Tais valores se justificam pelo fator econômico, já que para aplicações com corrente superior a esses valores seu uso torna-se demasiadamente dispendioso. Sua capacidade de interrupção para uma tensão máxima de 500 V é 70 KA. Na Figura 11 são mostradas as zonas de proteção para diferentes valores de corrente nominais.

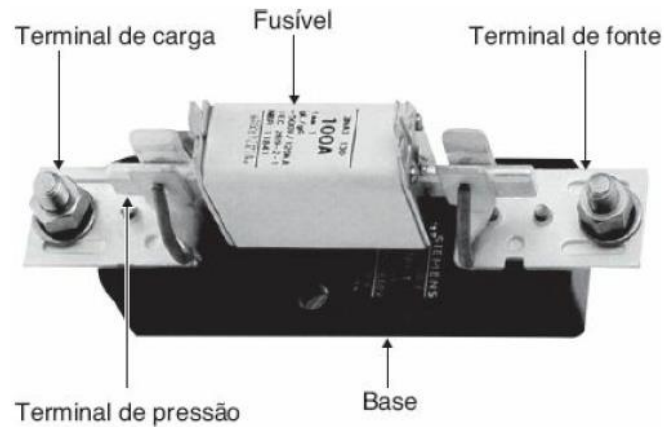
Figura 11 - Zonas de proteção para o fusível DIAZED



Fonte: Mamede Filho (2017)

Quanto aos fusíveis NH, estes são normalmente constituídos de base, terminal de carga, terminal de fonte e elemento fusível, conforme representado na Figura 12.

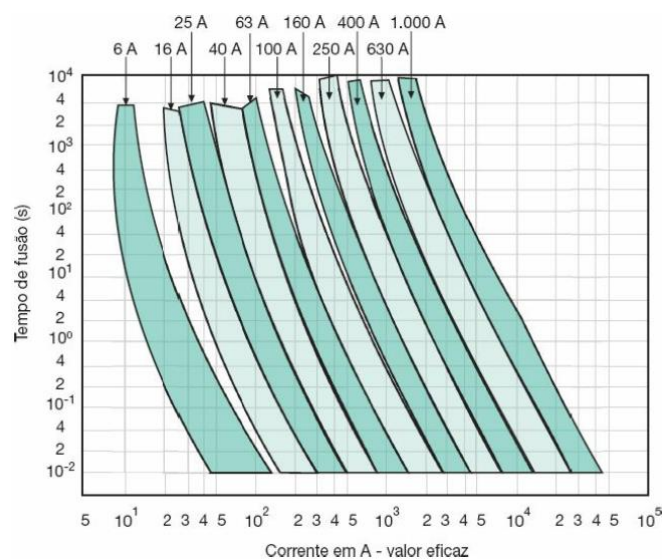
Figura 12 - Estrutura do Fusível NH



Fonte: Mamede Filho (2017)

Ademais, são normalmente confeccionados com correntes nominais que vão de 6 a 1000 amperes, conforme apresentado na Figura 13, sendo comumente usados em aplicações com correntes superiores a 63 A e também são mais econômicos que os DIAZEDES para essa faixa de corrente. Apresentam ainda, capacidade de interrupção superior a 70 kA quando submetidos a uma tensão máxima de 500 V (MAMEDE FILHO, 2017).

Figura 13 - Zonas de proteção do fusível NH



Fonte: Mamede Filho (2017)

Por fim, é importante ressaltar que os fusíveis não são elementos de proteção indicados para condição de sobrecarga, já que para intensidades de corrente em torno de 1,4 vezes a sua corrente nominal não se obtém resultados satisfatórios. Assim, esses dispositivos são indicados para a proteção contra correntes de curto circuito, ou ainda uma sobrecarga de rotor bloqueado, apesar de neste último se caracterizar como uma proteção pouco confiável (MAMEDE FILHO, 2017).

3.1.3 Elementos De Proteção: Disjuntores De Baixa Tensão

Assim como os fusíveis, os disjuntores são dispositivos empregados na proteção contra sobrecorrente, sendo um elemento que não necessita ser trocado após sua atuação e apresenta ainda, uma maior faixa de proteção, o que normalmente justifica seu maior custo de aquisição. Além disso, os disjuntores são classificados quanto ao seu tipo de disparo, tipo construtivo, categoria de utilização e classe de funcionamento.

Quanto ao tipo de disparo, os disjuntores apresentam dois tipos básicos: o térmico e o magnético, e ainda quando da junção dos dois disparos em um mesmo equipamento é obtido o disparo termomagnético. Os disjuntores puramente térmicos são indicados para proteção apenas contra sobrecarga, já os magnéticos são indicados para proteção de curto circuito e os termomagnéticos agregam as duas proteções em um só dispositivo (Mamede Filho, 2017).

Os disjuntores de baixa tensão são classificados quanto a sua forma construtiva em disjuntores abertos e disjuntores em caixa moldada, conforme apresentado na Figura 14. Os primeiros, também conhecidos como *Power Breakers*, tem sua carcaça aberta o que possibilita o acesso aos seus componentes internos, tornando possível a sua manutenção. No caso dos disjuntores em caixa moldada, também conhecidos como *Molded Case Circuit Breackers* (MCCB), tem sua carcaça formada por uma caixa isolante, impossibilitando o acesso aos componentes de seu interior e conseqüentemente a sua manutenção (Mardegan, 2012).

Figura 14 - Disjuntores em caixa aberta e caixa moldada



Fonte: Catálogo WEG (2018)

No que concerne os disjuntores em caixa aberta, apresentam uma faixa de corrente nominal e uma capacidade de interrupção de curto maior que os disjuntores em caixa moldada. Essas particularidades elétricas tornam o disjuntor aberto normalmente mais caro que o em caixa moldada, sendo o seu uso mais comum em aplicações industriais, enquanto que o disjuntor em caixa moldada é comumente utilizado tanto em aplicações industriais, como em painéis de CCM's e até em aplicações residenciais e comerciais (Bordignon, 2014).

No que diz respeito à categoria de utilização, classifica-se os disjuntores quanto a sua seletividade, ou seja, se eles apresentam ou não um retardo de atuação intencional em relação a outros disjuntores conectados em série com a carga. Na Tabela 7 são apresentadas de forma resumida as duas categorias dos disjuntores.

Tabela 7 - Categoria de utilização

<i>Categoria de Utilização</i>	<i>Adequação para Seletividade</i>
A	Disjuntores não especificadamente dimensionados para seletividade em condições de curto-circuito, instalados a montante de dispositivos contra curtos-circuitos conectados em série com a carga. Exemplo: Disjuntores sem retardo intencional de curta duração.
B	Disjuntores especificadamente dimensionados para seletividade em condições de curto-circuito, instalados a montante de dispositivos contra curtos-circuitos conectados em série com a carga. Exemplo: Disjuntores providos de retardo intencional de curta duração.

Fonte: Módulo I treinamento WEG, (2018)

Logo, os disjuntores apresentam três classes de funcionamento: *standart*, limitador e seletivo. O disjuntor *standart* tem a abertura de seus contatos pela ação de molas de abertura o que lhe confere uma limitação de sua velocidade de abertura. Já os disjuntores limitadores apresentam uma alta velocidade de operação o que lhe confere a capacidade de interromper a

corrente de curto-circuito antes que ela atinja seu valor máximo. Por fim, os disjuntores seletivos são aqueles que têm a capacidade de imprimir característica de seletividade ao circuito, sendo disjuntores de categoria B (MÓDULO I TREINAMENTO WEG, 2018).

Portanto, os disjuntores empregados na proteção do MIT são tanto *standart's* quanto limitadores, já que tem disparo termomagnético, ou seja, apresentam tanto um disparador térmico ajustável quanto um disparador magnético com ajuste que permita a partida do motor (MÓDULO I TREINAMENTO WEG, 2018).

3.1.4 Elementos De Proteção: Relés De Sobrecarga Bimetálico

Os relés de sobrecarga bimetálico são a opção mais simples e barata para proteger o MIT contra correntes de sobrecarga, sendo constituídos de um par de lâminas metálicas com diferentes coeficientes de dilatação, o que proporciona a abertura de contatos quando percorrido por uma corrente maior ou igual a sua corrente de ajuste, esses relés apresentam uma corrente nominal que pode ser ajustada dentro de uma determinada faixa de valores que depende do valor da corrente de sobrecarga e a natureza da carga a ser protegida. Além disso, são normalmente acoplados a contadores, que são os que efetivamente abrem o circuito. (MAMEDE FILHO, 2018).

Um aspecto relevante dos relés de sobrecarga é sua classe de disparo, definida na norma internacional IEC 60947-4-1 que estipula para cada classe uma faixa de tempo de atuação diferente. Essas faixas de tempo permitem que a sobrecorrente do transitório de partida dos motores não sensibilize o dispositivo, permitindo que o motor parta. Na Tabela 8 são apresentadas as faixas de atuação para cada classe.

Tabela 8 - Classes de disparo relés térmicos bimetálicos

<i>Classe de disparo</i>	<i>Tempo de atuação (Ta) [s]</i>
5	$2 \leq Ta \leq 5$
10A	$2 < Ta \leq 10$
10	$4 < Ta \leq 10$
20	$6 < Ta \leq 20$
30	$9 < Ta \leq 30$

Fonte: Adaptado da IEC 60947-4-1

Deste modo, o limite inferior das faixas de atuação indicam o menor tempo em que é assegurada a não atuação do relé e o limite superior é o tempo em que o relé atuará com

certeza. Cabe ainda ressaltar, que a tabela acima se refere a relés compensados, ou seja, relés que segundo a norma não devem sofrer variação nos seus parâmetros para uma faixa de temperatura de -20 °C a 80 °C. Por fim, cabe salientar que as classes de disparo também são utilizadas como referência nos relés digitais.

3.2 CCM

A norma ABNT NBR IEC 60439-1, estabelece os requisitos e ensaios para os conjuntos de manobra com tensão nominal até 1000 V em CA ou 1500 V em CC e frequência de até 1000 Hz. Nela é definido de forma genérica, ou seja, sem levar em conta o tipo de carga, o conjunto de manobra e controle de baixa tensão, como sendo a associação de (ABNT NBR IEC 60439-1, pag.5) “um ou mais dispositivos e equipamentos de manobra, controle, medição, sinalização, proteção etc., em baixa tensão, completamente montados, com todas as interconexões internas elétricas e mecânicas, e partes estruturais, sob a responsabilidade do fabricante”

Vale lembrar, que os fabricantes devem realizar ensaios que garantam que os conjuntos se comportem segundo os parâmetros definidos na norma. Os conjuntos podem ser : do tipo totalmente testados (TTA), onde suas características de desempenho são conferidas através de ensaios individuais de seus componentes (gavetas, barramentos, alimentadores e etc) e ensaios de todo o conjunto ou do tipo parcialmente testados (PPTA), onde apenas alguns componentes são obrigatoriamente ensaiados, sendo que algumas características de desempenho podem ser obtidos através de extrapolação matemática ou inferência com modelos similares (ABNT NBR IEC 60439-1, 2003)

Dentro desse escopo, os Centros de Controle de Motores em Baixa Tensão são conjuntos de manobra constituídos por uma estrutura em invólucro metálico que abrigam dispositivos de acionamento, manobra e proteção de motores de baixa tensão (COSTA, 2018). Na Figura 15 é apresentado um modelo de CCM da *Siemens*.

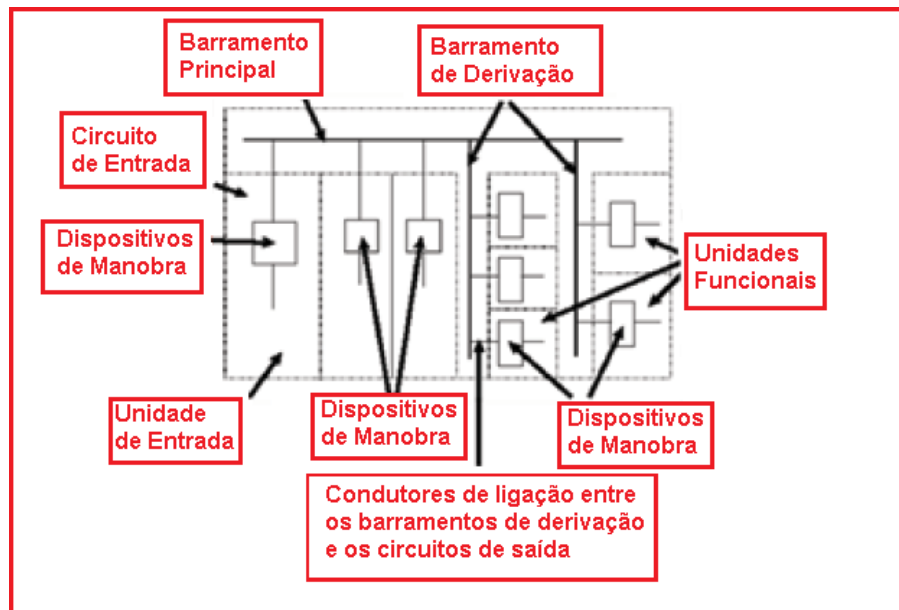
Figura 15 - CCM da Siemens



Fonte: Autor (2018)

Logo, os elementos básicos que compõem um CCM são: barramentos, dispositivos de manobra, condutores de interligação entre os barramentos e unidades funcionais (COSTA, 2018), conforme apresentado na Figura 16.

Figura 16 - Elementos básicos de um CCM.

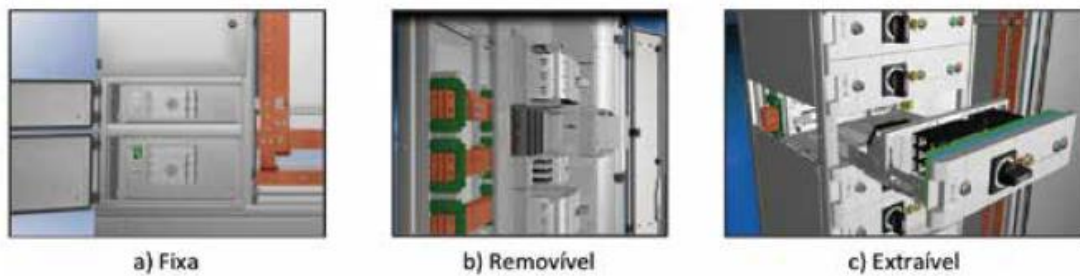


Fonte: Costa (2018)

Quanto a sua forma construtiva, os CCM's podem ser montados sem subdivisões ou com compartimentos. Para a configuração sem compartimentos os elementos de manobra, proteção e entre outros, de diferentes cargas são montadas em uma mesma estrutura, enquanto que na segunda configuração esses elementos são montados em compartimentos separados. Assim, esses compartimentos são as unidades funcionais, também conhecidas como gavetas, que podem ser do tipo fixa, removível ou extraível, conforme apresentado na Figura 17. As

unidades fixas são montadas sobre um suporte comum, sendo este alojado de forma fixa, enquanto as unidades funcionais removíveis podem ser totalmente removidas mesmo em situações em que o circuito principal esteja energizado, e finalmente, as extraíveis apresentam a possibilidade de serem desconectadas eletricamente do sistema ainda que permaneçam mecanicamente acopladas (ABNT NBR IEC 60439-1, 2003).

Figura 17 - Tipos de unidades funcionais de um CCM.



Fonte: Costa (2018)

As unidades fixas demandam maior tempo de intervenção para manutenção, com maior custo e maior exposição ao risco para quem as executa. Já os sistemas extraíveis, necessitam de um menor número de ferramentas para a troca de componentes, o que implica em menor tempo de parada e menor custo de manutenção. Além disso, por apresentar a possibilidade de desconexão elétrica sem a necessidade de desconexão mecânica é um sistema mais seguro para as pessoas (COSTA, 2018). Na Figura 18 é apresentado um comparativo dos requisitos e características de operação e manutenção entre os tipos de unidades funcionais.

Na figura 18 - Comparativo de requisitos e características entre unidades funcionais fixas, removíveis e extraíveis de um CCM de baixa tensão.



Fonte: Costa (2018)

Os CCM's, com unidades funcionais extraíveis são mais caros e necessitam de uma equipe de manutenção com maior qualificação. Apesar disso, o menor tempo de parada para

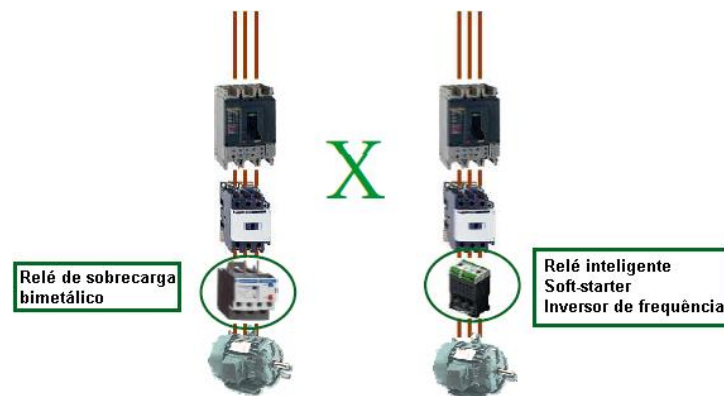
manutenção, a necessidade de menos ferramentas para a troca de seus componentes, a maior segurança para as pessoas e a possibilidade de uso de gavetas reservas em caso de falha de algumas das gavetas, tornam essa a opção mais utilizada atualmente. Vale ressaltar, que boa parte dessas vantagens vem dos intertravamentos elétricos e mecânicos das gavetas, que possibilitam as posições: inserida, teste e extraída, onde em nenhuma delas há possibilidade de abertura da porta com o circuito energizado, sendo necessário desligar o elemento de seccionamento, que normalmente é um disjuntor (CCM WEG, 2018).

Por fim, vale lembrar que independente do tipo de unidade funcional os CCM's são conjuntos de manobra que necessitam de elevado investimento para sua aquisição e mão de obra especializada para sua implementação e manutenção, o que torna sua utilização mais comum em determinados setores industriais, como por exemplo: mineração e cimento, alimentos e bebidas, químico, petroquímico, têxtil e siderúrgico. Assim, sua utilização se justifica nesses setores pela necessidade de acionamento de um grande número de motores, garantia da continuidade operacional, elevado nível de segurança para as equipes de operação e manutenção, instalação em locais acessíveis a pessoas não qualificadas e de constantes ampliações (CCM WEG, 2018).

3.2.1 CCMI

Os centros de controle de motores inteligentes de baixa tensão, CCMI's são conjuntos de manobra com as mesmas características básicas dos CCM's, tendo a substituição do relé de sobrecarga bimetalico por um relé inteligente, soft starter ou inversor de frequência, conforme representado na Figura 19, como a principal diferença entre os conjuntos de manobra. No conjunto de manobra com relé bimetalico a única função de proteção implementada é a de sobrecarga térmica enquanto que o uso de elementos microprocessados agregam várias funções de proteções tais como sobrecarga térmica, sobrecorrente, desequilíbrio de corrente, falta a terra e etc que normalmente não eram empregadas em motores de baixa tensão e funções de supervisão, acionamento e comunicação o que leva a uma redução do cabeamento utilizado para supervisão e registro do histórico de falhas, facilitando a identificação da causa da falha (APRESENTAÇÃO *Tesys T*, 2012).

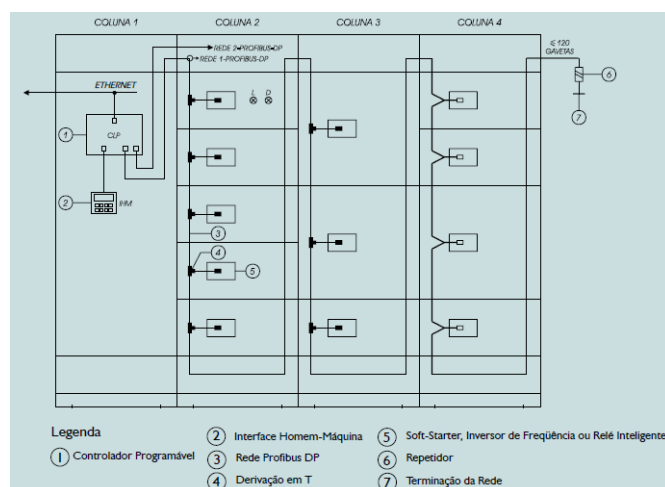
Figura 19 - Conjunto de manobra com relé bimetálico *versus* conjunto de manobra inteligente.



Fonte: Apresentação *TESYS T*, (2012)

Além das vantagens citadas, destaca-se ainda, um grande benefício adicional que o uso de dispositivos inteligentes oferece que é a comunicação via rede. Esses dispositivos podem se comunicar com um controlador lógico programável (CLP) através de protocolos de comunicação como o *Modbus*, *Profibus*, *DeviceNet* e etc, permitindo que as equipes de operação e manutenção acessem seus dados através de uma interface homem máquina (IHM) instalados no próprio CCMI, ou por computadores instalados no CCMI ou em salas de controle. Assim, as principais vantagens trazidas por essa configuração são: controle e supervisão da planta via softwares supervisores, geração de estatísticas de falhas e ajuste remoto dos dispositivos (CCM WEG, 2018). Na Figura 20 é apresentado o exemplo de um esquemático de um CCMI com rede PROFIBUS.

Figura 20 - CCMI com rede Profibus.



Fonte: CCM WEG (2018)

Por fim, vale ressaltar que o conjunto de características dos CCMI's proporciona uma mudança significativa na atuação das equipes de manutenção, já que há uma redução considerável no tempo de parada dos equipamentos, havendo a localização e o diagnóstico das falhas de forma ágil e segura, tendo como consequência a resolução do problema com maior precisão.

3.3 Relés Inteligentes

Os relés inteligentes são dispositivos microprocessados que desempenham funções de acionamento, medição, monitoramento e proteção. Além de agregarem tais funções, estes dispositivos ainda possuem capacidade de comunicação via rede, tornando-se elemento central nos sistemas de gerenciamento de motores elétricos de baixa tensão (CCM WEG, 2018).

O relé inteligente utilizado neste trabalho foi *Tesys T* da *Schneider Electric*, conforme apresentado na Figura 21, é atualmente um dos relés inteligentes mais utilizados em aplicações industriais de baixa tensão. Isso se deve, a sua facilidade de montagem, tamanho compacto e por apresentar um valor de aquisição competitivo quando comparado a outros modelos. Apresenta ainda, múltiplas funções de proteção, medição e monitoramento, podendo ser utilizado para motores monofásicos e trifásicos (Manual *TESYS T*, 2018).

Figura 21 - Relé inteligente de baixa tensão *Tesys T*



Fonte: Apresentação *TESYS T* (2012)

Assim, o relé *Tesys* é composto basicamente por um controlador modelo LTM R, módulo de expansão modelo LMT E (caso seja necessário) e o módulo IHM modelo LTMCU. Além disso, apesar de vir acoplado ao próprio controlador um transformador de corrente (TC) tipo janela para a medição das correntes de fase, ainda há a possibilidade do uso de um TC toroidal para a medição de correntes de fuga a terra (Manual *Tesys T*, 2018). O módulo de expansão e o módulo IHM são apresentados na Figura 22.

Figura 22 - Módulo de expansão e módulo IHM do relé inteligente *Tesys T*



Fonte: Apresentação *TESYS T* (2012)

Outras características importantes de se ressaltar são: disponibilidade de alimentação tanto em CC quanto em CA, apresenta entradas digitais e analógicas, tem modelos com diferentes faixas de medição de corrente e diversos protocolos de comunicação (*Modbus, Profibus, DeviceNet, CANopen e Ethernet TCP/IP*). Ademais, destaca-se que seu software de parametrização, o *SoMove*, ao contrário de muitos encontrados no mercado não necessita de licença para sua utilização (MANUAL *TESYS T*, 2018).

Por fim, vale salientar que este relé apresenta funções de proteção e sinalização de corrente, tensão e potência, sendo apresentadas na Tabela 9 as funções de proteção do *Tesys T*.

Tabela 9 - Funções de proteção *Tesys T*.

<i>Parametro elétrico medido</i>	<i>Funções</i>
<i>Corrente</i>	Sobrecarga térmica
	Subcorrente
	Sobrecorrente
	Sensor de temperatura
	Falta à terra (interno ou externo)
	Desequilíbrio de corrente
	Falta de fase
	Inversão de fase
	Rotor bloqueado
	Partida Longa
Partida frequente	
<i>Tensão</i>	Sobretensão
	Subtensão
	Controle da tensão de carga
<i>Potência</i>	Tensão de fase (desequilíbrio, perda e sequência)
	Subpotência ativa
	Subpotência ativa
	Subfator de potência
	Sobrefator de potência

Fonte: Adaptado Manual *TESYS T* (2018)

A seguir, serão explorados os aspectos gerais das funções de proteção destacados na figura acima e como o relé *Tesys T* implementa essas funções.

3.3.1 Funções De Proteção: Função De Sobrecarga Térmica – ANSI 49

Observa-se, como causa comum da degradação prematura do isolamento das bobinas do estator de um MIT e consequente redução de sua vida útil, a sua operação em condição de sobrecarga térmica. Essa condição ocorre quando é exigida do motor uma potência acima da qual ele foi projetado para operar. Desta forma, a classe de isolamento, o fator de serviço, o tempo de partida, o tempo de rotor bloqueado e as curvas de partida e de capacidade térmica são essenciais na caracterização da região segura de operação do motor.

Na Figura 23 é apresentado o estado físico do enrolamento de um motor trifásico após a queima por sobrecarga térmica.

Figura 23 - Queima por sobrecarga térmica.



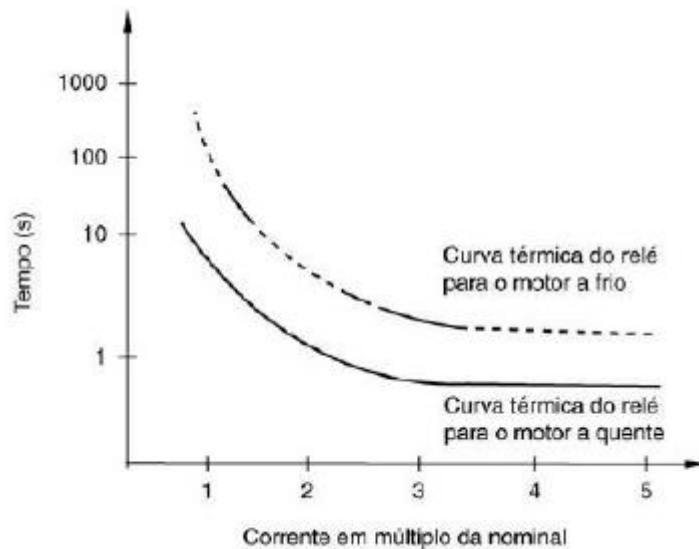
Fonte: Fascículo WEG (2018)

Assim, para cada tipo de classe de isolamento é indicado uma temperatura ambiente máxima de operação do motor e o acréscimo máximo de temperatura que o motor pode ser submetido. Considerando, que o motor tenha sido especificado de forma correta para as condições de altitude e temperatura ambiente do local de instalação e funcione dentro das suas condições nominais de tensão e frequência, o fator de serviço será um fator fundamental para determinar se o motor estará ou não funcionando dentro das condições adequadas de sua classe de isolamento, já que este fator indica em função da potência nominal qual a máxima potência que o motor pode fornecer durante um período contínuo de tempo de funcionamento,

sendo este tempo determinado pelo tempo de rotor bloqueado do motor (MAMEDE FILHO; RIBEIRO MAMEDE, 2013).

Outra forma de determinar o limite de operação é através das curvas de capacidade térmica e curva de partida. As curvas de capacidade térmica são curvas de tempo *versus* múltiplo da corrente nominal do motor, também conhecidas como curva a “quente” e para o motor partindo do repouso, curva a “frio”, que indicam qual a corrente máxima que o motor pode suportar em um determinado período de tempo sem que a isolação do motor sofra com o estresse térmico (Mamede Filho; Ribeiro Mamede, 2013). Na Figura 24 são apresentadas as curvas de um motor a quente e a frio implementada em um relé. Já a curva de partida, indica o período de transitório da corrente do motor durante a partida, sendo também uma curva de tempo *versus* corrente, ela mostra o pico de corrente alcançada durante a partida, sendo que esta deve ser desconsiderada por esta função de proteção, tornando possível a partia do motor. Na Figura 24 é apresentada as curvas do motor a frio e a quente implementadas em um relé.

Figura 24 - Curvas térmicas do relé para o motor a frio e a quente.



Fonte: Mamede filho; Ribeiro Mamede (2013)

Esses dados servem de subsidio para o ajuste da função de 49 que é responsável por atuar em caso de sobrecarga térmica, evitando que a temperatura interna do motor ultrapasse o limite definido pela classe de isolamento, podendo apresentar a configuração com curva de tempo definido ou curva inversa.

Na configuração com curva de tempo definido o ajuste da corrente de atuação e tempo de atuação podem ser feitos como indica a Equação 10 e 11.

$$I_{49} = FS \cdot I_N \quad (10)$$

$$T_P < T_{49} < T_{RE} \quad (11)$$

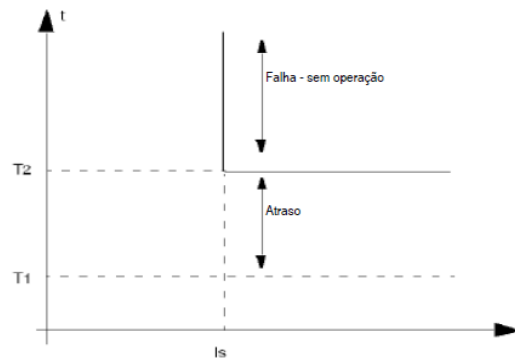
Logo, a recomendação para o valor da corrente de ajuste (I_{49}) é que ela seja obtida multiplicando a corrente nominal do motor (I_N) pelo fator de serviço (FS), conforme demonstrado na expressão 1, sendo uma postura conservadora adotar a corrente nominal como limite. Já o tempo de ajuste, deve ser escolhido de tal forma que permita a partida do motor, ou seja, um tempo de ajuste maior que o tempo de partida (T_P) e menor que o tempo de rotor bloqueado (T_{RE}), podendo ainda ser utilizada a curva de capacidade térmica do motor, sendo escolhido um tempo que garanta a partida do motor e fique abaixo da curva (MARDEGAN, 2012).

Já no caso da utilização de curva inversa, a postura mais adequada é fazer uso das curvas de partida e de capacidade térmica, onde a curva de proteção do motor deve ficar acima da curva de partida, permitindo assim que o motor entre em regime e abaixo da curva de capacidade térmica. Essas curvas são normalmente apresentadas nos manuais dos motores ou podem ser solicitadas junto aos fabricantes (MARDEGAN, 2012).

No *Tesys T* é possível implementar a função de duas formas diferentes, podendo ser feita através de uma configuração de tempo definido ou através de uma configuração de uma curva inversa, onde ambas só atuam quando o motor entrar em regime, ou seja, após o transitório de partida do motor.

A configuração de tempo definido utiliza uma curva de tempo *versus* corrente, onde o tempo definido representa o atraso de atuação da função para um determinado valor de corrente, que também é configurado. Na Figura 25 é apresentada a estrutura básica de uma curva de tempo definido, onde o parâmetro T1 representa o tempo necessário para o motor partir, sendo esse dado definido na proteção de partida longa. Após o tempo T1, qualquer corrente com valor acima da corrente de atuação representado no gráfico por I_s , o relé conta um tempo T2 – T1, cujo valor T2 é previamente configurado, para só depois enviar o comando de abertura para o contator (MANUAL TESYS T, 2018).

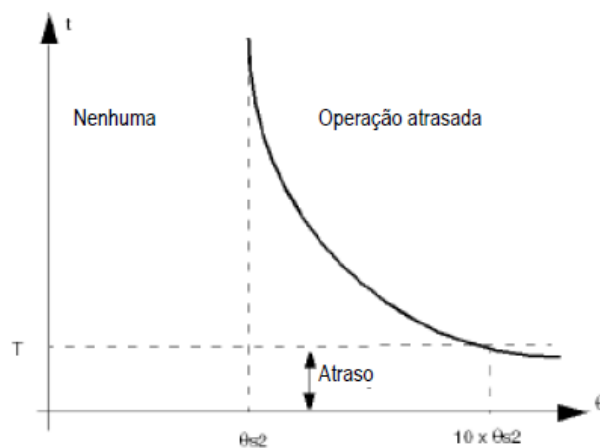
Figura 25 - Curva de tempo definido *Tesys T*.



Fonte: Manual TESYS T (2018)

Quanto à atuação por curva inversa, o *Tesys* utiliza uma curva de tempo *versus* capacidade térmica como base para a execução da função, conforme apresentada na Figura 26.

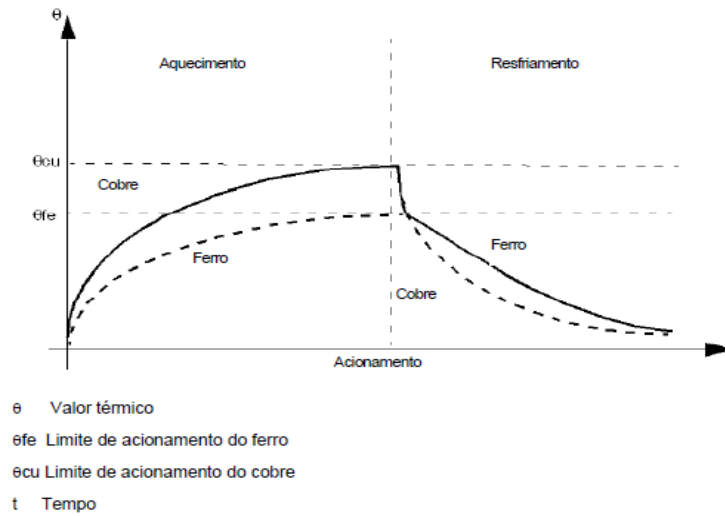
Figura 26 - Curva de tempo inverso *Tesys T*



Fonte: Manual *TESYS T* (2018)

Assim, o valor da capacidade térmica é obtido através de um modelo térmico do motor, que considera o comportamento térmico do cobre e do ferro. No modelo são combinadas duas imagens térmicas, uma do cobre que representa o comportamento térmico dos enrolamentos do rotor e do estator e uma do ferro que retrata o estado térmico da carcaça e demais acessórios do motor, onde o controlador considera durante o acionamento a curva do cobre e durante o período que o motor está desligado à curva do ferro, conforme apresentado na Figura 27 (MANUAL TESYS T, 2018).

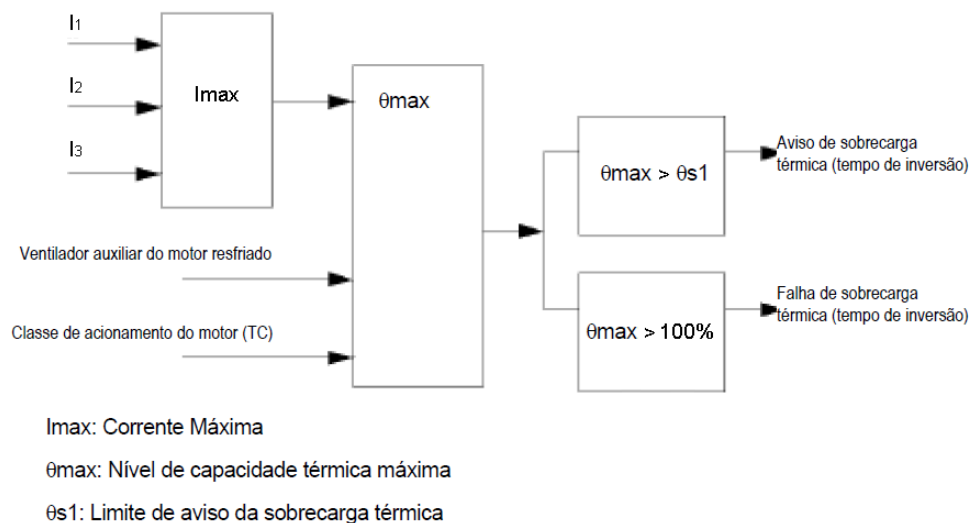
Figura 27 - Modelo térmico para o motor.



Fonte: MAnual *TESYS T* (2018)

Durante o funcionamento em regime o controlador incrementa o parâmetro capacidade térmica, que indica a capacidade térmica utilizada de acordo com a maior corrente medida na carga, a classe de acionamento do motor e a existência ou não de ventilação auxiliar. Caso o nível de capacidade térmica ultrapasse o limite estipulado para aviso (θ_{s1}) o relé enviará um sinal de aviso de sobrecarga, enquanto que se exceder 100% da capacidade térmica durante o período de tempo determinado na curva inversa o relé enviará um sinal de comando para o contator abrir o circuito (Manual *TESYS T*, 2018). Na Figura 28 é apresentada a lógica de atuação da função 49.

Figura 28 - Lógica de funcionamento função de sobrecarga térmica Tesys T.



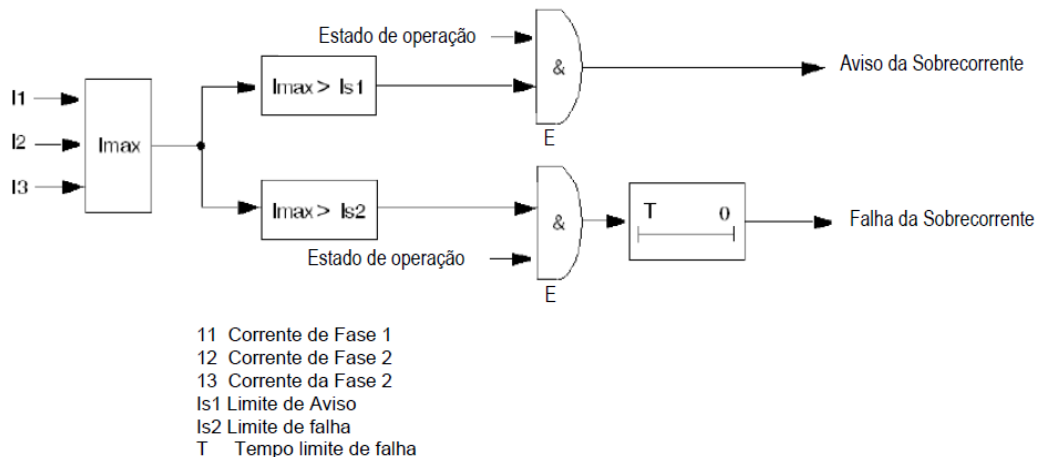
Fonte: Manual *TESYS T* (2018)

3.3.2 Funções De Proteção: Função De Sobrecorrente Temporizada– ANSI 51

É uma função utilizada para proteção contra sobrecorrentes através de uma curva de tempo definido. Vale ressaltar, que as sobrecorrentes oriundas de curto-circuito não são protegidas por essa função, mas sim por disjuntores e fusíveis. A importância dessa função em aplicações de baixa tensão que contam com proteção térmica, como é o caso do *Tesys T*, deve-se a possibilidade de criação de zonas de proteção com diferentes tipos de curvas, inversa (proteção térmica) e de tempo definido (sobrecorrente), e ajustes.

Na Figura 29 é apresentada a lógica de funcionamento da função de sobrecorrente no *Tesys T*, nela pode ser observado que o valor máximo entre as três fases (I_{max}) é comparado com as correntes previamente ajustadas para aviso (I_{s2}) e atuação (I_{s1}). Além disso, no caso da atuação do relé pode ser ajustado um tempo de atraso (T).

Figura 29 - Lógica de funcionamento função de sobrecorrente temporizada Tesys T.



Fonte: Manual *TESYS T* (2018)

3.3.3 Funções De Proteção: função De Falta A Terra Temporizada – ANSI 51gs

A função 51GS é sensibilizada por correntes de sequência zero, mais conhecidas por correntes de fuga a terra que energizam a carcaça dos MIT's e são oriundas de defeitos na isolamento em estágio inicial. Essa proteção é um importante recurso para segurança de pessoas, já que a corrente de fuga mesmo que normalmente seja de pequeno valor, representa um risco potencial de choque para os operadores (Mamede Filho; Ribeiro Mamede, 2013).

Os valores recomendados para os ajustes da corrente de atuação e tempo de atuação são apresentados nas Equações 12 e 13.

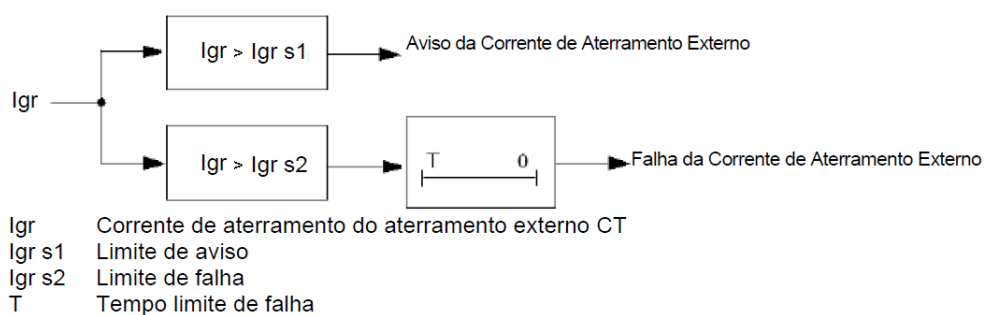
$$I_{51GS} = 0,2 \cdot I_N \quad (12)$$

$$T_{51GS} = 400 \text{ ms} \quad (13)$$

Para sistemas com o neutro do transformador solidamente aterrado e cujo dispositivo de manobra seja um contator é preferível que essa função seja bloqueada, devido o risco de explosão dos contadores em caso de curto-circuito de grande magnitude, deixando essa proteção a cargo dos fusíveis. Caso o sistema tenha o neutro do transformador aterrado por resistência, conforme demonstrado nas Equações 12 e 13, recomenda-se para a corrente de ajuste (I_{51GS}) o valor de 20% da corrente nominal do motor, enquanto que o tempo de atuação (T_{51GS}) de 400 ms ou um valor que apresente coordenação com dispositivos a montante, geralmente determinados por estudos de proteção específicos para esse fim, como: fusíveis, disjuntores e relés de proteção de fuga a terra para a proteção do CCM (Mardegan, 2012).

Quanto ao *Tesys T*, a função 51GS é executada conforme demonstrado na Figura 30, sendo feita através da comparação do valor médio da corrente de sequência zero (I_{gr}) é as correntes previamente ajustadas para aviso (I_{grs1}) e atuação (I_{grs2}). Além disso, no caso da atuação por falta a terra pode ser ajustado um tempo de atraso (T) (MANUAL TESYS T, 2018).

Figura 30 - Lógica de funcionamento função de falta a terra temporizada Tesys T.



Fonte: Manual *TESYS T* (2018)

3.3.4 Funções De Proteção: função De Rotor Bloqueado Após A Partida – ANSI 51lr

Verifica-se, que o caso extremo de sobrecarga que um motor pode ser submetido é quando este, operando em sua frequência e tensão nominal é sujeito a um bloqueio mecânico

do seu rotor, causando a queima em um curtíssimo espaço de tempo, conforme apresentado na Figura 31.

Figura 31 - Queima por rotor bloqueado.



Fonte: Fascículo WEG (2018)

A função 51LR é a função responsável por proteger o motor, quando este opera em regime, dos efeitos danosos de um bloqueio mecânico. Os valores recomendados para os ajustes da função de rotor bloqueado após a partida são apresentados nas Equações 14 e 15.

$$I_{51LR} < (1,5 \text{ a } 2) \cdot I_N \quad (14)$$

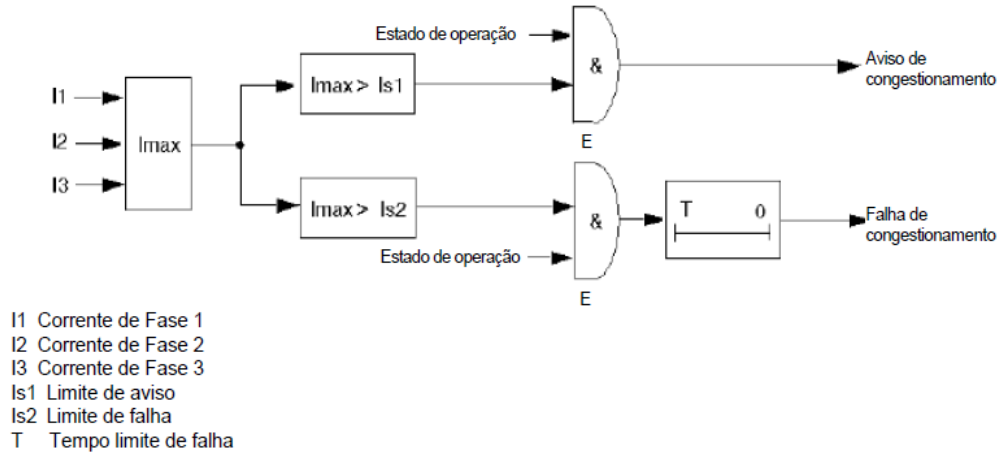
$$T_{51LR} = 2 \text{ s} \quad (15)$$

A expressão 4 estabelece um valor para a corrente de ajuste (I_{51LR}) de 150 a 200% o valor da corrente nominal do motor e um tempo de atuação (T_{51LR}) de 2 s (Mardegan, 2012). Caso o relé apresente outras funções de tempo definido, como por exemplo, a função 51 é possível a utilização das duas funções para a criação de zonas de proteção com diferentes ajustes de corrente e tempo, com a função de rotor bloqueado com uma corrente de ajuste maior, mas com um tempo mais restritivo, desde que as demais funções protejam o motor na faixa de corrente restante e fiquem sempre abaixo da curva de capacidade térmica. De forma, que esse conceito será explorado de forma mais clara na aplicação prática.

Já no relé *Tesys T* essa função é denominada função de congestionamento ou *mechanical Jam*, tendo sua implementação, conforme demonstrado na Figura 32 através da comparação do valor máximo dentre as correntes de carga do motor (I_{max}) para um determinado instante com o valor de ajuste para o aviso (I_{s1}), de modo que no último caso o

valor da corrente média deve permanecer acima do ajuste para falha por um intervalo de tempo configurado no atraso (T) para só então o relé acionar a falha (Manual Tesys T, 2018).

Figura 32 - Lógica de funcionamento função de rotor bloqueado em regime Tesys T.



Fonte: Manual *TESYS T* (2018)

3.3.5 Funções De Proteção: função Falta De Fase Ou Desequilíbrio De Corrente

– ANSI 46

Nas instalações industriais é comum se verificar no ponto de alimentação dos motores um desequilíbrio de tensão entre as fases. Esse fenômeno pode ter origem na rede da concessionária, principalmente quando a instalação é alimentada da rede de distribuição ou pode ter origem na própria instalação, tendo como causa a combinação de cargas monofásicas e trifásicas, transformadores conectados em delta aberto, abertura de fusíveis em banco de capacitores e etc. (PAULILO, 2018)

Nas tensões de linha desequilibradas, apresentam variações no módulo e ângulo de fase, causando a deformação do campo magnético girante dos motores, já que o campo girante é resultado da combinação dos campos de sequência positiva e negativa, sendo que essa sequência positiva não sofre alterações em situação de desequilíbrio das tensões. Enquanto que o campo de sequência negativa passa a se opor ao primeiro, deformando assim, o campo magnético do motor. Além disso, devido às impedâncias de sequência negativa apresentarem valores muito reduzidos, o desequilíbrio de corrente resultante é bastante elevado. (PAULILO, 2018)

Logo, um desequilíbrio de 1% das tensões gera um desequilíbrio nas correntes do MIT de 7,5 a 8,5% a plena carga e 12,5 a 15% em vazio, o que acarreta: significativo aumento do

consumo de energia, redução da potência disponível na ponta do eixo e elevação de sua temperatura, resultando em severa redução de sua vida útil. Um desequilíbrio nas tensões de 3,5% pode elevar as perdas do motor em 20% e desequilíbrios superiores a 5% podem ocasionar superaquecimento e queima do motor, conforme apresentado na Figura 33 (REZENDE; SAMESIMA, 2018).

Figura 33 - Queima por desequilíbrio de fase



FONTE: Fascículo WEG (2018)

Ressalta-se, que a função 46 é a função responsável por proteger o motor dos efeitos danosos do desequilíbrio de corrente e de seu caso extremo, que é a perda de uma fase. Os valores recomendados para os ajustes da função de desequilíbrio de corrente são apresentadas nas Equações 16 e 17.

$$I_{46} < 0,15 \cdot I_N \quad (16)$$

$$T_{46} = 3,5 \text{ s} \quad (17)$$

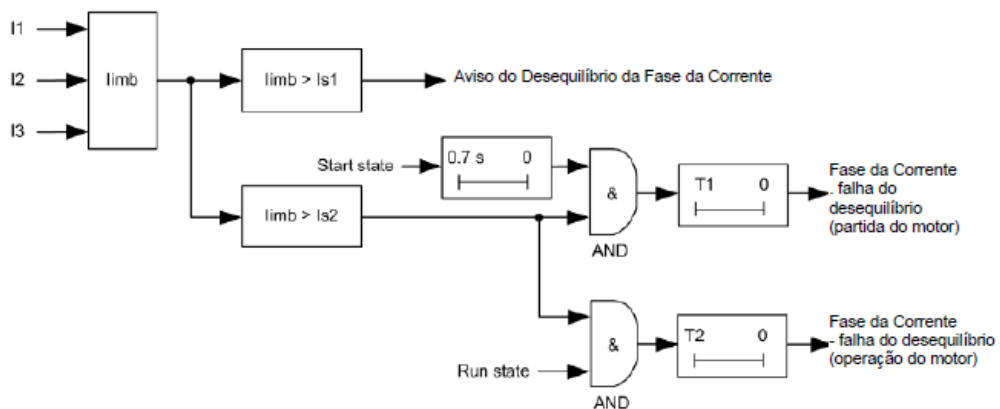
A Equação 16 estipula que o valor da corrente de ajuste (I_{46}) seja menor que 15% do valor da corrente nominal do motor, já que esse percentual é alcançado quando há a perda de uma fase. Esse valor corresponde a um desequilíbrio percentual de 25% entre as correntes das três fases, Já para o ajuste do tempo de atraso (T_{46}) é recomendado 3,5 s, podendo adotar um valor menor caso se deseje um ajuste mais conservador (MARDEGAN, 2012).

O relé T_{sys} apresenta duas configurações distintas para a função 46, uma dedicada ao desequilíbrio de corrente e outra a seu caso particular a perda de fase.

Na configuração de desequilíbrio de fase, conforme apresentado na Figura 34, o relé calcula em termos percentuais quanto tem o desequilíbrio entre as fases (I_{imb}) e caso esse valor seja maior que o percentual de ajuste de aviso (I_{s1}) será imediatamente emitido um aviso de desequilíbrio, caso esse item tenha sido habilitado. Já no caso da atuação, esta pode ser dividida em duas situações: durante a partida e em regime. Para a atuação durante a partida o percentual de desequilíbrio das fases deve ser maior que o percentual de ajuste de falha (I_{s2}) e a partida deve ter sido efetuada a 0,7s, evitando o pico de corrente do transiente de partida, o que poderia levar a uma atuação inadequada. Além disso, pode ser configurado um atraso ($T1$) para só então o relé emitir o sinal de falha (MANUAL TESYS T, 2018).

Já durante o regime, também apresentado na Figura A, a proteção atuará caso o valor do desequilíbrio das fases (I_{imb}) permaneça maior que o percentual de ajuste de falha (I_{s2}) durante o tempo de ajuste ($T2$) (MANUAL TESYS T, 2018).

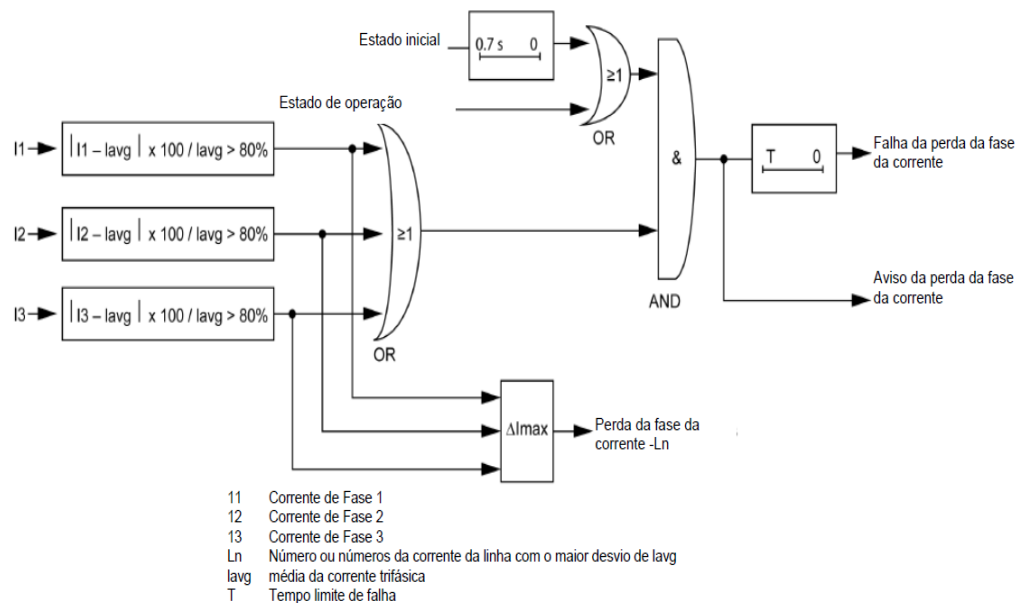
Figura 34 - Lógica de funcionamento função de desequilíbrio de corrente



Fonte: Manual *TESYS T* (2018)

Por fim, é apresentado na Figura 35 como é a lógica da função de perda de fase no *Tesys*. Inicialmente o relé calcula o desvio percentual de cada uma das fases em relação ao valor médio das fases, através do módulo da subtração do valor de cada fase pelo valor médio das fases (I_{avg}) e posterior divisão pelo valor médio das fases. Caso esse desvio seja maior que 80% em pelo menos uma das fases e já tenha decorrido 0,7s após a partida ou o controlador já tenha recebido o sinal do estado de operação confirmando que o motor está em regime, o relé emitira um sinal de perda de fase, caso esteja habilitado o aviso, e após um tempo de atraso ajustável (T) emitirá o sinal de falha (MANUAL *TESYS T*, 2018).

Figura 35 - Lógica de funcionamento função perda de fase



Fonte: Manual *TESYS T* (2018)

3.3.6 Funções De Proteção: função De Rotor Bloqueado Na Partida – ANSI 48

Uma das situações de maior estresse térmico para o motor ocorre na sua partida, já que o motor absorve da rede um valor elevado de potência aparente, com significativa parcela de potência reativa que é usada para a formação do campo magnético do motor, o que faz com que este apresente um fator de potência na partida em torno de 0,3 e uma absorva uma corrente de valor elevado, o que resulta em um forte incremento na temperatura tanto do estator quanto do rotor. (MAMEDE FILHO; RESENDE MAMEDE, 2013)

Assim, caso o motor não tenha torque suficiente para superar o conjugado da carga a velocidade do motor vai a zero e o motor permanece absorvendo da rede a corrente de partida e conseqüentemente sofrendo um grande estresse térmico, tendo a função 48, proteção contra rotor bloqueado na partida, como responsável por evitar que o motor queime. Os valores recomendados para corrente de ajuste e tempo de atuação são apresentados nas Equações 18 e 19, respectivamente.

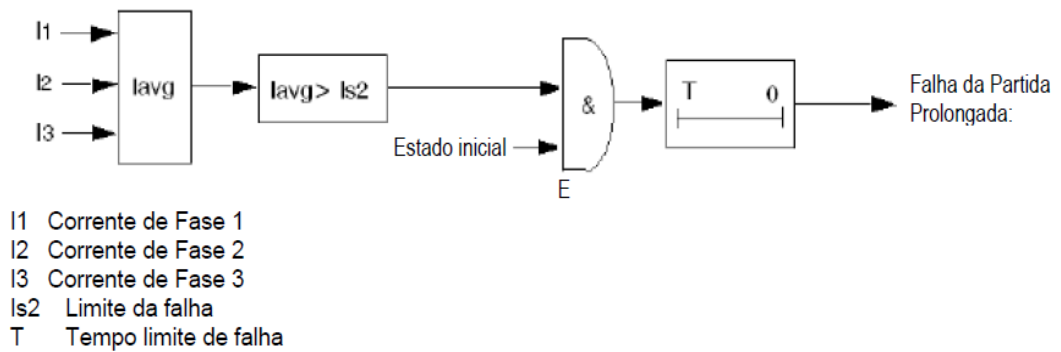
$$I_{48} = (1,5 \text{ a } 2) \cdot I_N \quad (18)$$

$$1,1 \cdot T_P < T_{48} < T_{RB} \quad (19)$$

A Equação 8 determina que o valor da corrente de ajuste (I_{48}) seja definido entre 150 e 200% da corrente nominal (I_N) do motor, enquanto que para o ajuste do tempo de atuação (T48) é recomendado um valor maior que tempo de partida do motor multiplicado por 1,1 afim de garantir que o motor tenha tempo suficiente para partir e menor que o tempo de rotor bloqueado do motor (MARDEGAN, 2012).

Lembrando, que o relé *TeSys* executa a função 48, conforme apresentado na Figura 36, através da comparação do valor médio das correntes de carga do motor (I_{avg}) para um determinado instante com o valor de ajuste de falha (I_{s2}), sendo que o valor da corrente média deve permanecer acima do ajuste para falha por um intervalo de tempo (T) para que o relé acione a condição de falha (MANUAL *TESYS T*, 2018).

Figura 36 - Lógica de funcionamento função rotor bloqueado na partida



Fonte: Manual *TESYS T* (2018)

4 ESTUDO DE CASO

O estudo de caso consiste em um projeto de ajuste das proteções elétricas realizada em uma das plantas de despoeiramento da Aciaria de uma indústria siderúrgica.

A aciaria é a unidade produtiva onde o ferro gusa é transformado em aço líquido. Durante esse processo são emitidos gases e particulado que se lançados na atmosfera tem potencial de causar graves danos ambientais e a saúde humana. Uma forma de mitigar a emissão de particulado é através do uso de sistemas de despoeiramento, também conhecidos como *Bag Filters*, que são responsáveis por filtrar o particulado.

Assim, a unidade cujos motores foram reajustados é um sistema de despoeiramento com filtro de manga e é o responsável por filtrar os gases provenientes do desgaseificador a vácuo (RH) e do forno panela (LF), conforme apresentado na Figura 37. Os motores de baixa tensão desse sistema são responsáveis pelo acionamento do sistema de esteiras helicoidais, usadas para o transporte do pó, válvulas rotativas, destinadas ao descarte do pó de forma controlada e vibradores, que são responsáveis por evitar o acúmulo de pó.

Figura 37 - Unidade de despoeiramento Aciaria

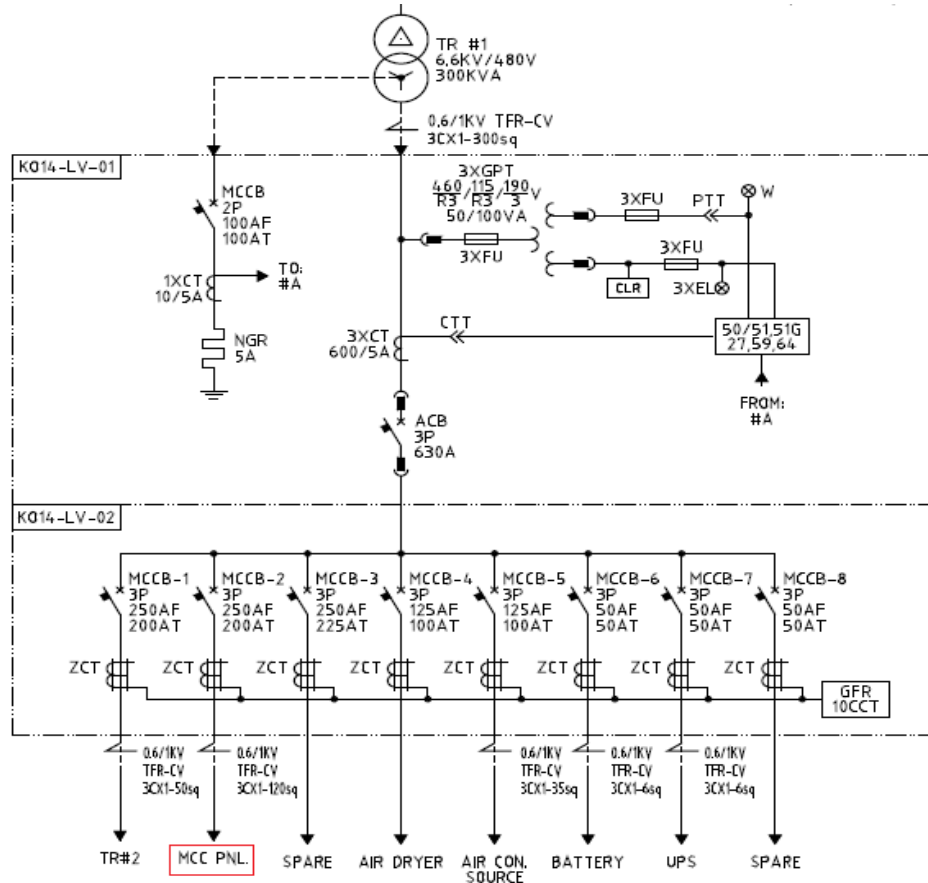


Fonte: Autor (2018)

Quanto ao CCMI, este é da linha *blokset* da *Schneider*, é alimentado por um transformador de 300 kVA com relação de transformação de 6,6k/480 V com ligação em delta-estrela aterrado por alta impedância. Além disso, a proteção do alimentador do CCMI, destacado em vermelho na Figura 38, e das demais cargas ligadas ao transformador é feita por

um relé VAMP 230 da *Schneider* e o relé de fuga a terra GFR (*Ground Fault Relay*) da DEEsys.

Figura 38 - Diagrama unifilar CCM do despeiramento do RH e LF da Aciaria



Fonte: Autor (2018)

Portanto, já devidamente apresentado o sistema, seguidamente será apontada a metodologia aplicada para o ajuste das proteções de baixa tensão do relé *Tesys T* do CCMI do despeiramento do RH e LF. Ressalta-se, que a metodologia para desenvolvimento deste trabalho foi dividido em quatro etapas, as quais se dividem em: coleta de dados, definição dos ajustes com apresentação para o técnico responsável pela área, implementação dos novos ajustes e acompanhamento e registro.

4.1 Coleta De Dados

Nesta etapa se reuni o máximo de informações de identificação dos equipamentos e as características físicas e elétricas das unidades funcionais (gavetas) do CCMI, bem como é realizada a reunião e registro das informações das características elétricas dos motores.

Assim, a coleta de dados além de servir de subsídio para a definição dos ajustes, também desempenha papel importante no registro das informações, fato este que será explorado na última etapa do projeto.

Logo, para a devida identificação dos equipamentos foram coletados na documentação entregue pela empresa responsável pela instalação e comissionamento do CCMI o nome e a *Tag* (etiqueta de identificação) do equipamento, identificação da coluna onde se encontra a gaveta do equipamento e o número da gaveta.

Na Tabela 10 é apresentado um recorte da tabela de levantamento de dados com os dados de identificação dos equipamentos e gavetas.

Tabela 10 - Identificação dos equipamentos e gavetas

Nome do Equipamento	TAG do Equipamento	Coluna da Gaveta	Número da Gaveta
I.D FAN DAMPER ACTUATOR	R0-M-941-02	R014-MC02-1	1
BUCKET ELEVATOR	R0-M-941-16	R014-MC02-2	2
COMMON CONVEYOR	R0-M-941-07	R014-MC02-3	3
PREDUSTER SCREW CONVEYOR	R0-M-941-03	R014-MC02-4	4
Nº1 FLOW CONVEYOR	R0-M-941-05	R014-MC02-5	5
Nº2 FLOW CONVEYOR	R0-M-941-06	R014-MC02-6	6
#1,2 E/V BUCKET ELEVATOR VIBRATOR	R0-M-941-17/R0-M-941-18	R014-MC02-7	7
PREDUSTER VIBRATOR	R0-M-941-04	R014-MC03-1	8
Nº1-1 VIBRATOR	R0-M-941-08	R014-MC03-2	9
Nº1-2 VIBRATOR	R0-M-941-09	R014-MC03-3	10
Nº1-3 VIBRATOR	R0-M-941-10	R014-MC03-4	11
Nº1-4 VIBRATOR	R0-M-941-11	R014-MC03-5	12
Nº2-1 VIBRATOR	R0-M-941-12	R014-MC03-6	13
Nº2-2 VIBRATOR	R0-M-941-13	R014-MC03-7	14
Nº2-3 VIBRATOR	R0-M-941-14	R014-MC03-8	15
Nº2-4 VIBRATOR	R0-M-941-15	R014-MC04-1	16
#1,2 DUST SILO VIBRATOR	R0-M-941-19/R0-M-941-20	R014-MC04-2	17
FAN DAMPER SPARE	-	R014-MC04-3	18
DUST SILO ROTARY VALVE	R0-M-941-22	R014-MC04-4	19
VIBRATOR SPARE	-	R014-MC04-5	20

Fonte: Autor (2018)

A Tabela 11 demonstra o levantamento das características físicas das gavetas, seu tipo e altura, e elétricas, modelo do controlador do relé *Tesys T*, faixa de corrente medida pelo módulo (TC tipo janela) do *Tesys T*, modelo do disjuntor, modelo do contator, modelo e relação de transformação do transformador de corrente de sequência zero (toroide) e espessura do cabo interno utilizado.

Tabela 11 - Características físicas e elétricas das gavetas do CCMI

Gaveta		Tesys		Disjuntor	Contator	TC		Cabo (mm2)
Altura (mm)	Tipo	Modelo	Faixa de corrente (A)			Modelo	Relação de transformação (mA)	
225	B	LTMR08PFM	0,4-8	NSX100H/MA2,5AT	LC1-D09 (x2)	ZCT-035	200/1,5	2,5
225	B	LTMR100PFM	5-100	NSX100H/MA12,5AT	LC1-D40	ZCT-035	200/1,5	10
225	B	LTMR100PFM	5-100	NSX100H/MA12,5AT	LC1-D40	ZCT-035	200/1,5	10
225	B	LTMR100PFM	5-100	NSX100H/MA12,5AT	LC1-D40	ZCT-035	200/1,5	10
225	B	LTMR100PFM	5-100	NSX100H/MA12,5AT	LC1-D40	ZCT-035	200/1,5	10
225	B	LTMR08PFM	0,4-8	NSX100H/MA2,5AT	LC1-D09	ZCT-035	200/1,5	2,5
225	B	LTMR08PFM	0,4-8	NSX100H/MA2,5AT	LC1-D09	ZCT-035	200/1,5	2,5
225	B	LTMR08PFM	0,4-8	NSX100H/MA2,5AT	LC1-D09	ZCT-035	200/1,5	2,5
225	B	LTMR08PFM	0,4-8	NSX100H/MA2,5AT	LC1-D09	ZCT-035	200/1,5	2,5
225	B	LTMR08PFM	0,4-8	NSX100H/MA2,5AT	LC1-D09	ZCT-035	200/1,5	2,5
225	B	LTMR08PFM	0,4-8	NSX100H/MA2,5AT	LC1-D09	ZCT-035	200/1,5	2,5
225	B	LTMR08PFM	0,4-8	NSX100H/MA2,5AT	LC1-D09	ZCT-035	200/1,5	2,5
225	B	LTMR08PFM	0,4-8	NSX100H/MA2,5AT	LC1-D09	ZCT-035	200/1,5	2,5
225	B	LTMR08PFM	0,4-8	NSX100H/MA2,5AT	LC1-D09	ZCT-035	200/1,5	2,5
225	B	LTMR08PFM	0,4-8	NSX100H/MA2,5AT	LC1-D09	ZCT-035	200/1,5	2,5
225	B	LTMR08PFM	0,4-8	NSX100H/MA2,5AT	LC1-D09	ZCT-035	200/1,5	2,5
225	B	LTMR08PFM	0,4-8	NSX100H/MA2,5AT	LC1-D09	ZCT-035	200/1,5	2,5
225	B	LTMR08PFM	0,4-8	NSX100H/MA2,5AT	LC1-D09	ZCT-035	200/1,5	2,5
225	B	LTMR08PFM	0,4-8	NSX100H/MA2,5AT	LC1-D09	ZCT-035	200/1,5	2,5
225	B	LTMR08PFM	0,4-8	NSX100H/MA2,5AT	LC1-D09	ZCT-035	200/1,5	2,5
225	B	LTMR08PFM	0,4-8	NSX100H/MA12,5AT	LC1-D	ZCT-035	200/1,5	2,5
300	B	LTMR08PFM	0,4-8	NSX100H/MA2,5AT	LC1-D09	ZCT-035	200/1,5	2,5

Fonte: Autor (2018)

Quanto aos motores, foram levantados sua potência nominal, corrente nominal e corrente de trabalho em regime, sendo esse último dado levantado em campo pelo técnico da área, conforme apresentado na Tabela 12.

Tabela 12 - Características elétricas dos motores.

Motor		
Potência(kW)	Corrente nominal (A)	Corrente de trabalho (A)
0,4	1,18	0,77
5,5	10	4,81
5,5	10	4,9
5,5	10	4,7
5,5	10	4,75
5,5	10	4,7
0,2 (x2)	2 x 0,5	0,46
0,2	0,5	0,19
0,2	0,5	0,35
0,2	0,5	0,2
0,2	0,5	0,21
0,2	0,5	0,2
0,2	0,5	0,19
0,2	0,5	0,2
0,2	0,5	0,2
0,2	0,5	0,24
0,4 (x2)	2 x 0,7	0,6
0,4	-	-
2,2	4,05	2,15
0,2 (x2)	-	-

Fonte: Autor (2018)

Por fim, foram recebidos os backups das configurações de proteção do *Tesys T*, arquivo disponibilizado pela empresa que fez o comissionamento da planta.

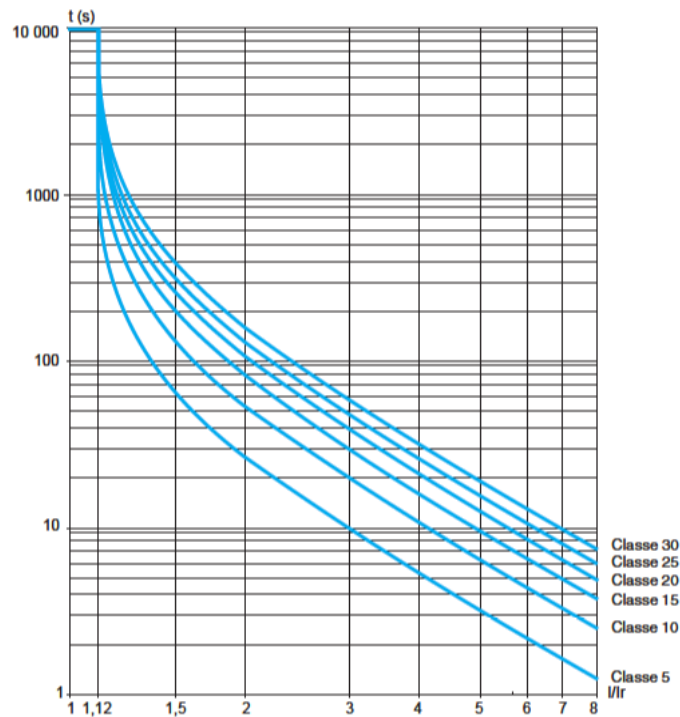
4.2 Definição dos Ajustes de Proteção

Mediante a análise dos parâmetros elétricos dos motores, o tipo de equipamento acionado, os relatos de queima de motores e as recomendações da bibliografia técnica foram definidos os ajustes das funções de sobrecarga térmica, fuga a terra, desequilíbrio de corrente, falta de fase, partida longa, rotor bloqueado e sobrecorrente.

Porém, antes de iniciar a definição dos parâmetros das funções de proteção foi definido o parâmetro *motor full load current*, que informa ao relé qual a corrente nominal do motor e é a corrente base para se implementar os ajustes. Através dos dados de corrente apresentados na Tabela 11 foi constatado que os, *common conveyor* (esteira transportadora comum), *preduster screw conveyor* (transportador helicoidal), *flow conveyor 1 e 2* (transportador de pó 1 e 2) e *dust silo rotary valve* (válvula rotativa do silo de pó) apresentavam uma corrente de operação que gira em torno de 50%, sendo que estes equipamentos necessitam de motores com capacidade de atuação em momentos de excesso de material. No entanto, a parte mecânica acoplada a esses motores não suportava o esforço extra e pelo fato das proteções estarem parametrizadas na corrente nominal era comum a quebra dos equipamentos, como por exemplo, redutores. Por isso, foi adotado um valor de 80% da nominal para estes equipamentos e para os demais equipamentos foi adotado o valor da corrente nominal.

Já para a função de Sobrecarga Térmica (*Thermal Overload*) foi escolhida a curva inversa para a proteção, utilizando a curva classe 10 para o motor, sendo comprovado em campo, através do ajuste de um *Tesys T* para teste, que o motor partia sem problema. Cabe ressaltar ainda, que essa curva é similar a curva de disparo dos contadores, ou seja, é uma curva definida no relé que informa o tempo que o motor necessita para partir, sendo a curva de classe 10 a mais usual para motores de baixa tensão. Na Figura 39 curvas de proteção de motores.

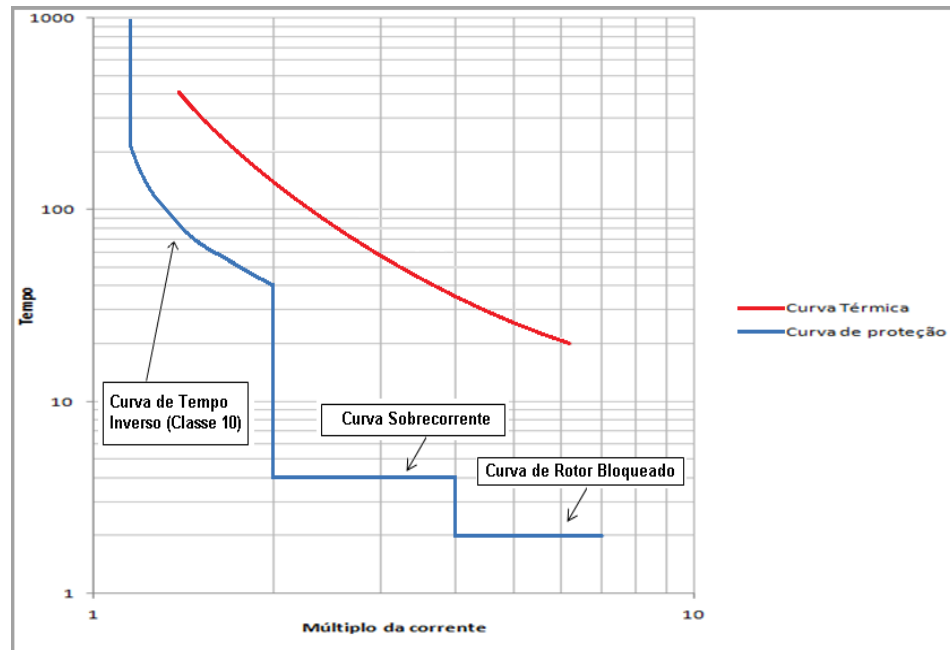
Figura 39 - Classe de curvas de proteção relé Tesys



Fonte: Schneider (2018)

No tocante ao restante das funções de sobrecarga, foram escolhidos ajustes de tal forma que fossem criadas zonas de atuação mais restritivas. Com isso, à medida que aumentava o nível de sobrecarga, em que mais uma vez é visada a proteção dos elementos acionados pelos motores, tendo em vista o alto número de defeitos mecânicos. Assim, a proteção de sobrecorrente foi ajustada em 200% a corrente de base do relé, com um tempo de atuação de 4 s, enquanto que a função de rotor bloqueado após a partida foi parametrizada com uma corrente de ajuste de 400% da corrente de base e um tempo de atuação de 2 s. Na figura 40 é apresentada a curva resultante da junção das curvas de proteção.

Figura 40- Curva de térmica do motor e curva de proteção de sobrecarga



Fonte: Autor (2018)

Na Figura 39 é apresentada a curva térmica do motor de um dos vibradores em vermelho e logo abaixo a curva de proteção de sobrecarga em cor azul, onde para sobrecargas de até 200% o valor da corrente de base do motor, que neste caso é a corrente nominal. Assim, o motor será protegido pela curva inversa da proteção de sobrecarga térmica, e no caso de sobrecargas superiores ao limite protegido por esta função e menores que 400% o valor da corrente nominal do motor quem atuará é a curva de sobrecorrente em um tempo de 4 s. Por fim, para valores de sobrecarga superiores a 400% a atuação ficará por conta da proteção de rotor bloqueado após a partida com um tempo de apenas 2 s.

Lembrando, que como a curva de proteção fica abaixo da curva térmica do motor para toda a faixa de corrente considerada, fica claro que a proteção será eficaz contra danos térmicos ao motor. Além disso, a adoção de tempos de atuação menores para valores de sobrecarga maiores tornam a curva eficaz na proteção dos componentes mecânicos, evitando assim, maiores danos aos mesmos.

Observa-se, que para a função de rotor bloqueado na partida foi utilizado um ajuste de 200% da corrente de base e um tempo de atraso até sua atuação de 8 s, sendo este maior que o tempo de partida dos motores, que nesse caso foi verificado em campo que é de cerca de 5 s, tendo em vista, que são de motores de baixa potência e abaixo do tempo de rotor bloqueado que para tais motores, é de 15 a 18 s.

Quanto aos ajustes de desequilíbrio, foi utilizado um valor de ajuste de 20% de desequilíbrio para um tempo de atuação de 3 s. O elevado valor de desequilíbrio adotado se justifica pela observação feita pelo técnico da área que os motores do despoejamento apresentavam um desequilíbrio nas impedâncias de suas fases, o que imprimia um desequilíbrio próprio dessa característica dos motores e que impossibilitava um ajuste mais restritivo. Já na função de perca de fase foi usado um ajuste de 300 ms para sua atuação. Cabe anotar, que os motores dessa área apresentavam um desequilíbrio nas suas impedâncias de fase, o que tornavam suas correntes “naturalmente” desequilibradas, devido a esse fator foi utilizado um valor de ajuste tão elevado e mesmo assim, ficaram dentro do que as boas práticas de proteção recomendam.

No que diz respeito à função de Fuga a Terra que já havia sido definida em um estudo prévio, fica a cargo desse trabalho a verificação dos parâmetros. O valor da corrente de ajuste é de 600 mA e o tempo de atuação de 300 ms, onde cabe observar que o tempo escolhido fica abaixo dos 400 ms recomendados para uma configuração com contator o que corrobora a escolha desse parâmetro. Nos apêndices 2 e 3 são apresentados todos os valores dos ajustes de proteção.

Logo após a definição dos ajustes, foi feita uma apresentação para o técnico onde através de seus conhecimentos do funcionamento dos equipamentos foram realizadas uma validação inicial dos ajustes. Além disso, ainda foram apresentados os riscos durante e após a implementação dos novos ajustes e as medidas que seriam adotadas pra mitigar esses riscos.








Com isso, os principais riscos da implementação eram a atuação indevida das proteções e o risco de choque elétrico durante a parametrização, sendo o último inerente ao trabalho em salas elétricas e devidamente controlados através de procedimentos operacionais e atuação de mão de obra com qualificação adequada. No tocante a atuação, as medidas para reduzir seus riscos seriam feitas através das seguintes ações: todo e qualquer equipamento teriam suas proteções reajustadas, caso fosse possível colocá-lo em funcionamento para teste, todos os backups novos e antigos ficariam disponíveis em local de fácil acesso durante e após a implantação dos novos ajustes, tanto para o técnico da área como para os técnicos do turno e durante uma semana os equipamentos seriam observados com maior frequência, sendo verificado todos os casos de atuações das proteções.

4.3 Reparametrização Relés *Tesys T*

Por intermédio dos arquivos de backup repassados pela empresa que realizou o comissionamento do CCMI foram feitos os ajustes das proteções. Neste caso, o *software* utilizado foi o *SoMove* versão 2.3, *software* livre e com *layout* bastante amigável, empregado para criação e edição dos arquivos *SoMove Project File* utilizados para a configuração dos relés *Tesys*.

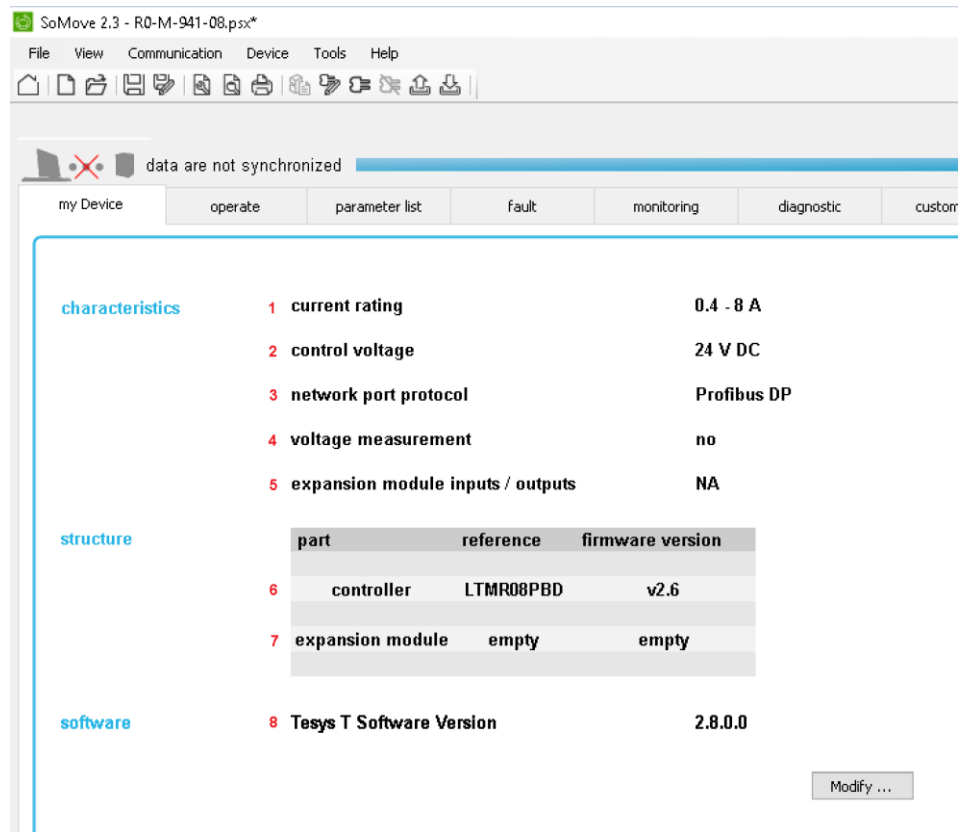
A seguir, será apresentado o procedimento de ajuste dos parâmetros utilizando o backup de um dos vibradores como exemplo. Na figura 41 são apresentados os arquivos do backup e através de dois cliques será aberto o arquivo do vibrador R0-M-941-08.

Figura 41 - Arquivos SoMove Project File Tesys T.

Nome	Tipo	Tamanho
 R0-M-941-02	SoMove Project File	212 KB
 R0-M-941-03	SoMove Project File	212 KB
 R0-M-941-05	SoMove Project File	212 KB
 R0-M-941-06	SoMove Project File	212 KB
 R0-M-941-07	SoMove Project File	212 KB
 R0-M-941-08	SoMove Project File	212 KB
 R0-M-941-16	SoMove Project File	212 KB

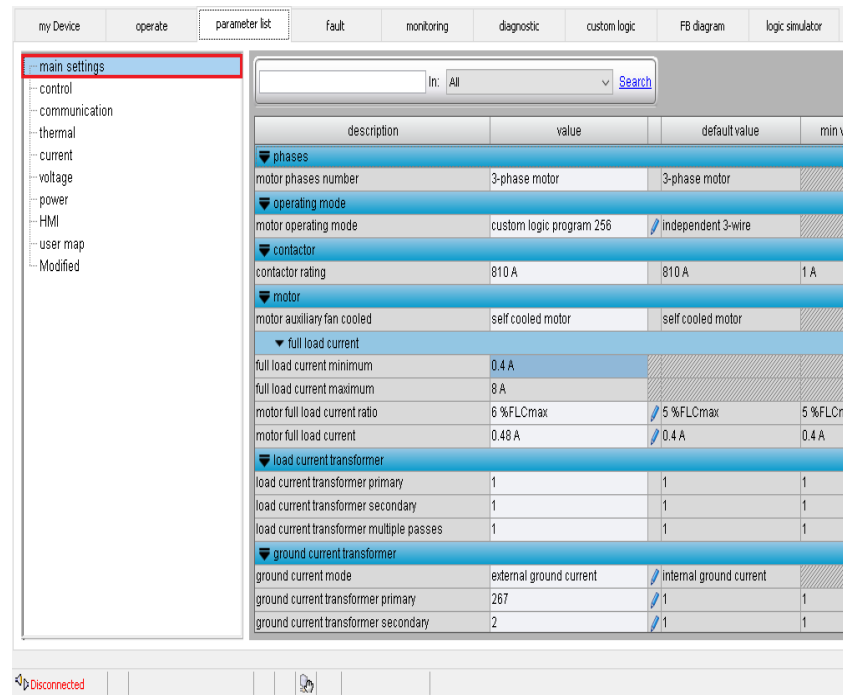
Fonte: Autor (2018)

A tela inicial do *SoMove* é a aba *my Device* onde é possível ter uma visão geral do sistema, já que são apresentadas as características do módulo, sua estrutura, a versão do *software* e uma imagem do módulo utilizado. Conforme apresentado ainda na Figura 42, as características apresentadas são: a faixa de medição de corrente do módulo (1), tensão de alimentação (2), o protocolo utilizado para comunicação em rede (3), a presença ou não do módulo de medição de tensão (4) e se há ou não módulo de expansão. Quanto à estrutura é apresentado o modelo do controlador (6) e caso o tenha, o modelo do módulo de expansão (7). Além disso, é apresentada versão do *software* compatível (8).

Figura 42 - Fragmento da tela inicial *my Device*

Fonte: Autor (2018)

Destaca-se ainda na Figura 42 a aba *parameter list*, onde são configurados todos os parâmetros elétricos do motor, dos equipamentos de manobra e medição, contator e TC, e das funções de proteção. Na Figura 43 é apresentada a tela inicial desta aba.

Figura 43 - Fragmento da tela inicial *main settings* da aba *parameterlist*

Fonte: Autor (2018)

Na tela *main settings* são configuradas as informações a respeito do motor, relação de transformação do módulo de medição de corrente de fase, contator e TC toroidal. É apresentado com mais detalhes como configurar o valor de corrente do motor, conforme apresentado na Figura 44.

Figura 44 - Configuração do motor no *SoMove*

description	value	default value
motor		
full load current minimum	0.4 A	
full load current maximum	8 A	
motor full load current ratio	6 %FLCmax	5 %FLCmax
motor full load current	0.48 A	0.4 A


Fonte: Autor (2018)

Logo, os dois primeiros itens, *full load current minimum* (FLCmin) e *full load current maximum* (FLCmax), são os valores mínimo e máximo, respectivamente, da faixa medida pelo módulo de medição de corrente de fase, que neste caso por se tratar de um controlador LTMR08PFM apresenta limite inferior e superior de 0,4 a 8 A, respectivamente. Esses dados, porém, não podem ser alterados nessa aba, pois para a alteração desses valores se faz necessário ser escolhido outro modelo de controlador. Já nos itens *motor full load current ratio* e *motor full load current* é possível configurar o valor da corrente do motor, no primeiro

a configuração é feita em função do valor do FLCmax, sendo que seu valor mínimo é definido pelo FLCmin e apresenta um passo de 1%. Já no segundo, pode ser colocado o valor em ampère, desde que novamente seja respeitado os limites impostos pelo FLCmax e FLCmin.

A primeira função de proteção a ser configurada será a de proteção sobrecarga térmica (*thermal overload*). Assim, na tela *termal*, conforme apresentado na figura 45, é possível definir o tipo de curva (de tempo definido ou inverso) no parâmetro *thermal overload mode* e a classe do motor no parâmetro *motor class*. Para habilitar a atuação da função e o alarme, devem ser habilitados os parâmetros *thermal overload fault enable* e *thermal overload warning enable*, respectivamente. Para o *reset* da função e do alarme deve ser definido nos parâmetros: *thermal overload fault reset threshold* e *thermal overload warning reset threshold* com um valor máximo de capacidade térmica do motor, ou seja, um valor que de capacidade térmica, calculado através de seu modelo térmico, que só abaixo dele será liberado o *reset* da função e do alarme. Por fim, o item *motor temperature sensor type* serve para informar ao controlador a presença de algum sensor térmico.

Figura 45 - Configuração da função de sobrecarga térmica no *SoMove*.

description	value	default value
▼ thermal overload		
thermal overload mode	inverse thermal	inverse thermal
▼ inverse thermal		
motor class	motor class 10	 motor class 5
thermal overload fault enable	enable	enable
thermal overload fault reset threshold	75 %	75 %
thermal overload warning enable	enable	enable
thermal overload warning threshold	85 %	85 %
▼ motor temperature		
motor temperature sensor type	no motor temperature sensor	no motor temperature sensor

Fonte: Autor (2018)

No caso da configuração da função de faltam (*ground current*) à terra são empregados cinco parâmetros, conforme apresentados na Figura 46, com as seguintes funções: habilitar ou não a função durante a partida (*ground current Disable while motor starting*), habilitar ou não a função em regime (*ground current fault enable*), definir o valor da corrente de ajuste (*external ground current fault threshold*), definir o tempo de atraso para atuação da função (*external ground current fault timeout*), habilitar ou não o alarme (*ground current warning enable*).

Figura 46 - Configuração da função de falta a terra no *SoMove*

	description	value	default value
	ground current		
	ground current Disable while motor starting	no	no
	ground current fault enable	enable	enable
	external ground current fault threshold	0.6 A	1 A
	external ground current fault timeout	0.3 s	0.5 s
	ground current warning enable	disable	enable

Fonte: Autor (2018)

Quando a função de desequilíbrio de corrente também são empregados cinco parâmetros, conforme apresentado na Figura 47, com as seguintes funcionalidades: habilitar ou não a função de desequilíbrio de corrente (*current phase imbalance fault enable*), definir o valor de ajuste de desequilíbrio (*Current phase imbalance fault threshold*), definir o atraso para atuação da função durante a partida (*Current phase imbalance fault timeout starting*), definir o tempo de atraso para atuação da função em regime (*Current phase imbalance fault timeout running*) e habilitar ou não o alarme (*Current phase imbalance fault warning enable*).

Figura 47 - Configuração da função desequilíbrio de corrente no *SoMove*.

	description	value	default value
	phases		
	phase imbalance		
	current phase imbalance fault enable	enable	enable
	current phase imbalance fault threshold	20 %	10 %
	current phase imbalance fault timeout starting	0.7 s	0.7 s
	current phase imbalance fault timeout running	3 s	5 s
	current phase imbalance warning enable	disable	disable

Fonte: Autor (2018)

Já no caso da função perda de fase (*phase loss*) são empregados apenas três parâmetros, conforme apresentado na Figura 48 e com as seguintes atribuições: habilitar ou não a função de perda de fase (*Current phase loss fault enable*), definir o valor de ajuste de tempo para atuação da função (*Current phase loss fault timeout*) e habilitar ou não o alarme (*Current phase loss warning enable*).

Figura 48 - Configuração da função perca de fase no *SoMove*.

	description	value	default value
<ul style="list-style-type: none"> main settings control communication thermal current voltage 	phases		
	phase loss		
	current phase loss fault enable	enable	enable
	current phase loss fault timeout	0.3 s	3 s
	current phase loss warning enable	disable	enable

Fonte: Autor (2018)

Na proteção de rotor bloqueado após a partida (*jam*) são empregados 4 parâmetros, conforme apresentado na Figura 49 e com as seguintes atribuições: habilitar ou não a função de rotor bloqueado (*Jam fault enable*), definir o valor de ajuste percentual para a atuação da função (*Jam fault threshold*), definir o valor de ajuste de tempo para atuação da função (*Jam fault timeout*) e habilitar ou não o alarme (*Jam warning enable*).

Figura 49 - Configuração da função rotor bloqueado em regime no *SoMove*.

	description	value	default value
<ul style="list-style-type: none"> main settings control communication thermal current voltage 	jam		
	jam fault enable	enable	enable
	jam fault threshold	400 %FLC	200 %FLC
	jam fault timeout	2 s	5 s
	jam warning enable	disable	disable

Fonte: Autor (2018)

Quanto à função de rotor bloqueado na partida (*long start*), conforme apresentado na Figura 50, os parâmetros tem as função de: habilitar ou não a função de rotor bloqueado na partida (*long start fault enable*), definir o valor percentual, em relação a corrente base, do limite de corrente para sua atuação (*long start fault threshold*) e definir o valor de ajuste de tempo para atuação da função (*long start fault timeout*).

Figura 50 - Configuração da função rotor bloqueado na partida no *SoMove*


	description	value	default value
<ul style="list-style-type: none"> main settings control communication thermal current 	long start		
	long start fault enable	enable	enable
	long start fault threshold	200 %FLC	100 %FLC
	long start fault timeout	8 s	10 s

Fonte: Autor (2018)

Na função de sobrecorrente temporizada (*overcurrent*), conforme apresentado na Figura 51, os parâmetros são: habilitar ou não a função de sobrecorrente (*overcurrent fault enable*), definir o valor percentual, em relação à corrente base, do limite de corrente para sua atuação (*overcurrent fault threshold*), definir o valor de ajuste de tempo para atuação da

função (*overcurrent fault timeout*) e habilitar ou não o aviso de sobrecorrente (*overcurrent warning enable*).

Figura 51 - Configuração da função sobrecorrente temporizada *SoMove*



description	value	default value
overcurrent		
overcurrent fault enable	enable	disable
overcurrent fault threshold	200 %FLC	200 %FLC
overcurrent fault timeout	4 s	10 s
overcurrent warning enable	disable	disable

Fonte: Autor (2018)

Por fim, conclui-se o processo salvando o novo arquivo. Esse procedimento foi feito para todos os relés dos equipamentos ativos (excluindo-se as gavetas reservas) e posteriormente foi repassado para o técnico da área para que o novo arquivo de ajuste fosse descarregado nos *Tesys T* das gavetas.

4.4. Monitoramento e Registro Dos Novos Ajustes

A última etapa do trabalho foi o acompanhamento com o técnico da área de possíveis atuações indevidas das proteções e após este período foi feita a criação de folheto com os dados pertinentes da área.

O monitoramento foi realizado durante uma semana, que começou no momento em que foram descarregados os novos ajustes, com o teste de eficácia de funcionamento do equipamento. Para esta área esse período de acompanhamento mostrou-se suficiente na identificação de possíveis atuações indevidas já que todos os equipamentos que apresentaram comportamento normal durante esse período não apresentaram atuação indevida posteriormente.

Após o período de acompanhamento, foi elaborado um folheto que foi colocado na própria sala elétrica onde constavam as seguintes informações: lista de funções de proteção habilitadas no *Tesys T*, tabela com os parâmetros para a configuração das funções, conforme apresentado no Apêndice 1, caminho até os backups nos computadores presentes na área ou usados para o ajuste dos *Tesys T* e um Apêndice constando uma tabela da fase de levantamento de dados e com os novos ajustes.

4.5 Resultados

A implementação de forma bem sucedida na unidade de despoejamento do sistema RH e LF motivou a implantação dessa metodologia nas quatro unidades de despoejamento e

na unidade de tratamento de água, sendo áreas que também utilizam o relé inteligente *Tesys T*. Para que seja possível uma análise mais ampla foram consideradas para análise as cinco unidades do despoeiramento e a unidade de tratamento de água.

Os pontos que merecem observação durante a execução dos ajustes foram identificados em alguns equipamentos com suas proteções de desequilíbrio, sobrecorrente e rotor bloqueado desabilitadas e gavetas em que relé tinha uma faixa de corrente inadequada para a corrente nominal do motor. Quanto ao primeiro caso, foram implementados os novos ajustes e no segundo foi efetuada a troca da gaveta por uma gaveta reserva com controlador adequado.

Além disso, em uma das unidades de despoeiramento houve o aumento das atuações devido a um nível elevado de desequilíbrio e nas demais unidades alguns problemas mecânicos foram identificados. Na área onde foi identificado um elevado nível de desequilíbrio a função de proteção de desequilíbrio de corrente foi desabilitada ficando apenas a perca de fase apta a atuar até a conclusão de novos estudos e modificações que sanassem esse problema. Quanto às falhas mecânicas identificadas a equipe de manutenção providenciou seu reparo e os equipamentos voltaram a operar normalmente.

Logo, durante um período de seis meses após a execução dos novos ajustes não foi relatada a queima de nenhum motor devido causas elétricas e houve ainda atuações por rotor bloqueado, em vibradores e em uma válvula rotativa do silo de pó, sem que os equipamentos acionados pelos motores apresentassem falha mecânica, o que demonstrou que os novos ajustes são eficazes na proteção dos motores e acoplamentos mecânicos. Portanto, esse fato demonstra a importância das proteções elétricas não só na proteção dos motores, mas para a equipe de manutenção, já que atuação das proteções permite identificar problemas elétricos antes que esses comprometam a integridade dos equipamentos evitando assim, o custo do reparo ou troca de componentes e garante maior confiabilidade ao sistema. Ademais, outra vantagem percebida foi o maior controle sobre os parâmetros dos relés, já que agora existe um registro e a maior facilidade de identificar gavetas reservas compatíveis para a troca.

5 CONCLUSÃO E DESENVOLVIMENTO DE TRABALHOS FUTUROS

A partir de uma análise acerca de motores elétricos de um CCMI de baixa tensão de uma unidade industrial, pôde-se identificar e apresentar uma metodologia para ajuste das proteções desses motores. Com isso, foram apresentados os dados levantados nos documentos do projeto e em campo e das funções de proteção dos motores, destacando-se : sobrecarga térmica, rotor bloqueado para partida e regime, desequilíbrio de corrente, perca de fase e sobrecorrente temporizada e definidos os valores de seus ajustes, bem como, a função de fuga à terra e os ajustes já feitos em seus parâmetros. E não menos importante, os parâmetros dos relés *Tesys T* e como parametrizá-los através do software *Somove* e o procedimento para descarregar os novos ajustes com segurança e validar os mesmos.

Observou-se, que os principais problemas enfrentados na implantação do projeto foram as atuações por desequilíbrio de corrente, onde foi identificado uma condição inadequada na planta elétrica, equipamentos com acoplamento mecânico com desgaste e relés *Tesys T* com faixa de atuação inadequada, o que comprometia a atuação das funções de proteção. Porém, através do registro dos dados dos equipamentos e acompanhamento da implementação dos novos ajustes foi possível identificá-los e nos dois últimos casos, aplicar medidas corretivas.

Assim, torna-se pertinente a apresentação dos principais resultados do projeto, o qual foi essencial para a consecução deste trabalho, sendo estes: a redução da queima dos motores, não sendo observado no período após a execução dos ajustes nenhum queima de natureza elétrica e a redução dos casos de quebra dos acoplamentos mecânicos acoplados a estes motores, os quais são os objetivos do trabalho, demonstrando assim, a eficácia dos novos ajustes. Além disso, devido à organização das informações dos CCMI's, foi relatado pelos técnicos da área maior facilidade na permuta de gavetas com problema com gavetas reservas.

Ademais, como sugestões de trabalhos futuros, podem ser realizados estudos das demais funções do relé *Tesys*, estudos da mesma natureza utilizando modelos de outros fabricantes, ou ainda, um comparativo das características técnicas e econômicas entre modelos de relés inteligentes, servindo assim de subsidio na escolha desses componentes.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR IEC 60439 – 1**: resumos. Rio de Janeiro, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 17094 – 2**: motores de indução trifásicos. Rio de Janeiro, 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR IEC 60085** : isolação elétrica. Rio de Janeiro, 2017.

BRASIL. Decreto nº 4.508, de 11 de Dezembro de 2002. Dispõe sobre a regulamentação específica que define os níveis mínimos de eficiência energética de motores elétricos trifásicos de indução rotor gaiola de esquilo, de fabricação nacional ou importados, para comercialização ou uso no Brasil, e dá outras providências. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Poder Executivo, Brasília, DF, 12 dez. 2002.

BRASIL, MINISTÉRIO MINAS E ENERGIA. Portaria Interministerial Nº 553, de 8 de dezembro de 2005. Dispõe sobre o Programa de Metas de motores elétricos de indução trifásicos. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 2005. Disponível em: http://www.mme.gov.br/documents/10584/1139097/Portaria_Interministerial_nx_553_2005.pdf/010f203c-195e-4e12-b31d-6a1f00e226e0 . Acesso em: 25 Set. 2018.

CENTRO DE CONTROLE DE MOTORES DE BAIXA TENSÃO – CCM. Disponível em: https://www.weg.net/catalog/weg/BR/pt/Pain%C3%A9is-El%C3%A9tricos/Centro-de-Controlde-de-Motores/Centro-de-Controlde-de-Motores-de-Baixa-Tens%C3%A3o-CCM-BT/Centro-de-Controlde-de-Motores-de-Baixa-Tens%C3%A3o---CCM/p/MKT_WDC_BRAZIL_LOW_VOLTAGE_MOTOR_CONTROL_CENTER_LV_MC C. Acesso em: 29 out. 2018.

COMANDOS ELÉTRICOS INDUSTRIAIS. Disponível em: <https://www.voltimum.com.br/biblioteca/comandos-eletricos-industriais?flippage=1>. Acesso em: 12 nov. 2018.

CONTRIM, Ademaro A. M. B. **Instalações Elétricas**. 5. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2009.

CONTROLADOR inteligente de Motores Tesys T. Introducción General al Control y Protección de Motores. Disponível: <https://docplayer.es/5728753-Controlador-inteligente-de-motores-tesys-t-introduccion-general-al-control-y-proteccion-de-motores.html>. Acesso em: 25 out. 2018.

COSTA, Luiz Felipe. **Filosofias Construtivas**. In: O Setor Elétrico. 102. ed. Julho de 2014. Disponível em: <https://www.osetoelettrico.com.br/capitulo-vii-filosofias-construtivas/>. Acesso em: 25 Set. 2018.

ELETROBRÁS (Brasília). **Motor elétrico**: Guia básico. 2009. Disponível em: http://arquivos.portaldaindustria.com.br/app/conteudo_18/2014/04/22/6281/Motor_eletrico.pdf

f. Acesso em: 22 Set. 2018.

EPE, 2017. **Anuário Estatístico de Energia Elétrica 2017**, ano base 2016. Empresa de Pesquisa Energética. Rio de Janeiro. Julho de 2017. Disponível em:
<http://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-160/topico-168/Anuario2017vf.pdf>.
 Acesso em: 28 set. 2018.

FRANCISCO, António. **Motores elétricos: constituição, funcionamento, ligação**. Lisboa: ETEP, 2008.

GARCIA, Jair; GARCIA FILHO. **Análise De Curto-Circuito Em Sistemas Desequilibrados De Distribuição Com Geração Distribuída**. Disponível em:
<https://lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/157827/001021055.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 10 nov. 2018.

LV438594 CIRCUIT BREAKER COMPACT NSX100F - TMD - 25 A - 2 POLES 2D. Disponível em: http://www2.schneider-electric.com/resources/sites/SCHNEIDER_ELECTRIC/content/live/FAQS/234000/FA234253/en_US/LV438594_document.pdf. Acesso em: 12 out. 2018.

MAMEDE FILHO, João. **Instalações elétricas industriais**. 9.ed. Rio de Janeiro: LTC, 2007.

MAMEDE FILHO, João; MAMEDE, Daniel Ribeiro. **Proteção de sistemas elétricos de potência**. [S.l]: LTC, 2011.

MANUAL GERAL DE INSTAÇÃO, OPERAÇÃO E MANUTENÇÃO DE MOTORES ELÉTRICOS. Disponível em: <https://static.weg.net/medias/downloadcenter/h2c/h87/WEG-iom-installation-operation-and-maintenance-manual-of-electric-motors-50033244-manual-pt-en-es-de-ro-bg-ru-web.pdf>. Acesso em: 29 set. 2018.

MARDEGAN, Claudio S. **Proteção e Seletividade em Sistemas Elétricos Industriais**. São Paulo: Atitude Editorial, 2012.

MARQUES, Milton César Silva *et al.* (Coord.). **Eficiência elétrica: teoria & prática**. Minas Gerais: Editora FUPAI, 2007.

MUSEU WEG. **A história do motor elétrico que você precisa conhecer**. Disponível em:
<http://museuweg.net/blog/a-historia-do-motor-eletrico/>.. <http://museuweg.net/blog/a-historia-do-motor-eletrico/>... Acesso em: 1 Set. 2018.

NORMA DE DIREITO INTERNACIONAL. **DIN 57636 – 1: general requirements**. , Alemanha, 1983

NORMA DE DIREITO INTERNACIONAL. **VDE 0636 – 1: general requirements**. Alemanha, 1983.

PAULILO, Gilson. **Desequilíbrios de tensão**. *In: O Setor Elétrico*. 86. ed. Março de 2013. Disponível em: <https://www.osetoreletrico.com.br/capitulo-iii-desequilibrios-de-tensao/>. Acesso em: 25 Set. 2018.

PETRUZELLA, Frank D. **Motores elétricos e acionamentos**. Tradução de José Lucimar do Nascimento. Porto Alegre: AMGH editora, 2013.

PROGRAMA NACIONAL DE CONSERVAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA.PROCEL.
Manual de Tarifação de Energia Elétrica. Disponível em:
<http://www.procelinfo.com.br/main.asp?TeamID=%7B921E566A-536B-4582-AEAF-7D6CD1DF1AFD%7D>. Acesso em: 12 ago. 2018.

REZENDE, Paulo Henrique Oliveira; BISPO, Décio. **Análise Econômica Em Motores De Indução Trifásicos**. Minas Gerais, 2009. Disponível em: <http://www.seer.ufu.br>. Acesso em: 14 ago. 2018.

REZENDE, Paulo Henrique Oliveira; SAMESIMA, Milton Itsuo. **Efeitos Do Desequilíbrio De Tensões De Suprimentos Nos Motores De Indução Trifásico**. Minas Gerais, 2013. Disponível em:
<http://www.seer.ufu.br/index.php/horizontecientifico/article/viewFile/4473/11857>. Acesso em: 28 ago. 2018.

SCHNEIDER ELECTRIC. Proteção de redes elétricas. **Guia de proteção**. Disponível em:
<https://www.se.com/br/pt/download/document/Guia+de+Prote%C3%A7%C3%A3o+de+redes+el%C3%A9tricas/>. Acesso em: 4 out.2018.

STEFAN, Richard M. **Acionamento, Comando e Controle de Máquinas Elétricas**. Rio de Janeiro: Editora Ciência Moderna, 2008.

SENS, Moacyr. **Avanços tecnológicos nos motores elétricos**. Disponível em:
<http://www.motoreletrico.net/index.asp?InCdSecao=3&InCdEditoria=1&InCdMateria=39&>. Acesso em: 26 out.2018.

TAQUES, Mauricio Martins. Comandos elétricos industriais. Disponível em:
http://joinville.ifsc.edu.br/~mtaques/Comandos%20Industriais/Apostila_ComandosIndustriais_Teoria_ProfMauricioTaques_Vmar%C3%A7o2016.pdf. Acesso em: 5 out. 2018.

TESYS T LTM R MODBUS. Controlador de Gerenciamento de Motores. **Manual do usuário**. Disponível em: http://www2.schneider-electric.com/resources/sites/SCHNEIDER_ELECTRIC/content/live/FAQS/234000/FA234798/tr_TR/TeSys%C2%AE%20T%20LTM%20R%20Modbus%20User%20Manual.pdf Acesso em: 6 out. 2018.

TRIFÁSICO BAIXA TENSÃO. Disponível em: <
https://www.weg.net/catalog/weg/BR/pt/Motores-EI%C3%A9tricos/Trif%C3%A1sico---Baixa-Tens%C3%A3o/c/BR_MT_3PHASE_LV. Acesso em: 25 out. 2018.

WEG. Transformando Energia em soluções. Módulo 01. **Comando e Proteção**. Disponível em: <http://www.weg.net/files/products/1-1305.pdf> . Acesso em: 7 out. 2018.

WEG. **Guia de especificação**: motores Elétricos. Disponível em:
<http://www.weg.net/files/products/1-1305.pdf> . Acesso em: 7 out. 2018.

WEG . **Danos em enrolamentos:** motores trifásicos. Disponível em:
<http://www.weg.net/files/products/1-1305.pdf>. Acesso: 7 out. 2018.

APÊNDICE 1 – PARÂMETROS DAS FUNÇÕES DE PROTEÇÃO DO TESYS T

FUNÇÃO	PARÂMETRO	DESCRIÇÃO
Sobrecarga Térmica com curva inversa	Thermal overload mode	Escolha do tipo de curva a ser adotado (Inversa ou definida).
	Motor class	Escolha da classe de curva térmica (inversa) do motor.
	Thermal overload fault enable	Habilita/desabilita a função.
	Thermal overload fault reset threshold	Abaixo desse valor (percentual) de capacidade térmica é liberado o reset da função.
	Thermal overload warning enable	Habilita/desabilita o alarme.
	Thermal overload warning threshold	Abaixo desse valor (percentual) de capacidade térmica é liberado o reset do alarme.
Fuga a Terra (Externa)	Ground current Disable while motor starting	Habilita/desabilita (no/yes) a função durante a partida.
	Ground current fault enable	Habilita/desabilita a função.
	External ground current fault threshold	Valor da corrente de fuga a partir do qual a função vai atuar.
	External ground current fault timeout	Intervalo de tempo de tolerância a falta.
	Ground current warning enable	Habilita/desabilita o alarme.
	External ground current warning threshold	Corrente de fuga a partir do qual o alarme vai atuar.
Desequilíbrio de Fase	Current phase imbalance fault enable	Habilita/desabilita a função.
	Current phase imbalance fault threshold	Desequilíbrio de corrente (percentual do FLC) a partir do qual a função vai atuar.
	Current phase imbalance fault timeout starting	Intervalo de tempo de tolerância a falta durante a partida.
	Current phase imbalance fault timeout running	Intervalo de tempo de tolerância a falta em regime.
	Current phase imbalance fault warning enable	Habilita/desabilita o alarme.
Falta de Fase	Current phase imbalance fault warning threshold	Desequilíbrio de corrente (percentual do FLC) a partir do qual o alarme vai atuar.
	Current phase loss fault enable	Habilita/desabilita a função.
	Current phase loss fault timeout	Intervalo de tempo de tolerância a falta.
Rotor Bloqueado na Partida	Current phase loss warning enable	Habilita/desabilita o alarme.
	Long start fault enable	Habilita/desabilita a função.
	Long start fault threshold	Valor da corrente (percentual do FLC) a partir do qual a função vai atuar na partida.
Rotor bloqueado após a partida	Long start fault timeout	Intervalo de tempo de tolerância a falta na partida.
	Jam fault enable	Habilita/desabilita a função.
	Jam fault threshold	Valor da corrente (percentual do FLC) a partir do qual a função vai atuar.
	Jam fault timeout	Intervalo de tempo de tolerância a falta.
	Jam warning enable	Habilita/desabilita o alarme.
Sobrecorrente	Jam warning threshold	Valor da corrente (percentual do FLC) a partir do qual o alarme vai atuar.
	Overcurrent fault enable	Habilita/desabilita a função.
	Overcurrent fault threshold	Valor de corrente a partir do qual a função vai atuar.
	Overcurrent fault timeout	Intervalo de tempo de tolerância a falta.
	Overcurrent warning enable	Habilita/desabilita o alarme.
	Overcurrent warning threshold	Valor de corrente a partir do qual o alarme vai atuar.

APÊNDICE 2 - AJUSTES DA CORRENTE DE BASE, SOBRECARGA TÉRMICA, SOBRECORRENTE E FUGA A TERRA

Nome do Equipamento	Ajustes das Funções de Proteção					
	Corrente de Base (FLC) (A)	Sobrecarga	Sobrecorrente		Fuga a terra	
		Classe do motor	Corrente (%FLC)	Tempo (s)	Corrente (A)	Tempo (s)
I.D FAN DAMPER ACTUATOR	1,2	10	200	4	0,6	0,3
BUCKET ELEVATOR	8	11	200	4	0,6	0,3
COMMON CONVEYOR	8	12	200	4	0,6	0,3
PREDUSTER SCREW CONVEYOR	8	13	200	4	0,6	0,3
Nº1 FLOW CONVEYOR	8	14	200	4	0,6	0,3
Nº2 FLOW CONVEYOR	8	15	200	4	0,6	0,3
BUCKET ELEVATOR	0,9	16	200	4	0,6	0,3
PREDUSTER VIBRATOR	0,48	17	200	4	0,6	0,3
Nº1-1 VIBRATOR	0,48	18	200	4	0,6	0,3
Nº1-2 VIBRATOR	0,48	19	200	4	0,6	0,3
Nº1-3 VIBRATOR	0,48	20	200	4	0,6	0,3
Nº1-4 VIBRATOR	0,48	21	200	4	0,6	0,3
Nº2-1 VIBRATOR	0,48	22	200	4	0,6	0,3
Nº2-2 VIBRATOR	0,48	23	200	4	0,6	0,3
Nº2-3 VIBRATOR	0,48	24	200	4	0,6	0,3
Nº2-4 VIBRATOR	0,48	25	200	4	0,6	0,3
#1,2 DUST SILO VIBRATOR	1,2	26	200	4	0,6	0,3
FAN DAMPER SPARE	-	-	-	-	-	-
DUST SILO ROTARY VALVE	3,24	-	200	4	0,6	0,3
VIBRATOR SPARE	-	-	-	-	-	-

APÊNDICE 3 - AJUSTES DE DESEQUILÍBRIO, ROTOR BLOQUEADO, PARTIDA LONGA E FALTA DE FASE.

Nome do Equipamento	Ajustes das Funções de Proteção						
	Desequilíbrio		Rotor bloqueado		Partida Longa		Falta de Fase
	% desequilíbrio	Tempo (s)	Corrente (%FLC)	Tempo (s)	Corrente (%FLC)	Tempo (s)	Tempo (s)
LD FAN DAMPER ACTUATOR	20	3	400	2	200	8	0,3
BUCKET ELEVATOR	20	3	400	2	200	8	0,3
COMMON CONVEYOR	20	3	400	2	200	8	0,3
PREDUSTER SCREW CONVEYOR	20	3	400	2	200	8	0,3
Nº1 FLOW CONVEYOR	20	3	400	2	200	8	0,3
Nº2 FLOW CONVEYOR	20	3	400	2	200	8	0,3
BUCKET ELEVATOR	20	3	400	2	200	8	0,3
PREDUSTER VIBRATOR	20	3	400	2	200	8	0,3
Nº1-1 VIBRATOR	20	3	400	2	200	8	0,3
Nº1-2 VIBRATOR	20	3	400	2	200	8	0,3
Nº1-3 VIBRATOR	20	3	400	2	200	8	0,3
Nº1-4 VIBRATOR	20	3	400	2	200	8	0,3
Nº2-1 VIBRATOR	20	3	400	2	200	8	0,3
Nº2-2 VIBRATOR	20	3	400	2	200	8	0,3
Nº2-3 VIBRATOR	20	3	400	2	200	8	0,3
Nº2-4 VIBRATOR	20	3	400	2	200	8	0,3
#1,2 DUST SILO VIBRATOR	20	3	400	2	200	8	0,3
FAN DAMPER SPARE	20	3	-	-	-	-	-
DUST SILO ROTARY VALVE	20	3	400	2	200	8	0,3
VIBRATOR SPARE	20	3	-	-	-	-	-