



UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
FACULDADE DE ENGENHARIA ELÉTRICA

JOÃO HENRIQUE PEREIRA FERNANDES DA SILVA

**PROJETO ELÉTRICO INDUSTRIAL UTILIZANDO MÉTODOS
ANALÍTICOS E COMPUTACIONAIS**

Uberlândia
2023

JOÃO HENRIQUE PEREIRA FERNANDES DA SILVA

**PROJETO ELÉTRICO INDUSTRIAL UTILIZANDO MÉTODOS
ANALÍTICOS E COMPUTACIONAIS**

Trabalho apresentado como requisito de avaliação na disciplina Trabalho de Conclusão de Curso do Curso de Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Uberlândia.

Orientador: Prof. Dr. Luciano Coutinho Gomes

Assinatura do Orientador

Uberlândia
2023

JOÃO HENRIQUE PEREIRA FERNANDES DA SILVA

**PROJETO ELÉTRICO INDUSTRIAL UTILIZANDO MÉTODOS
ANALÍTICOS E COMPUTACIONAIS**

Trabalho apresentado como requisito de avaliação na disciplina Trabalho de Conclusão de Curso do Curso de Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Uberlândia.

Uberlândia, 23 de junho de 2023.

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Luciano Coutinho Gomes (UFU) (Orientador)

Prof. Dr. Augusto Wohlgemuth Fleury Veloso da Silveira (UFU)

Profa. Me. Ana Caroline Marques Costa (UFU)

Uberlândia
2023

Ficha Catalográfica Online do Sistema de Bibliotecas da UFU
com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).

S586 Silva, João Henrique Pereira Fernandes da, 1997-
2023 Projeto elétrico industrial utilizando métodos
analíticos e computacionais [recurso eletrônico] / João
Henrique Pereira Fernandes da Silva. - 2023.

Orientador: Luciano Coutinho Gomes.
Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) -
Universidade Federal de Uberlândia, Graduação em
Engenharia Elétrica.

Modo de acesso: Internet.

Inclui bibliografia.

Inclui ilustrações.

1. Engenharia elétrica. I. Gomes, Luciano Coutinho,
1972-, (Orient.). II. Universidade Federal de
Uberlândia. Graduação em Engenharia Elétrica. III.
Título.

CDU: 621.3

Bibliotecários responsáveis pela estrutura de acordo com o AACR2:
Gizele Cristine Nunes do Couto - CRB6/2091
Nelson Marcos Ferreira - CRB6/3074

AGRADECIMENTOS

Primeiramente gostaria de agradecer a Deus por me conceder mais uma vitória na minha vida.

A toda a minha família, pais, irmãos que sempre me incentivaram em todas as minhas escolhas e sempre me apoiaram durante todo esse período da graduação, principalmente nos momentos mais difíceis.

Também gostaria de deixar os meus agradecimentos a todos os meus amigos e colegas que conheci durante o período da graduação, sempre me ajudaram e apoiaram durante esta caminhada.

E queria agradecer ao Prof. Dr. Luciano Coutinho Gomes, por todo apoio e paciência que teve comigo durante esta jornada.

RESUMO

O trabalho consiste em realizar especificações dos acionamentos e proteções das cargas de baixa tensão em uma indústria têxtil, para o processo de fiação. Será feito um dimensionamento de forma analítica, que será realizado utilizando meios estudados durante o período de graduação, analisando os valores nominais das cargas a serem instaladas e especificando os dispositivos com auxílios de catálogos. Já o método computacional os dispositivos serão especificados de forma automática, serão da marca ABB, pois é a proprietária do software DOC, responsável por essa metodologia. As especificações por ambos os métodos, no final do trabalho, demonstrarão a eficiência das duas metodologias, o resultado em ambas as escolhas dos dispositivos teve resultados semelhantes, o que irá garantir a confiabilidade da instalação.

Palavras chaves: Indústria, fiação, especificações, acionamentos, proteção, cargas, DOC, ABB.

ABSTRACT

The work consists of making specifications of the drives and protections of low voltage loads in a textile industry, for the spinning process. A sizing will be carried out analytically, which will be carried out using means studied during the traffic period, analyzing the nominal values of the loads to be installed and specifying the devices with the help of catalogs. As for the computational method, the devices will be specified automatically, they will be ABB brand, as it owns the DOC software, responsible for this methodology. The specifications for both methods, at the end of the work, will demonstrate the efficiency of the two methodologies, the result in both device choices had similar results, which will guarantee the reliability of the installation.

Keywords: Industry, wiring, specifications, drives, protection, loads, DOC, ABB.

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1- Fluxograma do processo de fiação	15
Figura 2.2 Batedores	15
Figura 2.3- Cardas	16
Figura 2.4- Passadores	16
Figura 2.5- Maçaroqueira	17
Figura 2.6-Filatórios	17
Figura 2.7-Bobinadeira	18
Figura 2.8- Métodos de Instalação	23
Figura 2.9- Curva de um relé térmico	31
Figura 2.10-Curva de um disjuntor termomagnético	32
Figura 2.11 – Disjuntor Motor	33
Figura 2.12 - Fusível	33
Figura 2.13 – Curvas características de um fusível.....	34
Figura 2.14 - Contatores	35
Figura 2.15- Interno de um contator	35
Figura 2.16 – Diagrama de uma partida direta	37
Figura 2.17- Corrente na chave estrela-triângulo	38
Figura 2.18 – Diagrama da chave estrela-triângulo.....	39
Figura 2.19- Diagrama da chave compensadora	41
Figura 2.20- Diagrama da chave softer-starter.....	42
Figura 3.1- Curva de desempenho do motor de 15 CV	51
Figura 3.2- Curva de desempenho do motor de 20 CV	52
Figura 3.3- Inserindo dados de alimentação elétrica	54
Figura 3.4-Diagrama unifilar	55
Figura 3.5- Inserindo dados nos motores	56
Figura 3.6 – Ferramenta calcular	56
Figura 3.7- Corrente de curto circuito do sistema.....	57
Figura 3.8- Disjuntor Geral de Baixa Tensão	57
Figura 3.9 – Curvas de proteção	59

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1- Processo de fiação.....	14
Tabela 2.2 – Iluminância	20
Tabela 2.3 - Fator de depreciação	21
Tabela 2.4 - Secção dos condutores.....	24
Tabela 2.5- Fator de simultaneidade.....	28
Tabela 2.6 – Fator de utilização	28
Tabela 2.7- Valores de k para condutores com isolação de PVC, EPR ou XLPE .	30
Tabela 3.1-Motores elétricos a serem utilizados	44
Tabela 3.2 – Potência solicitada no eixo do motor	45
Tabela 3.3 – Demanda Solicitada por motor	46
Tabela 3.4 – Seção pelo critério da capacidade de corrente	48
Tabela 3.5 Seção pelo critério de queda de tensão	49
Tabela 3.6- Contatores da partida direta.....	50
Tabela 3.7 – Proteção dos motores	52
Tabela 3.8 – Proteção dos quadros	53
Tabela 3.9- Comparação dos dispositivos de proteção.....	58

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT Associação Brasileira de Normas Técnicas

ABB – Asea Brown Boveri

ABNT Associação Brasileira de Normas Técnicas

CCM Centro de Controle de Motores

BT Baixa tensão

TRAFO Transformador de potência

QGF Quadro geral de força

QDL Quadro de distribuição de luz

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	11
1.1	APRESENTAÇÃO	11
1.2	JUSTIFICATIVA	12
1.3	OBJETIVO.....	12
1.4	METODOLOGIA	12
1.4.1	Metodologia analítica	13
1.4.2	Metodologia computacional	13
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	14
2.1	PROCESSO DE PRODUÇÃO TÊXTIL - FIAÇÃO.....	14
2.1.1	Batedores.....	15
2.1.2	Cardas	16
2.1.3	Passadores.....	16
2.1.4	Maçaroqueira.....	17
2.1.5	Filatórios	17
2.1.6	Bobinadeira.....	18
2.2	PROJETO ELÉTRICO INDUSTRIAL.....	18
2.2.1	Iluminação industrial	18
2.2.1.1	Método dos Lumens	19
2.2.2	Dimensionamento dos condutores elétricos	22
2.2.2.1	Critério de capacidade de condução de corrente	22
2.2.2.2	Critério do limite da queda de tensão	25
2.2.2.3	Critério de corrente de curto-circuito	25
2.2.3	Corrente de curto-circuito.....	26
2.2.4	Fatores de projeto.....	27
2.2.4.1	Fator de demanda	27
2.2.4.2	Fator de simultaneidade.....	27
2.2.4.3	Fator de utilização	28
2.2.5	Cálculo da demanda dos motores	29
2.2.6	Proteção.....	29
2.2.6.1	Relé térmico de sobrecarga	31
2.2.6.2	Disjuntores de baixa tensão	31
2.2.6.3	Disjuntor Motor	32
2.2.6.4	Fusível.....	33
2.2.7	Acionamentos dos Motores Elétricos.....	34
2.2.7.1	Partida direta	36
2.2.7.2	Partida estrela-triângulo	37
2.2.7.3	Chave compensadora	40
2.2.7.4	Chave Softer-starter	41
2.2.7.5	Conversor de frequência	42
3	PROJETO ELÉTRICO	43

3.1	DADOS DO GALPÃO INDUSTRIAL	43
3.2	DADOS DOS MOTORES.....	43
3.3	ILUMINAÇÃO	44
3.4	DEMANDA DOS QUADROS ELÉTRICOS.....	45
3.5	CÁLCULO DA CORRENTE DE CURTO-CIRCUITO	47
3.6	DIMENSIONAMENTO DOS CONDUTORES.....	48
3.6.1	Critério de capacidade de corrente	48
3.6.2	Critério de limite de queda de tensão	49
3.6.3	Critério de capacidade de corrente de curto-circuito.....	49
3.7	ACIONAMENTO DOS MOTORES.....	50
3.7.1	Especificação Partida direta.....	50
3.7.2	Especificação partida estrela-triângulo	51
3.7.3	Especificação da Softer-Starter	51
3.8	ESPECIFICAÇÃO DOS DISPOSITIVOS DE PROTEÇÃO.....	52
3.9	ESPECIFICAÇÃO DA PROTEÇÃO DE FORMA COMPUTACIONAL	53
3.9.1	Alimentação da rede	53
3.9.2	Desenho do diagrama unifilar	54
3.9.3	Calculos e especificações.....	56
3.9.4	Curvas dos dispositivos de proteção	58
4	CONCLUSÃO	60
5	REFERÊNCIAS	62

1 Introdução

1.1 Apresentação

O setor têxtil é o responsável pela transformação das fibras em fios, dos fios em tecidos e dos tecidos em moda e história. A indústria têxtil é complexa, sendo seu processo muito diversificado, algumas indústrias possuem todas as etapas do processo de produção como fiação, tecelagem e beneficiamento, ou apenas atuam em um deles (FIEMG,2021).

A prática produção de tecidos no Brasil já era feita antes da chegada dos portugueses ao país. Há registros históricos, que os nativos já praticavam essa atividade. Entretanto, os colonizadores portugueses não tinham interesse na industrialização. Desta forma em 1785 todas as fabricas e manufaturas foram proibidas através do alvará de D. Maria I, o qual foi revogado em 1808 quando a corte brasileira se transferiu para o Rio de Janeiro. Desta forma nos meados do século XIX, as indústrias têxteis no Brasil começaram a se desenvolver (Lopes Fujita, José Jorente, 2015).

Atualmente, segundo a Associação Brasileira da Indústria Têxtil e Confecções (Abit), o setor têxtil e de Confecção Brasileiro tem destaque no cenário mundial, não apenas por seu profissionalismo, criatividade e tecnologia, mas também pelas dimensões de seu parque têxtil: é a quinta maior indústria têxtil do mundo, o segundo maior produtor de denim, tecido utilizada para a fabricação do jeans, e o terceiro na produção de malhas (ABIT,2023). Com base no relatório do ano de 2022 feito pelo Inteligência de Mercado (IEMI), o faturamento no país na cadeia têxtil e de confecção foi de mais de R\$190 bilhões e um volume de produção têxtil de 2,16 milhões de toneladas, no ano de 2021 (IEME,2022). Com tais informações pode-se observar que esse setor industrial representa um dos grandes pilares do setor econômico brasileiro.

Sendo um grande setor industrial nacional, a produção de tecidos demanda um grande consumo de energia elétrica. De acordo com a Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE), o setor têxtil finalizou o ano de

2022 com uma carga de 671 MW médios (CCEE,2023). Desta forma um bom estudo na parte elétrica, pode garantir economia e proteção para as instalações elétricas de uma indústria têxtil.

1.2 Justificativa

Como o sistema industrial de produção de tecidos é um setor que demanda um valor considerável do consumo de energia elétrica, é de suma importância que as instalações elétricas da indústria garantam que as cargas nela instalada trabalhem protegidas de falhas e surtos elétricos, garantindo o seu funcionamento de forma eficiente. Para isso é necessário um perfeito dimensionamento dos condutores, proteções, acionamentos de cargas mecânicas, dentre outros elementos de uma instalação.

A elaboração desse estudo exige um conhecimento de um profissional da engenharia elétrica, pois, essa área de atuação, abrange todos os conhecimentos da engenharia elétrica, desde a parte da geração até o consumo da energia. Tudo isso, com o intuito de manter uma produção eficiente.

1.3 Objetivo

Este projeto tem o intuito de especificar e dimensionar os equipamentos, de proteção e acionamento, de uma instalação industrial, para a produção têxtil, através de métodos analíticos e computacionais.

1.4 Metodologia

Será utilizada duas metodologias para desenvolver este trabalho, a analítica e a computacional.

1.4.1 Metodologia analítica

Nessa metodologia, os dispositivos serão especificados utilizando cálculos de demanda, corrente, fator de potência, entre outras características elétricas, através de catálogos dos dispositivos a serem utilizados em uma determinada situação.

1.4.2 Metodologia computacional

Na metodologia computacional, será utilizado o software DOC, fornecido de forma gratuita pela empresa ABB, que permite o desenho de diagramas unifilares e especificação, de forma prática os dispositivos de proteção seguindo o estudo da seletividade.

2 Revisão bibliográfica

2.1 Processo de produção têxtil - Fiação

Na indústria têxtil, há diversas formas de matéria prima para a produção de fios, sendo o algodão é uma das principais e mais utilizadas. As fibras do algodão são unicelulares formadas por 94% de celulose (NASCIMENTO,2015).

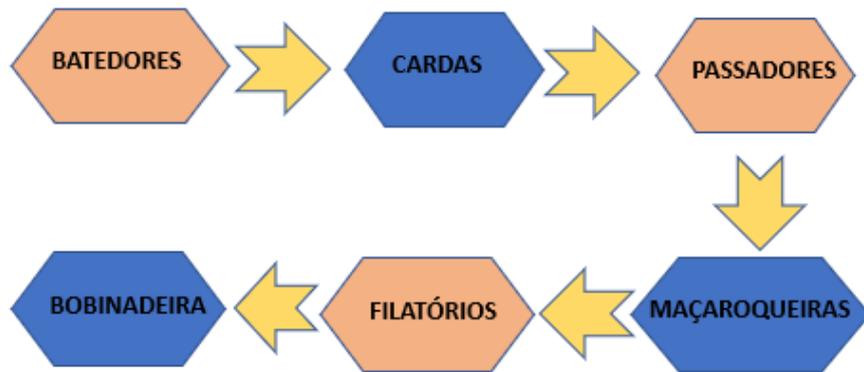
O processo de fiação possui diversas etapas, nas quais, as fibras são abertas, limpas e orientadas em uma mesma direção, paralelizadas e torcidas de modo a se prenderem umas às outras por atrito. Entre estas operações temos: abertura e separação das fibras, limpeza, paralelização parcial e limpeza, limpeza e paralelização final, regularização, afinamento, torção e embalagem.

Tabela 2.1- Processo de fiação

Etapas de Produção	Processos
Preparação para Fiação	Batedores
	Cardas
	Passadores
Fiação convencional	Maçaroqueiras
	Filatórios
	Bobinadeira

Fonte: (Adaptado CAMARGO,2015)

Figura 2.1- Fluxograma do processo de fiação



Fonte: (Adaptado CAMARGO,2015)

2.1.1 Batedores

Os batedores tem por objetivo fazer a abertura e a limpeza do algodão. Para isso ele bate fortemente o algodão contra as grelhas que provocam a queda das impurezas menores existentes no produto, como terra e folhas esmagadas, caracterizando um início de limpeza do produto, ainda com o caroço (CAMARGO,2019).

Figura 2.2 Batedores



Fonte: (SANTANATEX,2023)

2.1.2 Cardas

O processo da cardagem fornece uma mecha de fibras, tendo a função da limpeza mecânica. Seu principal objetivo, através da carda, é separar as fibras uma das outras, se livrando das impurezas que não foram eliminadas pelos batedores. Esse processo ainda permite início do processo de paralelismo e esticamento da massa de fibras.

Figura 2.3- Cardas



Fonte: (SOUZA PEREIRA,2009)

2.1.3 Passadores

Os passadores tem como objetivo uniformizar o comprimento, paralelizar e misturar as fibras, corrigindo as imperfeições do material após o processo da cardagem. Basicamente o processo se dá pela mistura de várias fitas de cardas para a obtenção de uma fita com melhor uniformidade.

Figura 2.4- Passadores



Fonte: (DIRECTINDUSTRY,2023)

2.1.4 Maçaroqueira

A maçaroqueira possui a finalidade de aplicar uma torção nas fitas que resultaram após os passadores. Desta forma, as fitas se transformam em fios, ainda em dimensões maiores os quais se denominam pavios. Um processo de estiramento e torção das fitas do processo anterior.

Figura 2.5- Maçaroqueira



Fonte: (DIRECTINDUSTRY,2023)

2.1.5 Filatórios

Na fição convencional é utilizado os filatórios em anel, o qual recebe os pavios das maçaroqueiras e realiza os estiramento e torção destes pavios, deixando as fibras do material de uma maneira mais fixa. Esse processo de fição permite a produção de fios em diversas espessuras e com uma maior resistência, agregando uma maior valorização na produção.

Figura 2.6-Filatórios



Fonte: (IBETEX,2023)

2.1.6 Bobinadeira

O processo final de fiação, consiste na bobinadeira. Como a embalagem final, do processo de filatórios, não pode ser utilizada para tecelagem. Desta forma, a bobinadeira realiza a troca dessa embalagem para bobinas, as quais podem armazenar uma maior quantidade de fios. Além disso, esse processo corrige as últimas imperfeições dos fios, retirando pontas com maiores e menores espessuras.

Figura 2.7-Bobinadeira



Fonte: (DIRECTINDRUSTRY,2023)

2.2 Projeto elétrico industrial

Um projeto elétrico industrial consiste em elencar todas as necessidades elétricas desse setor, com o intuito de garantir perfeitamente o seu funcionamento. De acordo com João Mamede (2017), para a elaboração de um projeto elétrico deve-se ter ciência em alguns conhecimentos relacionados aos sistemas elétricos, os quais serão descritos no decorrer desse capítulo.

2.2.1 Iluminação industrial

A iluminação responde atualmente por cerca de 17% do consumo total de energia do Brasil. Na área industrial, a proporção do consumo de iluminação é de cerca de 1,8%, o que corresponde à produção de eletricidade da usina

hidrelétrica de Sobradinho, no rio São Francisco, no nordeste do Brasil. (MAMEDE FILHO,2017).

De acordo com Mamede, para que um projeto de iluminação industrial tenha uma boa eficácia deve-se levar em conta os seguintes pontos:

- nível de iluminamento suficiente para cada atividade específica;
- Distribuição espacial da luz sobre o ambiente;
- Escolha da cor da luz e seu respectivo rendimento;
- Escolha apropriada dos aparelhos de iluminação;
- Tipo de execução das paredes e pisos;
- Iluminação de acesso.

Para o cálculo luminotécnico de um determinado ambiente, existem alguns métodos, dentre eles, têm-se o Método dos Lumens, que será aplicado nesse trabalho e pode ser observado a seguir.

2.2.1.1 Método dos Lumens

O método do lúmen consiste em determinar o fluxo luminoso total – ϕ necessário para atingir o nível de Iluminância suficiente para realizar atividades na área. Para isso você precisa seguir alguns passos. (CREDER, 2010). Este fluxo pode ser determinado pela equação 1.

$$\Psi = \frac{E * S}{F_u * F_{dl}} \quad (1)$$

Em que:

Ψ - Fluxo luminoso, em lumens;

E- Nível de iluminância, em lux;

S- Área do ambiente, em metros quadrados;

F_u - Fator de utilização;

F_{dl} - Fator de depreciação;

- Iluminância: É a relação entre o fluxo luminoso que incide perpendicularmente em uma determinada área. Os valores de iluminância podem ser observados na tabela 2.2 de acordo com a atividade que será exercida no local.

Tabela 2.2 – Iluminância

CLASSE	ILUMINANCIA (lux)	TIPO DE ATIVIDADE
A- Iluminação geral para áreas usadas interruptamente ou com tarefas visuais simples	20-30-50	Áreas públicas com arredores escuros
	50-75-100	Orientação simples para permanência curta
	100-150-200	Recintos não usados para trabalho contínuo; depósitos
	200-300-500	Tarefas com requisitos visuais limitados, trabalho bruto de maquinaria, auditórios
B Iluminação geral para área de trabalho	500-750-1000	Tarefas com requisitos visuais normais, trabalho médio de maquinaria, escritórios
	1000-1500-2000	Tarefas com requisitos especiais, gravação manual, inspeção, indústria de roupas.
C Iluminação adicional para tarefas visuais difíceis	2000-3000-5000	Tarefas visuais exatas e prolongadas, eletrônica de tamanho pequeno
	5000-7500-10000	Tarefas visuais muito exatas, montagem de microeletrônica
	10000-15000-20000	Tarefas visuais muito especiais, cirurgia

Fonte: (NBR 5413,1992)

- Fator de depreciação: Mede a relação entre fluxo luminoso emitido por uma determinada luminária no seu fim de operação e o fluxo no início da

sua operação. Seus valores, de acordo com a luminária a ser utilizada, estão na tabela 2.3.

Tabela 2.3 - Fator de depreciação

TIPO DE APARELHO	F _{dl}
Aparelhos para embutir lâmpadas incandescentes	0,85
Aparelhos para embutir refletores	
Calha aberta e chanfrada	0,8
Refletor industrial para lâmpadas incandescentes	
Luminária comercial	0,75
Luminária ampla em linhas contínuas	
Refletor parabólico para 2 lâmpadas incandescentes	0,7
Refletor industrial para lâmpada VM	
Aparelho para lâmpada incandescente para iluminação indireta	
Luminária industrial tipo Miller	
Luminária com difusor de acrílico	
Globo de vidro fechado para lâmpada incandescente	
Refletor com difusor plástico	
Luminária comercial para lâmpada high output com colmeia	0,6
Luminária para lâmpada fluorescente para iluminação indireta	

Fonte: (MAMEDE FILHO,2017)

- Fator de utilização: é a relação entre o fluxo luminoso que chega ao plano de trabalho e o fluxo luminoso total emitido pelas lâmpadas. Ele depende das dimensões do recinto, do time de luminária e da pintura do ambiente. Através do índice de recinto (K) que se obtém o valor do fator de utilização.

$$K = \frac{a * b}{h * (a + b)} \quad (2)$$

Em que,

a- Comprimento do recinto em metros;

b- Largura do recinto em metros;

h- Altura da fonte de luz até o plano de trabalho em metros;

2.2.2 Dimensionamento dos condutores elétricos

O dimensionamento dos condutores feito de forma correta, garante uma certa segurança para o sistema elétrico, evitando sobreaquecimento nos condutores, e uma economia, diminuindo as perdas por efeito Joule, durante a passagem da corrente elétrica.

A maioria das instalações industriais usa o cobre como elemento condutor em fios e cabos. A utilização de condutores de alumínio é muito baixa neste tipo de instalação, mas o preço de mercado é significativamente inferior à utilização de condutores de cobre. A própria norma brasileira NBR 5410 restringe o uso de condutores de alumínio apenas para seções de pelo menos 16mm². (MAMEDE FILHO, 2017).

Para a isolação dos condutores, existem diferentes tipos de compostos isolantes, sendo os mais empregados o PVC (cloreto de polivinila), o EPR (etileno-propileno) e o XLPE (polietileno reticulado), cada um com suas características químicas, elétricas e mecânicas próprias, acarretando assim o seu emprego em condições específicas para cada instalação. (MAMEDE FILHO, 2017).

De acordo com a NBR 5410, existem seis critérios para a determinação dos condutores. Desta forma, deve-se considerar o que apresentar o maior valor da secção. Seguindo a metodologia de Mamede Filho (2017), para a determinar a secção mínima dos condutores 3 critérios já são o suficiente para um bom dimensionamento: capacidade de condução de corrente, limite de queda de tensão e capacidade de corrente de curto-circuito.

2.2.2.1 Critério de capacidade de condução de corrente

Este critério determina o valor máximo que uma corrente poderá percorrer o condutor a ser adotado, evitando que a corrente provoque um aquecimento excessivo no condutor.

Para determinar a secção utilizando esse critério, deve-se seguir os seguintes passos:

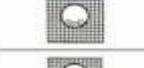
- Determinar a corrente de projeto: O valor dessa corrente pode ser obtido pela equação 3 para circuitos monofásicos ou bifásicos e equação 4 para circuitos trifásicos:

$$I_p = \frac{P}{V * FP} \quad (3)$$

$$I_p = \frac{P}{\sqrt{3} * V * FP} \quad (4)$$

- Determinar o método de instalação: Segundo a NBR 5410, existem diversos métodos de instalação. Na figura 2.9 tem alguns métodos.

Figura 2.8- Métodos de Instalação

Método de instalação número	Esquema Ilustrativo	Descrição	Método de referência ¹⁾
1		Condutores isolados ou cabos unipolares em eletroduto de seção circular embutido em parede termicamente isolante ²⁾	A1
2		Cabo multipolar em eletroduto de seção circular embutido em parede termicamente isolante ²⁾	A2
3		Condutores isolados ou cabos unipolares em eletroduto aparente de seção circular sobre parede ou espaçado desta menos de 0,3 vez o diâmetro do eletroduto	B1
6		Cabo multipolar em eletroduto aparente de seção não-circular sobre parede	B2
7		Condutores isolados ou cabos unipolares em eletroduto de seção circular embutido em alvenaria	B1
8		Cabo multipolar em eletroduto de seção circular embutido em alvenaria	B2
11		Cabos unipolares ou cabo multipolar sobre parede ou espaçado desta menos de 0,3 vez o diâmetro do cabo	C
11A		Cabos unipolares ou cabo multipolar fixado diretamente no teto	C
12		Cabos unipolares ou cabo multipolar em bandeja não-perfurada, perfurada ou prateleira ³⁾	C
13		Cabos unipolares ou cabo multipolar em bandeja perfurada, horizontal ou vertical ⁴⁾	E (multipolar) F (unipolares)

Fonte: (MAMEDE FILHO,2017)

Tendo o valor da corrente de projeto e do método de instalação já definido, a secção do condutor para esse critério pode ser definida pela tabela 2.4.

Tabela 2.4 - Secção dos condutores

Seções Nominais	MÉTODO DE INSTALAÇÃO											
	A1		A2		B1		B2		C		D	
	NÚMERO DE CONDUTORES CARREGADOS											
	2	3	2	3	2	3	2	3	2	3	2	3
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)
0,5	7	7	7	7	9	8	9	8	10	9	12	10
0,75	9	9	9	9	11	10	11	10	13	11	15	12
1	11	10	11	10	14	12	13	12	15	14	18	15
1,5	15	14	14	13	17,5	16	17	15	19,5	18	22	18
2,5	20	18	19	18	24	21	23	20	27	24	29	24
4	26	24	25	23	32	28	30	27	36	32	38	31
6	34	31	32	29	41	36	38	34	46	41	47	39
10	46	42	43	39	57	50	52	46	63	57	63	52
16	61	56	57	52	76	68	69	62	85	76	81	67
25	80	73	75	68	101	89	90	80	112	96	104	86
35	99	89	92	83	125	110	111	99	138	119	125	103
50	119	108	110	99	151	134	133	118	168	144	148	122
70	151	136	139	125	192	171	168	149	213	184	183	151
95	182	164	167	150	232	207	201	179	258	223	216	179
120	210	188	192	172	269	239	232	206	299	259	246	203
150	240	216	219	196	309	275	265	236	344	299	278	230
185	273	245	248	223	353	314	300	268	392	341	312	258
240	321	286	291	261	415	370	351	313	461	403	361	297
300	367	328	334	298	477	426	401	358	530	464	408	336
400	438	390	398	355	571	510	477	425	634	557	478	394
500	502	447	456	406	656	587	545	486	729	642	540	445
630	578	514	526	467	758	678	626	559	843	743	614	506
800	669	593	609	540	881	788	723	645	978	865	700	577
1.000	767	679	698	618	1.012	906	827	738	1.125	996	792	652

Fonte: (MAMEDE FILHO,2017)

2.2.2.2 Critério do limite da queda de tensão

Seguindo a NBR 5410, um outro critério, para o dimensionamento de condutor, é o limite de queda de tensão. Este critério analisa se o condutor a ser utilizado atende aos limites de queda de tensão estabelecidos pela norma, a qual determina 5% para terminais de CCM (Centro de controle de motores) e 7% para terminais secundários dos transformadores de média tensão.

A secção do condutor, utilizando esse critério, pode ser determinado pela equação 5

$$S_C = \frac{100 * \sqrt{3} * \rho * \sum(L_C * I_C)}{\Delta V_C * V_{FF}} \quad (5)$$

Em que,

SC – Seção mínima do condutor, em mm²;

ρ – Resistividade do material condutor (cobre), 1/56 [Ω.mm²/m];

LC – Comprimento do circuito, em m;

Ic – Corrente total do circuito, em A;

ΔVC – Queda de tensão máxima admitida, em %;

Vff – Tensão entre fase, em V.

2.2.2.3 Critério de corrente de curto-circuito

Como determinado pela NBR 5410, e tendo conhecimento da corrente de curto-circuito, este critério visa estabelecer uma secção do condutor em que um determinado curto-circuito, a sua isolação não seja afetada por qualquer efeito térmico que o sistema seja submetido. A secção, nesse critério, pode ser determinada pela equação 6.

$$S_C = \frac{\sqrt{T_e} * I_{cs}}{0,34 * \sqrt{\log\left(\frac{234 + T_f}{234 + T_i}\right)}} \quad (6)$$

Em que,

I_{cs} - corrente simétrica de curto-circuito trifásica, ou fase e terra, em kA;
 T_e – tempo de eliminação do defeito, em s; T_f – temperatura máxima do curto-circuito suportada pelo material isolante do condutor, em °C;

T_i – temperatura máxima admissível pelo condutor em regime normal de operação, em °C;

Os valores de T_i e T_f são conhecidos para os tipos de isolamento:

Condutores de cobre com isolamento PVC/70 °C:

$T_f = 160$ °C;

$T_i = 70$ °C;

Condutores de cobre com isolamento XLPE:

$T_f = 250$ °C;

$T_i = 90$ °C;

2.2.3 Corrente de curto-circuito

O cálculo da corrente de curto-circuito é absolutamente necessário para a implementação do projeto para obter os parâmetros ideais do dispositivo de proteção. O valor da corrente de curto-circuito é muito alto, mas a duração é de segundos fracionários. A causa mais comum é a perda de isolamento. Um elemento energizado do sistema elétrico deve ser danificado, isso pode ser evitado por dispositivos de proteção dimensionados adequadamente. O valor de pico da corrente de curto-circuito varia de 10 a 100 vezes da corrente nominal, a depender de onde ocorreu a falha.

A corrente de curto-circuito pode ser determinada pela equação 7:

$$I_{cs} = \frac{V_n}{\sqrt{3} * Z} \quad (7)$$

I_{cs} - Corrente de curto-circuito;

Vn- Tensão nominal;

Z- Soma das impedâncias em um determinado ponto.

2.2.4 Fatores de projeto

Com o intuito de garantir uma certa economia, de forma eficiente e confiável, para um projeto elétrico industrial, pode-se considerar alguns fatores para que não seja utilizado alguns valores de potência de forma exagerada, o que pode acarretar em altos custos durante a execução do projeto.

2.2.4.1 Fator de demanda

É a divisão da demanda máxima do sistema pela carga total conectada. Normalmente esse valor é menor do que um, caso isto não ocorra, a carga conectada for ligada simultaneamente (MAMEDE FILHO, 2017).

$$F_d = \frac{D_{m\acute{a}x}}{P_{inst}} \quad (8)$$

Em que,

$D_{m\acute{a}x}$ - Demanda máxima instalada;

P_{inst} - Potência da carga instalada;

2.2.4.2 Fator de simultaneidade

Segundo Mamede Filho (2017), é a relação entre a demanda máxima de um grupo de aparelhos e a soma das demandas individuais dos aparelhos do mesmo grupo em um intervalo de tempo. O fator de simultaneidade resulta da correspondência das demandas máximas devido ao tipo de operação de alguns dos aparelhos do grupo de carga. A tabela 2.5 apresenta os valores dos fatores de simultaneidade para diversas potencias de motores agrupados.

Tabela 2.5- Fator de simultaneidade

Aparelhos (CV)	NÚMERO DE APARELHOS							
	2	4	5	8	10	15	20	50
Motores de 3/4 a 2,5	0,85	0,8	0,7	0,7	0,6	0,5	0,5	0,4
Motores de 3 a 15	0,85	0,8	0,7	0,75	0,7	0,65	0,55	0,45
Motores de 20 40	0,8	0,8	0,8	0,75	0,65	0,6	0,6	0,5
Acima de 40	0,9	0,8	0,7	0,7	0,65	0,65	0,65	0,6
Retificadores	0,9	0,9	0,85	0,8	0,75	0,7	0,7	0,7
Soldadores	0,45	0,45	0,45	0,4	0,4	0,3	0,3	0,3
Fornos resistivos	1	1	-	-	-	-	-	-
Fornos de indução	1	1	-	-	-	-	-	-

Fonte: (MAMEDE FILHO,2017)

2.2.4.3 Fator de utilização

Conforme Mamede Filho (2017), o fator de utilização é o fator pelo qual deve ser multiplicada a potência nominal do aparelho para se obter a potência média absorvida por ele, nas condições de utilização. A tabela 2.6 apresenta os valores do fator de utilização de alguns motores elétricos.

Tabela 2.6 – Fator de utilização

Aparelhos	Fator de utilização
Fornos a resistência	1
Secadores, caldeiras, etc.	1
Fornos de indução	1
Motores de 3/4 a 2,5	0,7
Motores de 3 a 15	0,83
Motores de 20 40	0,85
Acima de 40	0,87

Fonte: (MAMEDE FILHO,2017)

2.2.5 Cálculo da demanda dos motores

Para o cálculo da demanda de motores trifásicos, deve-se considerar alguns fatores e rendimento de cada um. De acordo com Mamede Filho (2017), para obter a demanda dos motores deve-se utilizar as seguintes equações:

$$P_{ein} = P_n * F_u \quad (9)$$

Em que:

P_{eim} - Potência no eixo do motor;

P_n - Potência nominal do motor;

F_u - Fator de utilização do motor.

Assim,

$$D_m = \frac{P_{eim} * 0,736}{\eta * FP} \quad (10)$$

Em que,

FP – Fator de potência;

η – Rendimento do motor;

2.2.6 Proteção

Condutores e dispositivos, que geralmente são componentes de sistemas industriais de baixa tensão, muitas vezes enfrentam correntes e tensões que excedem os valores esperados para operação na área para a qual foram projetados. Essas demandas geralmente vêm na forma de sobrecargas, correntes de curto-circuito, sobretensões e subtensões. Todas essas magnitudes anômalas devem ser limitadas em duração e módulo (MAMEDE FILHO,2017).

Os dispositivos de proteção mais empregados nas instalações de baixa tensão, são os relés térmicos, fusíveis e os disjuntores.

Conforme a NBR 5410 (2004), como pode ser observado na equação 11 e 12, existem duas condições básicas para a proteção confiável da corrente de curto-circuito de um sistema elétrico.

$$I_{int} > I_k \quad (11)$$

$$I^2t < K^2S^2 \quad (12)$$

I_{int} - capacidade de interrupção dos dispositivos de proteção;

I_k - corrente de curto-circuito no ponto de falta;

I^2t - Integral de Joule que o dispositivo de proteção deixa passar, onde I é a corrente de curto-circuito presumida simétrica e t é o tempo de eliminação do

defeito;

K^2S^2 - Integral de Joule necessário para aquecer o condutor desde a temperatura máxima para o serviço contínuo até a temperatura limite de curto-circuito. O valor de K pode ser obtido pela tabela 2.7.

Tabela 2.7- Valores de k para condutores com isolamento de PVC, EPR ou XLPE

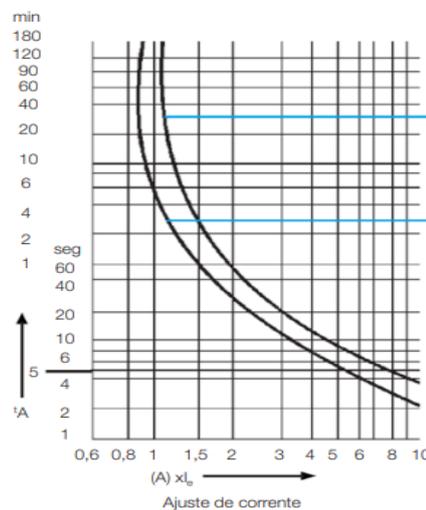
Material do condutor	ISOLAÇÃO DO CONDUTOR					
	PVC				EPR/XLPE	
	≤300 mm ²		>300mm			
	TEMPERATURA					
	INICIAL	FINAL	INICAL	FINAL	INICIAL	FINAL
	70°C	160°C	70°C	140°C	90°C	250°C
Cobre	115		103		143	
Alumínio	76		68		94	
Emendas soldadas em condutores de cobre	115	-	-		-	

Fonte: (NBR 5410,2004)

2.2.6.1 Relé térmico de sobrecarga

Utilizados para proteções contra sobrecargas de motores elétricos, São dispositivos com um par de lâminas feitas de metais com diferentes coeficientes de expansão térmica linear, em que o bimetálico é aquecido quando uma corrente de intensidade definida passa por ele, causando expansão térmica do bimetálico sob a ação da expansão térmica de as lâminas. Para a especificação do relé térmico basta ter conhecimento da corrente nominal do motor e especificar um dispositivo que tenha uma faixa de ajuste que contemple esse valor de corrente. A figura mostra uma curva característica de um relé térmico da WEG.

Figura 2.9- Curva de um relé térmico



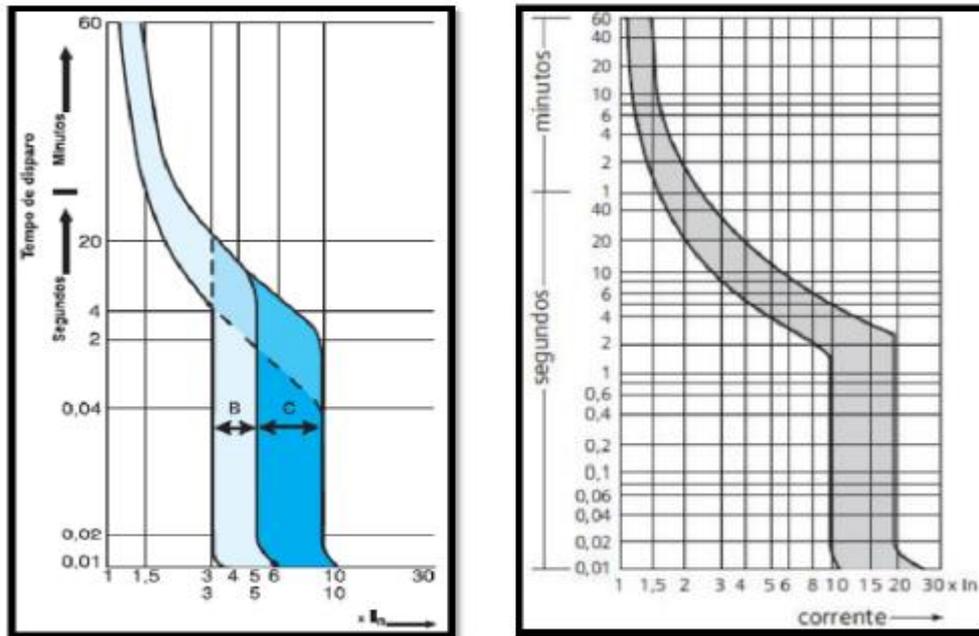
Fonte: (MAMEDE FILHO,2017)

2.2.6.2 Disjuntores de baixa tensão

Dispositivos que protegem o circuito contra correntes superiores as correntes de operação normal do circuito. Podem fazer diversos tipos de proteções, a depender do seu modelo construtivo. Tem-se os termomagnéticos, que protegem o circuito contra um sobrecarga e um curto-circuito, os magnéticos apenas contra curto-circuito, entre outros. Para a especificação desses dispositivos deve-se levar em consideração os níveis de tensão, e os valores de

corrente de curto-circuito e nominal do sistema. A figura 2.15 apresenta uma curva característica de um disjuntor termomagnético.

Figura 2.10-Curva de um disjuntor termomagnético



Fonte: (MAMEDE FILHO,2017)

2.2.6.3 Disjuntor Motor

É um dispositivo de proteção que associa a proteção de sobrecarga e curto-circuito e a capacidade de manobra dos motores elétricos de indução. Na realidade, o disjuntor motor é um disjuntor termomagnético adaptado para permitir a partida, o comando e a proteção dos motores elétricos (MAMEDE FILHO,2017). Uma das vantagens desse dispositivo é a economia de espaço que ele oferece em um CCM, centro de controle de motores. A forma de especificação é a mesma de um disjuntor termomagnético.

Figura 2.11 – Disjuntor Motor



Fonte: (WEG,2023)

2.2.6.4 Fusível

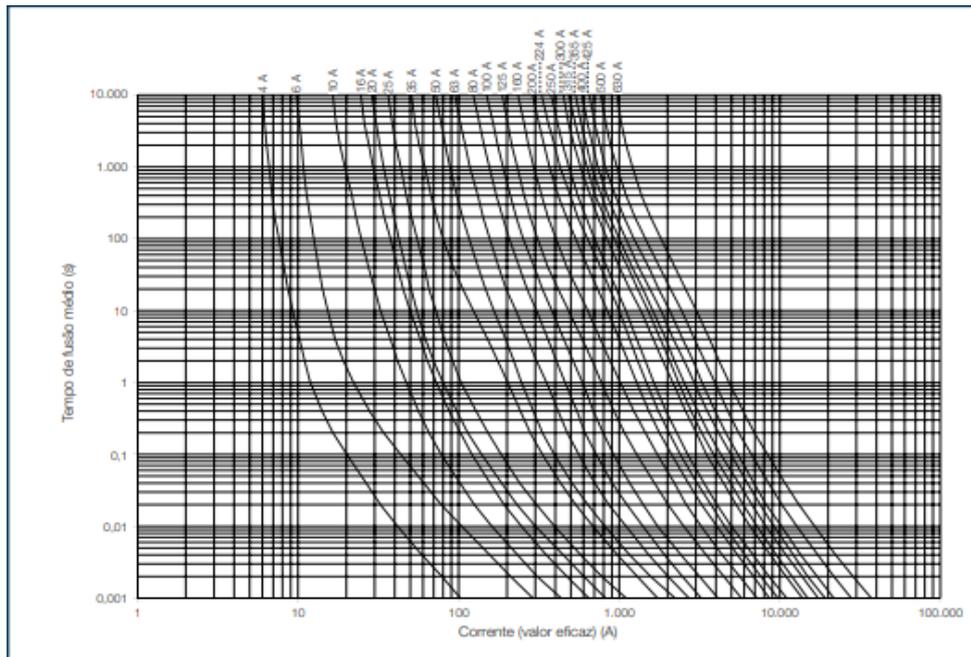
Um outro dispositivo de proteção bastante utilizado em projetos elétricos, são os fusíveis. Esses dispositivos de proteção, abre o circuito inserido e elimina a corrente quando o valor de referência é excedido por um determinado período de tempo por meio da fusão de peças especialmente projetadas. Um fusível segue uma curva de tempo versus corrente, com a extremidade inferior da curva sendo a posição de tempo aceitável e magnitude de corrente, e a extremidade superior sendo a região onde o fusível derrete e corta o caminho da corrente.

Figura 2.12 - Fusível



Fonte: (WEG,2023)

Figura 2.13 – Curvas características de um fusível



Fonte: (WEG,2023)

2.2.7 Acionamentos dos Motores Elétricos

Os motores elétricos requerem alta corrente da rede elétrica durante a partida. Isso é da ordem de 6 a 10 vezes a corrente nominal. Nessas condições, o circuito originalmente projetado para fornecer a potência necessária ao motor será submetido a uma corrente de acionamento por um período de tempo. Com isso, o sistema fica exposto a quedas de tensão, normalmente muito superiores aos limites estabelecidos para operação em condições normais. Isso pode levar a sérios problemas de funcionamento dos dispositivos de comando e proteção e dos demais circuitos da instalação (MAMEDE FILHO,2017).

Um dispositivo bastante utilizado no processo de acionamento são os contadores. São interruptores eletromagnéticos usados para ligar e desligar cargas elétricas (como lâmpadas, motores, válvulas e outras cargas).

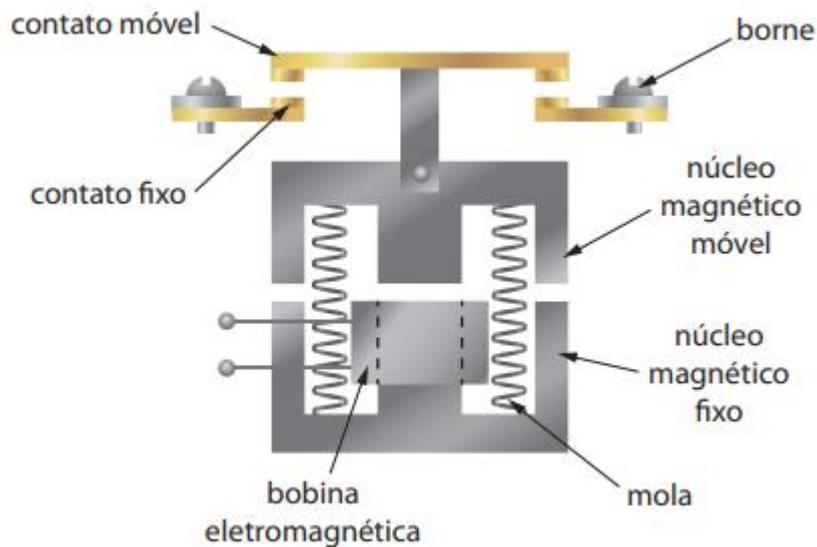
Figura 2.14 - Contatores



Fonte: (WEG,2023)

Um contator consiste basicamente em: Núcleos fixos e móveis, bobinas eletromagnéticas, contatos fixos e móveis, terminais ou conectores, molas e caixas externas ou invólucros. A figura 2.20 mostra as partes internas de um contator.

Figura 2.15- Interno de um contator



Fonte: (SENAI,2013)

Para que os motores e todo o sistema elétrico não sofra com os impactos gerados pelas correntes de acionamento dos motores, existem alguns sistemas

de partidas de motores que evitam esses distúrbios durante a partida dos motores.

2.2.7.1 Partida direta

Segundo Moro Franchi (2008), a partida direta é o método mais simples de acionar um motor elétrico. Pois, o motor é ligado diretamente na rede. Por determinação das concessionárias, só podem utilizar esse sistema de acionamento, motores de até 10 CV, em instalações industriais. De acordo com Moro Franchi (2008), a partida direta pode ser utilizada nas seguintes situações:

- Motores de baixa potência para limitar as perturbações durante o acionamento;
- Motor que não necessita de uma aceleração progressiva;
- Conjugado de partida elevado.

Pode-se elencar algumas vantagens com a chave de partida direta:

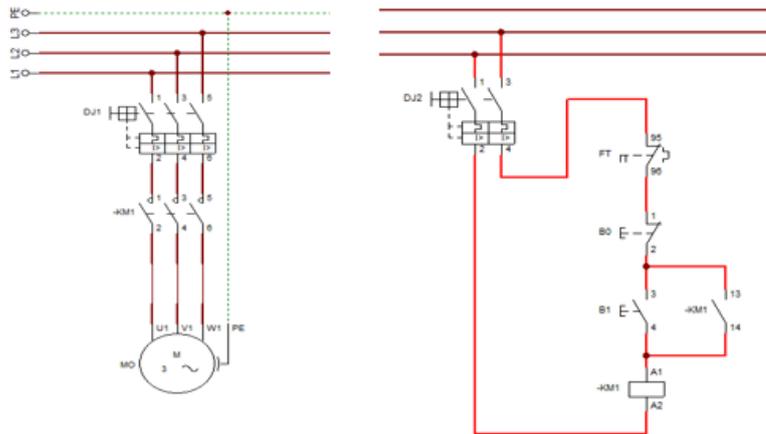
- Baixo custo;
- Conjugado de partida elevado;
- Equipamentos simples;

Entretanto, existem algumas desvantagens:

- Alto valor de corrente de partida;
- Limitações de manobras;
- Limitações de potência dos motores a serem utilizados

O esquema de ligação de uma partida direta pode ser observado na figura 2.16.

Figura 2.16 – Diagrama de uma partida direta



Fonte: Autor

O contatores utilizados para acionamentos de motores elétricos são do tipo AC3, para que os motores possam ligar e desligar em qualquer situação. Desta forma, para a partida direta os contatores devem atender as seguintes situações:

$$I_e \geq I_n \quad \text{em regime permanente} \quad (13)$$

$$I_e \geq \frac{I_{conex\tilde{a}o}}{6} \quad \text{na partida} \quad (14)$$

$$I_e \geq \frac{I_{ruptura}}{8} \quad \text{desconex\~{a}o eventual} \quad (15)$$

Em que,

I_n - Corrente manual do motor;

$I_{conex\tilde{a}o}$ – máxima corrente no estante da partida;

$I_{ruptura}$ – máxima corrente a ser interrompida eventualmente.

2.2.7.2 Partida estrela-triângulo

Conforme Mamede Filho (2017) O motor dará partida com uma configuração em estrela até atingir uma velocidade próxima à velocidade de

operação, quando essa conexão é interrompida e uma conexão em delta é realizada. A troca de conexões durante a inicialização envolve um aumento na corrente e, como resultado, os benefícios da redução de corrente são perdidos se a troca for feita de forma antecipada.

A partida estrela-triângulo apresenta as seguintes vantagens:

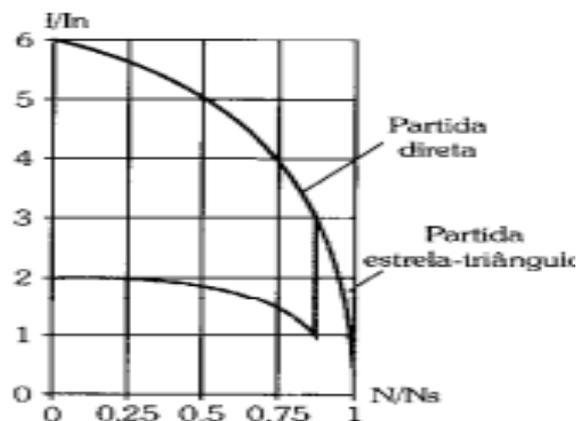
- Custo reduzido;
- Elevado número de manobras;
- Corrente de partida reduzida 1/3 da corrente nominal;
- Baixas quedas de tensão;

Entretanto, existem algumas desvantagens nesse acionamento:

- Aplicação apenas para motores com dois níveis de tensão que possuem de no mínimo seis terminais;
- Conjugado de partida reduzido à 1/3 do conjugado nominal;
- O motor deve alcançar a pelo menos 90% da sua velocidade nominal para que seja feita a comutação.

A figura 2.17, mostra um comparativo entre a partida direta e a partida estrela-triângulo em função da corrente de partida pela velocidade do motor.

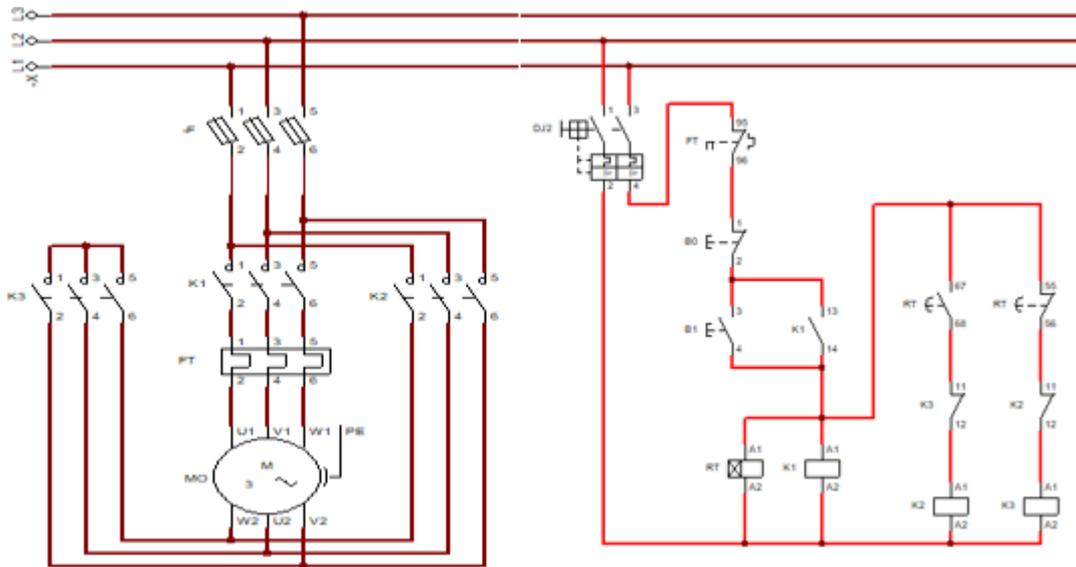
Figura 2.17- Corrente na chave estrela-triângulo



Fonte: (MORO FRANCHI,2008)

O diagrama de uma partida estrela-triângulo está apresentado na figura 2.18.

Figura 2.18 – Diagrama da chave estrela-triângulo



Fonte: (Autor)

Os contadores devem atender as seguintes regras:

- Contador K1 e K2:

$$I_{regime} = \frac{I_n}{\sqrt{3}} \quad (16)$$

$$I_{rup} = \frac{I_p}{\sqrt{3}} \quad (17)$$

$$I_{conex\tilde{a}o} = \frac{I_p}{3} \quad (18)$$

Assim, para os contadores K1 e K2 deve-se atentar para as seguintes condições:

$$I_e \geq I_{regime} \quad (19)$$

$$I_e \geq \frac{I_{rup}}{8} \quad (20)$$

$$I_e \geq \frac{I_{conex\tilde{a}o}}{8} \quad (21)$$

- Contator K3:

O contator K3 será responsável apenas de fazer a ligação em estrela, desta forma as correntes de regime permanente e de conexão podem ser desconsideradas para a sua especificação.

Desta forma, a corrente de ruptura é a única corrente utilizada para este dimensionamento, equação 17. O contator deve-se atender a condição da equação 20.

2.2.7.3 Chave compensadora

Uma chave de compensação consiste basicamente em um autotransformador com diversas derivações, projetado para controlar o processo de partida. Este autotransformador é conectado ao circuito do estator. O ponto estrela do autotransformador é acessível, pode entrar em curto durante a partida e será desconectado assim que o motor for conectado diretamente à rede elétrica. Este tipo de partida é normalmente utilizado em motores de alta potência que executam cargas de alto índice de atrito.

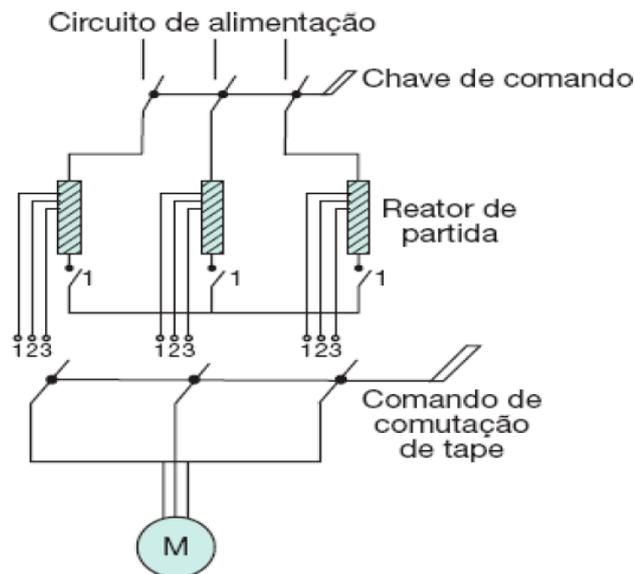
As vantagens para essa chave de acionamento são:

- Aplicação em qualquer tipo de ligação;
- Não apresenta transitório elevado na comutação;
- Redução de corrente de partida de acordo com o TAP;
- Pode ser utilizada para partir mais de um motor, um de cada vez.

Já as desvantagens são:

- Alto custo;
- Requer um maior espaço;
- Número de operações reduzidos.

Figura 2.19- Diagrama da chave compensadora



Fonte: (MAMEDE FILHO,2017)

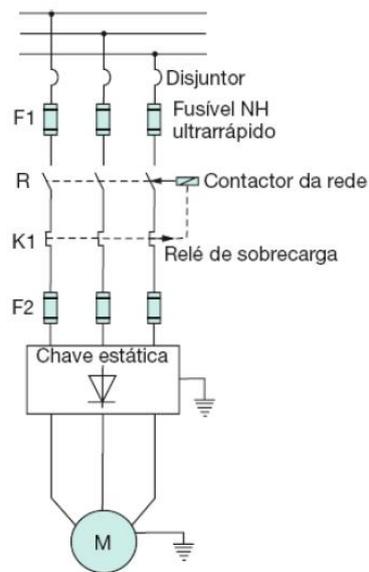
2.2.7.4 Chave Softer-starter

Uma soft starter, também conhecido como chave estática, é uma série de circuitos eletrônicos com um microprocessador que modula um tiristor para reduzir o torque de partida e, portanto, é usado em uma ampla variedade de aplicações no campo industrial. No entanto, é imprescindível o uso de contatores para auxiliar na abertura e fechamento do circuito.

Pode ser aplicada em diversas formas:

- Reduz a corrente de partida ao ligar o motor elétrico e reduz a queda de tensão na rede elétrica.
- Aceleração da rampa do motor para proteção de pessoas e produtos.
- Possibilidade de acionamento de vários motores a partir de uma única chave.

Figura 2.20- Digrama da chave softer-starter



Fonte: (MAMEDE FILHO,2017)

2.2.7.5 Conversor de frequência

Também chamado de inversor de frequência, os conversores tem a função de controlar a velocidade de um motor, mantendo o seu conjugado.

Usando um conversor de frequência, a tensão CA da linha de alimentação do motor é retificada por meio de seis tiristores e a largura de pulso resultante é modulada para produzir uma corrente trifásica de frequência e tensão variáveis. Todo esse processo é feito por um microprocessador, permitindo que o motor alimente o eixo na maior potência possível dentro de uma faixa de rotação que varia de 0 a 1.800 rpm, por exemplo para um motor de 4 polos. Para executar essas tarefas, o processador usa algoritmos de controle vetorial de fluxo para ajustar o fluxo do rotor e, portanto, o fluxo do estator, por meio de parâmetros do motor e variáveis operacionais, como tensão, corrente e frequência. É assim que mantém esse fluxo constante.

3 Projeto elétrico

Após a revisão bibliográfica feita no capítulo 2, pode-se iniciar as especificações do projeto elétrico industrial. Todo o estudo apresentado será aplicado neste capítulo.

O diagrama unifilar da indústria, será apresentado no item 3.9.2, feito pelo software DOC,

3.1 Dados do galpão industrial

A indústria têxtil a ser projetada, será uma um galpão industrial onde é feito o processo de fiação através de fibras de algodão. O galpão conta com uma área de 800 m² (20X40) e um pé direito de 5m. Nesta área ficará todo o maquinário para a produção, que foi estudado no item 2.1 do capítulo anterior.

O ponto de conexão da indústria terá um fornecimento elétrico com as seguintes características:

- Tensão nominal: 13,8 kV;
- Frequência: 60 Hz;
- Potência de curto-circuito: 150 MVA;

3.2 Dados dos motores

Para a produção será necessário a utilização de alguns motores elétricos, para atender todo o processo de fiação. Os motores serão organizados em CCM's, que irão atender a setores determinados. A tabela 3.1 irá mostrar como irá ficar essa organização, juntamente com as características de cada um dos motores a serem utilizados.

Tabela 3.1-Motores elétricos a serem utilizados

Setor de produção	CCM	Nº de motores	Potência (CV)	Ip/In	η	FP	In	V _n
Batedores	CCM 1	2	15	8.3	92.4	0.83	37.6/21.8 A	380/220
Cardas		4	5	7.6	89.5	0.80	13.6/7.85 A	380/220
Passadores		5	10	8.2	91.7	0.84	25.6/14.8 A	380/220
Maçaroqueiras	CCM 2	2	7,5	9.0	91.7	0.82	19.2/11.1 A	380/220
Filatórios		5	10	8.2	91.7	0.84	25.6/14.8 A	380/220
Bobinadeiras	CCM 3	2	20	9.0	93.0	0.81	52.2/30.2 A	380/220

Fonte: (Autor adaptado WEG, 2023).

Os motores utilizados serão da linha W22 IR3 Premium, da marca WEG, e todos de 4 polos.

3.3 Iluminação

Para a iluminação do galpão industrial, será utilizado o método dos lumens, que foi apresentado no item 2.2.1.1. A luminária a ser utilizada será a HDK 472 - 1 lâmpada de 400 W.

De acordo com a tabela 2.2, será adotado uma iluminância de 1000 lux, por ser uma indústria têxtil. O fator de depreciação será de 0,70 para refletores industriais para lâmpadas de vapores metálicos.

Considerando a altura do pé direito útil igual à 2,5m, índice do recinto será de:

$$K = \frac{20 * 40}{2,5 * (20 + 40)} = 5,33 \cong 5$$

Analisando a tabela do fator de utilização (MAMEDE FILHO, 2017, pg.95), para a luminária HDK 472 - 1 lâmpada de 400 W, será adotado o valor de 0,85.

Desta forma, tem-se:

$$\Psi = \frac{1000 * 800}{0,70 * 0,85} = 1344538 \text{ lumens}$$

Sendo assim, de acordo com a tabela de características das lâmpadas (MAMEDE FILHO,2017, pg.70) as lâmpadas de vapor metálico 400 W, possuem 22000 lumens. Portanto no sistema de iluminação do galpão terá:

$$N = \frac{1344538}{22000} \cong 62 \text{ lâmpadas de vapor de mercúrio de } 400W$$

3.4 Demanda dos quadros elétricos

O projeto elétrico terá 5 quadros de distribuição, que são:

- 1 Quadro geral de força (QGF);
- 3 Centros de controle de motores (CCM);
- 1 Quadro de distribuição de lâmpadas e tomadas de uso geral (QDL).

Utilizando a equação 9 e o fator de utilização da tabela 2.6 tem-se na tabela 3-2 a potência solicitada no eixo de cada motor.

Tabela 3.2 – Potência solicitada no eixo do motor

Potência do motor (CV)	Potência solicitada no eixo do motor (CV)
5	4,15
7,5	6,23
10	8,3
15	12,45
20	17

Fonte: (Autor)

Já a tabela 3-3 apresenta o valor da demanda solicitada por cada motor, utilizando a equação 10.

Tabela 3.3 – Demanda Solicitada por motor

Potência do motor (CV)	Demanda (kVA)
5	4,27
7,5	6,1
10	7,93
15	11,95
20	16,61

Fonte: (Autor)

Com esses valores de demanda solicitada por cada motor, para encontrar o valor de demanda de cada CCM utiliza-se a quantidade de motores e o fator de simultaneidade da seguinte maneira:

$$D_{ccm1} = 2 * 11,95 * 0,85 + 4 * 4,27 * 0,8 + 5 * 7,93 * 0,75 = 63,72 \text{ kVA}$$

$$D_{ccm2} = 2 * 6,1 * 0,85 + 5 * 7,93 * 0,75 = 40,11 \text{ kVA}$$

$$D_{ccm3} = 2 * 16,61 * 0,80 = 26,58 \text{ kVA}$$

Já para QDL, teremos a demanda da iluminação será considerado um fator de potência de 0,9 e fator de simultaneidade unitário para os primeiros 20 kW e 0,7 para os demais. Sendo assim:

$$P_{QDL} = 62 * 400 = 24,8 \text{ kW}$$

$$D_{QDL} = 20 + 4,8 * 0,7 = 23,36 \text{ kW}$$

$$D_{QDL} = \frac{23,36}{0,9} = 26 \text{ kVA}$$

Além desta demanda da iluminação, será considerado uma demanda de 40 kVA, para circuitos de tomadas de uso geral, totalizando 66 kVA.

Portanto, considerando todas as demandas encontrada, a indústria possui a seguinte demanda total:

$$D_{total} = 63,72 + 40,11 + 26,58 + 66 = 196,41 \text{ kVA}$$

Considerando a demanda total da indústria, o transformador comercial que possa atender a indústria será de 225 kVA da marca WEG, com as seguintes características:

- Tensão nominal de AT: 13,8 kV;
- Tensão nominal BT: 0,380 kV;
- Impedância: 4,5 %.
- Refrigeração: ONAN – Óleo natural, ar natural.
- Frequência: 60 Hz.

O fator de demanda será de:

$$F_d = \frac{196,41}{225} = 0,87$$

3.5 Cálculo da corrente de curto-circuito

Para o cálculo da corrente de curto-circuito, é utilizado os valores de impedância do transformador, já fornecida pela placa do equipamento com o valor de 4,5%, potência de curto circuito, nominal e o nível de tensão.

$$Z_{e[pu]} = \frac{S_T}{S_{cc}} = \frac{225 \text{ kVA}}{150 \text{ MVA}} = 0,0015$$

$$I_{cc} = \frac{I_{nst}}{Z_t + Z_e}$$

$$I_{nst} = \frac{225 * 10^3}{\sqrt{3} * 380} = 341,85 \text{ A}$$

$$I_{cc} = \frac{341,85}{0,045 + 0,0015} = 7,35 \text{ kA}$$

3.6 Dimensionamento dos condutores

Para o dimensionamento das seções dos condutores, será utilizado os 3 critérios apresentados no item 2.2.2. Os condutores a serem adotados serão de cobre, com isolamento de PVC 70°C e com o tipo de instalação B1, com 3 fios carregados. O limite adotado para a queda de tensão será de 5%.

3.6.1 Critério de capacidade de corrente

Será utilizada a equação 4 e os valores das correntes nominais do motor para que seja obtido os valores da seção pela tabela 3-4. Ainda, determinando o valor de 2,5 mm², para seção mínima

Tabela 3.4 – Seção pelo critério da capacidade de corrente

Setor	Ic (A)	Seção (mm ²)
Motor 5 CV	7,85	2,5
Motor 7,5	11,1	2,5
Motor 10 CV	14,8	2,5
Motor 15 CV	21,8	4
Motor 20 CV	30,2	6
CCM1	149	70
CCM2	96,2	35
CCM3	60,4	16
QDL	100,27	35
QGF	341,85	240

Fonte: (Autor)

3.6.2 Critério de limite de queda de tensão

O comprimento de circuito do QGF até os demais quadros será adotado de 40m e do CCM até os motores, de 20 m. Portanto, através da equação 5 e $\Delta V = 5\%$, e a resistividade do cobre igual a $0,0172 \Omega$ tem-se:

Tabela 3.5 Seção pelo critério de queda de tensão

Setor	Ic (A)	Seção (mm ²)	Seção adotada (mm ²)
Motor 5 CV	7,85	0,26	2,5
Motor 7,5	11,1	0,361	2,5
Motor 10 CV	14,8	0,48	2,5
Motor 15 CV	21,8	0,71	4
Motor 20 CV	30,2	0,98	6
CCM1	149	9,7	70
CCM2	96,2	6,26	35
CCM3	60,4	3,93	16
QDL	100,27	6,52	35
QGF	341,85	22,25	240

Fonte: (Autor)

Pode-se observar, que a queda de tensão nessa instalação não possui tanta relevância para o dimensionamento dos condutores

3.6.3 Critério de capacidade de corrente de curto-circuito

Considerando o valor da corrente de curto circuito igual 7,32 kA, que foi calculada no item 3.5 e utilizando a equação 6, é possível dimensionar o condutor por esse critério. Considerando um tempo de 0,5 s para que seja eliminado o curto-circuito, a seção obtida será de 45,36 mm², adotando como comercial 50 mm². Desta forma será considerado o valor de 240 mm² para o condutor que irá do transformador até o QGF, o mesmo terá como proteção o disjuntor T5N400 da ABB, que atenderá a essas especificações.

Além disso, as seções definidas anteriormente, atendem a equação 12, apresentada no 2.2.6, dentro dos critérios térmicos para que não seja afetada a isolamento do condutor durante uma corrente de curto circuito.

3.7 Acionamento dos motores

Para os motores com potência de até 10 CV, o acionamento será feito através da partida direta, pois até essa potência, a concessionária permite esse tipo de acionamento e o de 15 CV, será acionado via partida estrela-triângulo e o de 20 CV será utilizado o dispositivo de partida suave, o sfter-starter.

3.7.1 Especificação Partida direta

Os motores com as potências de até 10 CV, serão acionados via partida direta. Esse acionamento utiliza-se apenas contadores, os quais são especificados de acordo com os critérios do item 2.2.7.1. A tabela 3-6 apresenta os contadores utilizados para cada um dos motores.

Os contadores utilizados serão da AX da fabricante ABB.

Tabela 3.6- Contadores da partida direta

Potência	Contador
5	AX9
7,5	AX12
10	AX18

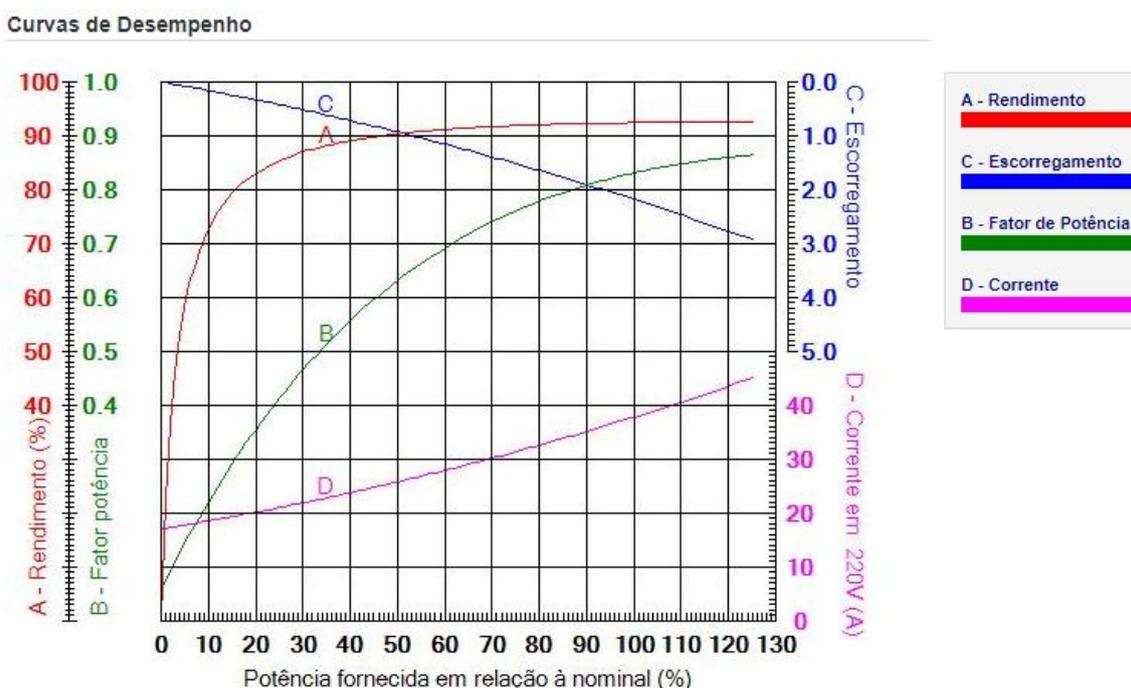
Fonte: (Autor)

3.7.2 Especificação partida estrela-triângulo

Para o motor de 15 CV será utilizado a partida estrela-triângulo, que pode ser especificada através dos critérios apresentados no item 2.2.7.2. Sabe-se que esse acionamento se dispõe de apenas 3 contatores. Por coincidência, todos os contatores são iguais para esse acionamento, o AX18 da ABB.

A figura 3.1 apresenta a curva de desempenho do motor de 15 CV, que será instalado.

Figura 3.1- Curva de desempenho do motor de 15 CV



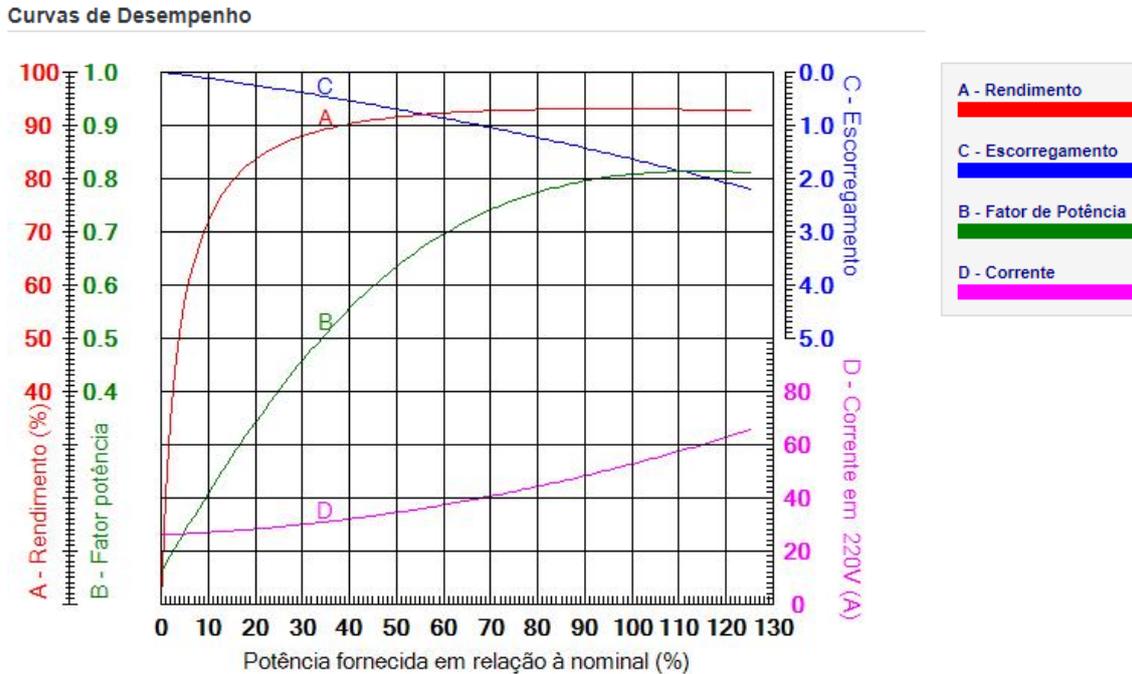
Fonte: (WEG, 2023)

3.7.3 Especificação da Softer- Starter

Utilizada apenas para os motores de 20 CV a softer-starter necessita apenas dos valores de tensão e corrente nominais do motor. Desta forma, para este motor será utilizado a SSW070045T5SZ da fabricante WEG que permite uma potência máxima de 30 CV para uma tensão de 380 V.

A figura 3.2, apresenta a curva de desempenho do motor de 20 CV.

Figura 3.2- Curva de desempenho do motor de 20 CV



3.8 Especificação dos dispositivos de proteção

Os motores terão a sua proteção feita por disjuntores-motores e os quadros de distribuição terão sua proteção por disjuntores em caixa moldada. Todos serão da fabricante ABB. A especificação será feita com base nos valores das correntes nominais e de curto circuito.

Tabela 3.7 – Proteção dos motores

Potência (CV)	In (A)	Disjuntor
5	7,85	MS132-10
7,5	11,1	MS132-12
10	14,8	MS132-16
15	21,8	MS 325-25
20	30,2	MS450- 32

Fonte: (Autor)

Tabela 3.8 – Proteção dos quadros

Quadro	In (A)	Disjuntor
CCM1	149	XT1 B 160 TMD 160-1600
CCM2	96,2	XT1 B 160 TMD 100-1000
CCM3	60,4	XT1 B 160 TMD 63-630
QDL	100,3	XT1 B 160 TMD 125-1250
QGF	341,85	T5 N 400 TMA 400-4000

Fonte: (Autor)

3.9 Especificação da proteção de forma computacional

No processo de especificação através de uma ferramenta computacional, será utilizado o software DOC, da fabricante ABB. Essa ferramenta consegue determinar as proteções de um determinado diagrama unifilar, de forma prática e automática, fazendo os estudos de seletividade, para manter um sistema mais eficiente.

3.9.1 Alimentação da rede

Primeiramente, para o início da simulação, é inserido os valores fornecidos pela concessionária, para a alimentação do sistema elétrico que será utilizada na indústria. Esses valores, já foram informados, que são:

- Tensão nominal: 13,8 kV;
- Frequência: 60 Hz;
- Potência de curto-circuito: 150 MVA;

Figura 3.3- Inserindo dados de alimentação elétrica

Assistente de projeto - Fonte de alimentação MT

Ur [V]

I''k [kA]

3Io [A]

Valores padrão seção BT

[V] [Hz]

Cálculo de Ik

Dados para curto-circuito trifásico

Potência de curto-circuito LLL conhecida [MVA]

Dados para curto-circuito Fase-Terra

Capacidade para terra [μ F]

Bobina de Petersen

Resistência [Ω]

Indutância [mH]

ABB

Opções

OK Cancelar

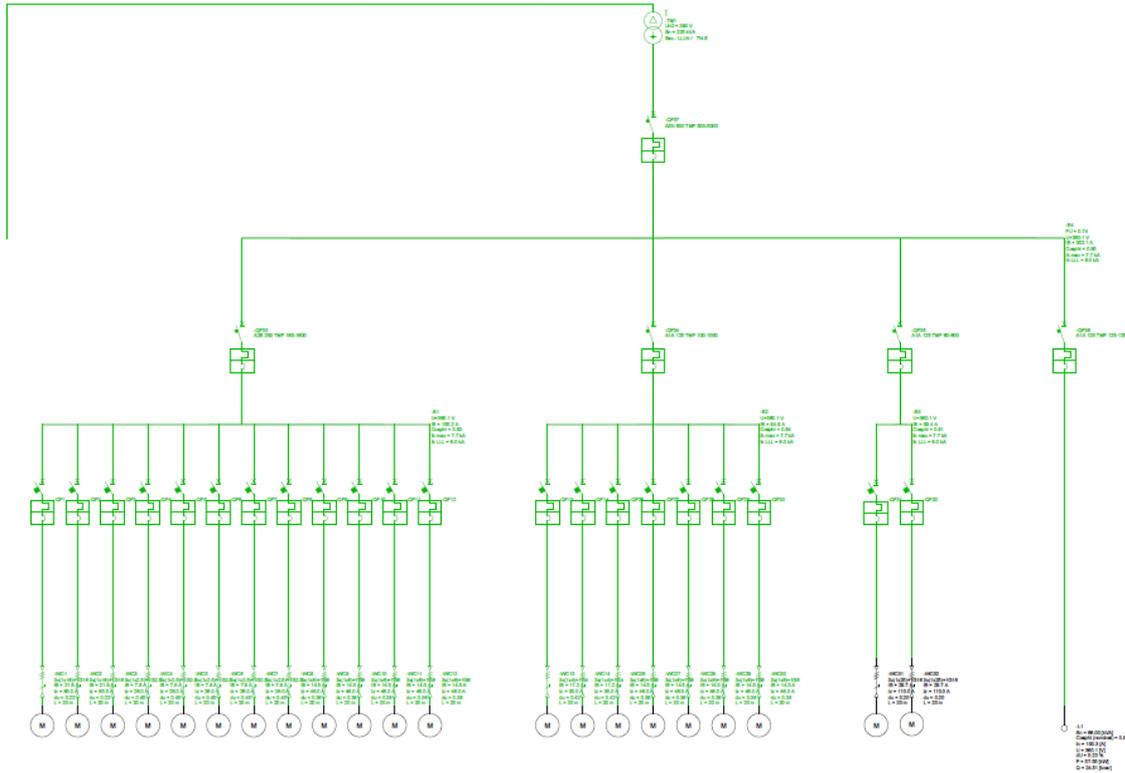
Fonte: (Autor)

A corrente curto-circuito é calculada automaticamente, basta inserir a potência de curto e o nível de tensão.

3.9.2 Desenho do diagrama unifilar

Para desenhar o diagrama unifilar, basta inserir os componentes de média tensão, como o transformador, e de baixa tensão, nesse caso, os motores e as cargas genéricas, que representa a iluminação e as tomadas de uso geral, como é mostrado na figura 3.4.

Figura 3.4-Diagrama unifilar



Fonte: (Autor)

Com as cargas já inseridas, as mesmas serão configuradas de acordo com suas próprias características, como potência, fator de potência, rendimento, correntes nominais, entre outras, dados, esses, fornecidos em catálogos. Essa configuração pode ser observada na figura 3.5

Figura 3.5- Inserindo dados nos motores

Tensão nominal	V _n	380	[V]
Corrente nominal	I _n	21.7921	[A]
Potência ativa nominal	P _n	11	[kW]
Eficiência	η	0.924	
Fator de potência nominal	COSφ _n	0.83	

Coordenação

Método de partida: Partida direta (DOL)

Classe de Trip: Partida normal (Classe 10)

Tipo de coordenação: Tipo 2

Simbolo: <padrão> Opções avançadas

ABB OK Cancelar

Fonte: (Autor)

Pelo fato de o software ser da ABB, é preciso inserir as características de cada um dos motores, que foram escolhidos da fabricante WEG, e das demais cargas.

3.9.3 Cálculos e especificações

Com todo o diagrama feito, com as características e dispositivos proteção já inseridos, será utilizada a ferramenta “Calcular”, mostrada na figura 3.6, para que seja feito todos os cálculos e especificações automaticamente.

Figura 3.6 – Ferramenta calcular



Fonte: (Autor)

O valor da corrente de curto-circuito pode ser visto na figura 3.7.

Figura 3.7- Corrente de curto circuito do sistema.

	[8ms]	
Ib	7.70	[kA]
Idc	0.84	[kA]
Ib Asym	7.74	[kA]

Fonte: (Autor)

Observa-se que a corrente de curto-circuito máxima do sistema foi de 7,7 kA, um valor bem próximo encontrado no método analítico, 7,35 kA.

A especificação dos dispositivos de proteção é apresentada separadamente como pode ser visto na figura 3.8.

Figura 3.8- Disjuntor Geral de Baixa Tensão

Ik Min [kA] Detalhes Seletividade e back-up

Tipo ▼

Versão ▼ Idn [A]

Família ▼ Pólos ▼

Relé ▼

Selecionar

Símbolo ▼ Opções avançadas

ABB OK Cancelar

Fonte: (Autor)

Os dispositivos de proteção que foram obtidos pelo software estão na tabela, a qual apresenta uma comparação entre o método analítico e computacional das especificações das proteções.

Tabela 3.9- Comparação dos dispositivos de proteção

Proteção	Método Analítico	Método Computacional
Motor 5 CV	MS132-10	MS325-12,5
Motor 7,5 CV	MS132-12	MS325-16
Motor 10 CV	MS132-16	MS325-20
Motor 15 CV	MS 325-25	MS325-25
Motor 20 CV	MS 450-32	MS450-40
CCM1	XT1 B 160 TMD 160-1600	A2B 250 TMF 160-1600
CCM2	XT1 B 160 TMD 100-1000	A1A 125 TMF 100-1000
CCM3	XT1 B 160 TMD 63-630	A1A 125 TMF 60-600
QDL	XT1 B 160 TMD 125-1250	A1A 125 TMF 125-1250
QGF	T5 N 400 TMA 400-4000	A3N 630 TMF 500-5000

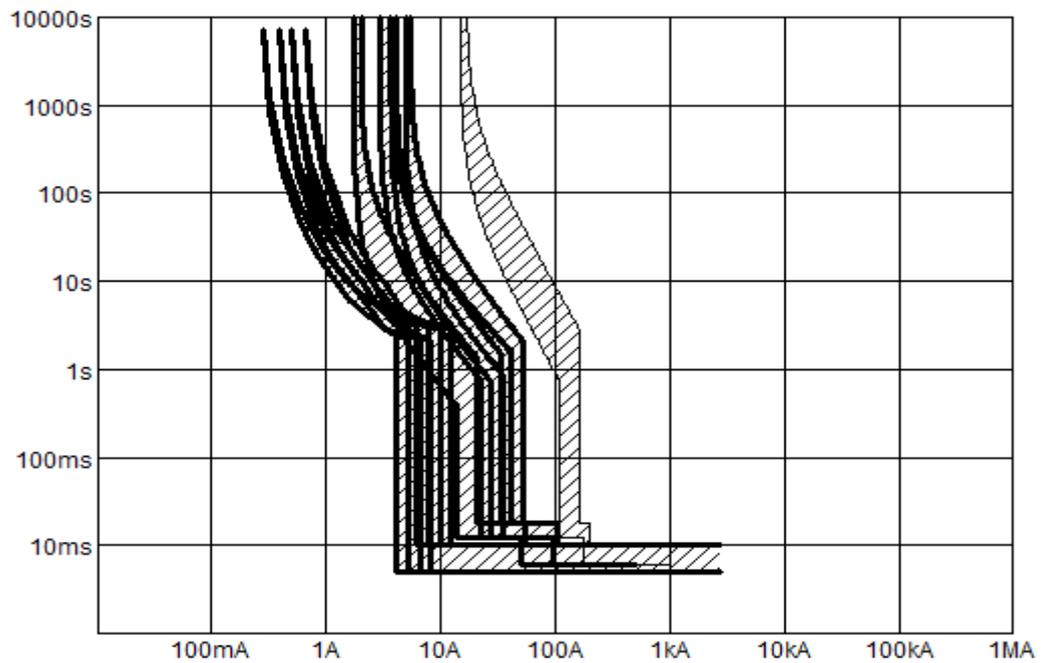
Fonte: (Autor)

Pode-se perceber, que os dispositivos possuem, praticamente as mesmas especificações. Alguns obtidos pelo software apresentam um certo conservadorismo, ou seja, foram especificados para valores um pouco maiores de corrente. Além disso, uma diferença que se pode observar é a diferença nas linhas dos disjuntores obtidos, tanto para os disjuntor-motor quanto para os disjuntores em caixa moldada. Porém os níveis de proteção, são os mesmos.

3.9.4 Curvas dos dispositivos de proteção

A seletividade no software é feita de forma automática, facilitando o estudo a ser feito pelo projetista, ao contrário do método analítico. O programa contém uma ferramenta chamada “Curvas”, que traça os gráficos de todos os dispositivos de proteção, fazendo com que seja possível, uma certa análise no comportamento de cada um, além de poder mostrar toda a seletividade da proteção do sistema elétrico a ser instalado.

Figura 3.9 – Curvas de proteção



Fonte: (Autor)

A curva mais à direita, representa a proteção feita pelo disjuntor do quadro de distribuição geral, mostrando que a seletividade das proteções está garantida.

4 Conclusão

Por meio do estudo feito para a execução do trabalho, foi possível adquirir um conhecimento a respeito da produção têxtil no processo de fiação com fibras de algodão.

Todo o plano de trabalho proposto, foi realizado, as especificações dos acionamentos e das proteções da indústria, utilizando métodos analíticos e o método computacional através do DOC, que, como foi observado, é uma ferramenta bastante eficiente e prática para projetos em instalações industriais, principalmente na parte das proteções.

Entretanto, foi possível observar que, alguns dispositivos tiveram uma certa discrepância, se comparados, com os métodos que foram utilizados em suas especificações. Isso se deve ao fato de o software poder levar em consideração algumas características, como os cabos, e não utilizar alguns fatores que foram utilizados no método analítico. Desta forma, os dispositivos especificados pelo DOC apresentam uma característica mais conservadora, comparada ao método analítico.

Desta forma, o método analítico é a escolha correta a se fazer, pois será utilizado dispositivos sem superdimensionamento, conseqüentemente com preços mais acessíveis e o projeto terá uma economia durante a execução. Além disso, evitando critérios conservadores nas especificações, garantirá uma proteção mais adequada e precisa dos circuitos, pois dispositivos apresentados pelo DOC pode não atuar a proteção em alguns níveis de corrente elevadas, as quais poderão ser inferiores as nominais dos seus disjuntores podendo causar danos aos equipamentos.

Os equipamentos para os acionamentos dos motores não foram levados em considerações, pois o DOC não possui os acionamentos com equipamentos eletrônicos como o inversor de frequência e softer-starter.

Para um possível estudo futuro, poderá ser realizado um processo de automação para as cargas motrizes da indústria, aplicando esse estudo em todas as etapas do processo de produção. Poderá ser utilizado dispositivos com

o CLP (Controlador lógico programável) e até mesmo outros controladores, para que processo se torce cada vez mais tecnológico.

5 Referências

MAMEDE FILHO, J. **Instalações elétricas industriais**. 9ª. ed. Rio de Janeiro: LTC – Livros Técnicos e Científicos Editora Ltda., 2017.

ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas - **Instalações Elétricas de Baixa Tensão NBR 5410**. Rio de Janeiro, 2004.

ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 5413/1992 – Iluminância de Interiores**. Rio de Janeiro, 1992.

FRANCHI, C. M. **Acionamentos elétricos**. 4ª. Ed. São Paulo: Editora Érica Ltda, 2008.

WEG. **Seleção de Motores Elétricos**. Disponível em: http://ecatalog.weg.net/tec_cat/tech_motor_sel_web.asp. Acesso em: 06 mar 2023.

CREDER, H. **Instalações Elétricas**. 14. ed. Rio de Janeiro - RJ: LTC, 2000.

ABB. **DOC. Manual do usuário**. Disponível em: <https://library.e.abb.com/public/672f6e952b16c70383257b17006bc8a7/Manual%20DOC%202.0.0.0059.pdf>. Acesso em: 11 abr. 2023

ABB. **Linha de contatores AX**. Disponível em: <https://search.abb.com/library/Download.aspx?DocumentID=9AKK106713A2665&LanguageCode=pt&DocumentPartId=&Action=Launch>. Acesso em: 11 abr 2023.

FIEMG. **21 de abril: Dia da Indústria Têxtil**. Disponível em: <https://www7.fiemg.com.br/fiemg/Noticias/detalhe/21-de-abril-dia-da-industria-textil->. Acesso em: 21 mar. 2023.

ABIT. **Associação Brasileira da Indústria Têxtil e de Confecção**. Disponível em: <https://www.abit.org.br/cont/quemsomos>. Acesso em: 21 mar. 2023.

CCEE. **CONSUMO**. Disponível em:

<https://www.ccee.org.br/pt/web/guest/dados-e-analises/consumo>. Acesso em: 25 mar. 2023.

PAIVA, E. A. F.; MORAES, M.B.; SILVA, M.R. **PROJETO DE FIAÇÃO** – Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Centro de Tecnologia Departamento de Engenharia Têxtil Métodos e Processos de Manufatura de Fio III. Natal-RN, 2010.

NASCIMENTO, J.F. **Fungos contaminantes da pluma do algodão e seus efeitos sobre as características tecnológicas da fibra** – Universidade Federal de Pernambuco. Centro de Biociências. Recife-PE, 2015.

CAMARGO, L.H. **Processos de beneficiamento e fiação do algodão** – Faculdade de Tecnologia de Americana. Americana -SP, 2015.

Equipamentos. Disponível em: <https://santanatex.com.br/equipamento>. Acesso em: 26 jun. 2023.

DirectIndustry - **O marketplace B2B da indústria: sensores, motores, bombas, equipamentos para automação, para movimentação de cargas, embalagem**. Disponível em: <<https://www.directindustry.com/pt/>>. Acesso em: 26 jun. 2023.

ABB. Disjuntor Motor. Disponível em:

[https://library.e.abb.com/public/bfc56f6d39cc003883257700005758ec/ABB Protecao para Motores - Disjuntor Motor 2007.pdf](https://library.e.abb.com/public/bfc56f6d39cc003883257700005758ec/ABB%20Protecao%20para%20Motores%20-%20Disjuntor%20Motor%202007.pdf). Acesso em 15 mai. 2023.

ABB. **Disjuntores de baixa tensão**. Disponível em:

[https://library.e.abb.com/public/a4196d903867780283257acc0044f1fa/Catálogo%20Geral%20de%20Disjuntores.pdf](https://library.e.abb.com/public/a4196d903867780283257acc0044f1fa/Cat%C3%A1logo%20Geral%20de%20Disjuntores.pdf). Acesso em: 20 mai. 2023.

WEG. **Transformador Óleo 225.0kVA 13.8/0.38kV CST ONAN**. Disponível em: <https://www.weg.net/catalog/weg/BR/pt/Gera%C3%A7%C3%A3o%20C-Transmiss%C3%A3o-e-Distribui%C3%A7%C3%A3o/Transformadores-e-Reatores-a-%C3%93leo/Transformadores-de-Distribui%C3%A7%C3%A3o-a-%C3%93leo/30-a-300-kVA/Transformador-%C3%93leo-225-0kVA-13-8-0-38kV-CST-ONAN/p/16343336>. Acesso em: 20 mai. 2023.

WEG. **SOFT-STARTER SSW070045T5SZ**. Disponível em:

<https://www.weg.net/catalog/weg/BR/pt/Automa%C3%A7%C3%A3o-e-Controle-Industrial/Drives/Soft-Starters/Usos-gerais/Soft-Starter-SSW07/SOFT-STARTER-SSW070045T5SZ/p/10194173>. Acesso em: 10 mai. 2023