
CENTRO UNIVERSITÁRIO UNIFACVEST¹
CURSO DE ENGENHARIA ELÉTRICA
EVERSON ANDRÉ MIX

TCC:
DESENVOLVIMENTO DE PROJETO BÁSICO DE INSTALAÇÃO ELÉTRICA DE INDÚSTRIA
METALÚRGICA DO SETOR DE FORJARIA

LAGES
2020

¹ Os argumentos e estrutura do TCC estão nos passos metodológicos do livro de metodologia, p.44 a p.53: RODRIGUES, Renato. Gonçalves, José Correa. **Procedimento de metodologia científica**. 9.ed. Lages, SC. PAPERVEST. 2020. Disponível em Material Acadêmico UNIFACVEST, Biblioteca Física UNIFACVEST ou prpe@unifacvest.edu.br.

EVERSON ANDRÉ MIX

**TCC:
DESENVOLVIMENTO DE PROJETO BÁSICO DE INSTALAÇÃO ELÉTRICA DE INDÚSTRIA
METALÚRGICA DO SETOR DE FORJARIA**

Relatório de TCC apresentado ao
Centro Universitário UNIFACVEST,
como parte dos requisitos para obtenção
do título de Bacharel em Engenharia
Elétrica.

Prof.(a) orientador (a):
Silvio Moraes de Oliveira
Prof.(a) co-orientador (a):
Franciéli Lima de Sá Biasiolo
Coordenador do Curso:
Franciéli Lima de Sá Biasiolo.

EVERSON ANDRÉ MIX

TCC:
DESENVOLVIMENTO DE PROJETO BÁSICO DE INSTALAÇÃO ELÉTRICA DE INDÚSTRIA
METALÚRGICA DO SETOR DE FORJARIA

Relatório de TCC apresentado ao
Centro Universitário UNIFACVEST,
como parte dos requisitos para obtenção
do título de Bacharel em Engenharia
Elétrica.

Prof.(a) orientador (a):
Silvio Moraes de Oliveira
Prof.(a) co-orientador (a):
Francieli Lima de Sá Biasiolo
Coordenador do Curso:
Francieli Lima de Sá Biasiolo.

Lages, SC 07/07/2020 Nota 100
(data de aprovação)

Silvio Moraes de Oliveira
(assinatura do orientador- assinatura-digital ou scanner)

Francieli Lima de Sá Biasiolo
(coordenador do curso de graduação, nome e assinatura-digital ou scanner)

Artigo apresentado ao Centro Universitário Facvest – UNIFACVEST, como requisito necessário para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Elétrica.

Ererson André Mix

NOME DO ALUNO

Desenvolvimento de Projeto Básico de Instalação Elétrica de Indústria Metalúrgica de Aço de Foyaria

TÍTULO DO TRABALHO

BANCA EXAMINADORA:

Msc. Eng. Eletricista Sílvio Moraes de Oliveira

Titulação e nome do Orientador (a)

Dra. Eng. Eletricista Francieli Lima de Sá Biasiolo

Titulação e nome do Co-orientador (a).

Msc. Eng. Leonardo Brazering Gaff

Titulação e nome do Avaliador (a).

Francieli Lima de Sá Biasiolo

Coordenador (a) Prof. (a). Titulação e nome da Coordenador (a).

Lages, 07 de julho de 2020.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradecer ao meu Deus que me proporcionou condições de saúde durante estes anos de graduação.

Agradecer em especial a minha família que não mediu esforços para que este sonho se realizasse.

Agradecer aos meus amigos e colegas Levi Jonatan Duffeck Moretto e Thales Gomes do Carmo que tive o prazer de conhecer durante este período que juntos comigo participaram de momentos de alegria e também momentos de angústia nesta batalha que foram estes anos de graduação.

Agradecer em especial ao professor ME Silvio Moraes de Oliveira que irei levar para a vida com grande admiração pelo professor, profissional, e pessoa incrível que é, pois durante momentos de dúvidas em que me deparei sempre se propôs a esclarecê-las.

Agradecer a coordenadora do curso de Engenharia Elétrica Professora Dr. Franciéli Lima de Sá, e a todos os outros professores do Centro Universitário Unifacvest que durante este período estiveram presentes passando ensinamentos.

Agradecer a todos que de alguma forma me auxiliaram neste período decisivo de minha vida.

RESUMO

Com a velocidade que o avanço tecnológico e o progresso da indústria como um todo vêm tendo até o momento, verificou-se a obrigação de desenvolver projetos elétricos de forma mais perfeita possível, associando-se segurança e cautela do sistema industrial de energia. Executando um projeto de maneira exata, a planta industrial terá a seguridade em suas instalações e na vida útil de seu sistema, com isso diminuindo as manutenções em seu conjunto com tanta regularidade. Do mesmo modo o sistema de fornecimento de energia aos equipamentos será confiável e seguro para a companhia, certificando um controle de perdas de energia e o perfeito funcionamento do sistema. O presente trabalho tem por objetivo elaborar um projeto elétrico de instalações elétricas industriais, que pode servir de base para elaboração de outros projetos similares, também como objetivo auxiliar o profissional a realizar um planejamento básico para tornar o projeto elétrico mais objetivo e prático. A metodologia adotada no trabalho será o dimensionamento do projeto em geral, bem como estudo de caso específico para demonstrar os passos adotados durante a elaboração de um projeto elétrico de instalações elétricas aplicado a uma planta industrial metalúrgica do setor de forjaria.

Palavras-chave: Projeto Elétrico Industrial, Indústria Metalúrgica.

ABSTRACT

With the speed that the technological advance and the progress of the industry as a whole have had so far, there has been the obligation to develop electrical projects in the most perfect way possible, combining safety and caution of the industrial energy system. Executing a project in an exact way, the industrial plant will have the security in its installations and in the useful life of its system, with this reducing the maintenance in its set with such regularity. In the same way, the system of energy supply to the equipment will be reliable and safe for the company, certifying a control of energy losses and the perfect functioning of the system. This work aims to elaborate an electrical project of industrial electrical installations, which can serve as a basis for other similar projects, also as an objective to help the professional to perform a basic planning to make the electrical project more objective and practical. The methodology adopted in the work will be the dimensioning of the project in general, as well as a specific case study to demonstrate the steps adopted during the elaboration of an electrical project of electrical installations applied to a metallurgical industrial plant of the forging sector.

Keywords: Industrial Electrical Project, Metallurgical Industry.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Forma de radiação de luz	31
Figura 2 - Conceito de Intensidade Luminosa.....	31
Figura 3 - Temperatura da Cor	33
Figura 4 - Índice de reprodução das cores	33
Figura 5 - Lâmpada Incandescente.....	34
Figura 6 - Lâmpada Halógena	35
Figura 7 - Lâmpada Mista	35
Figura 8 - Lâmpada Fluorescente	36
Figura 9 - Lâmpada a Vapor de Mercúrio	37
Figura 10 - Lâmpada de Sódio	37
Figura 11 - Estrutura do LED.....	38
Figura 12 - Luxímetro	40
Figura 13 - Distribuição típica de luminárias	43
Figura 14 - Iluminamento Horizontal.....	44
Figura 15 - Diagramas dos tipos de instalação.....	59
Figura 16 - Esquema de Aterramento TN-S.....	63
Figura 17 - Esquema de Aterramento TN-C	63
Figura 18 - Esquema de Aterramento TN-C-S.....	63
Figura 19 - Esquema de Aterramento TT	64
Figura 20 - Esquema de Aterramento IT	64
Figura 21 - Método de medição de aterramento Werner.....	67
Figura 22 - Haste Vertical única.....	68
Figura 23 - Haste em paralelo.....	68
Figura 24 - Hastes em Triângulo	68
Figura 25 - Hastes em quadrado vazio	69
Figura 26 - Hastes em circunferência.....	69
Figura 27 - Princípio de proteção do modelo eletrogeométrico	71
Figura 28 - Representação do método Gaiola de Faraday.....	72
Figura 29 - Variação do ângulo de proteção de um captor em função da altura.....	72
Figura 30 - Método do ângulo de proteção através de um mastro captor	73
Figura 31 - Captor SPDA	79
Figura 32 - Descida de SPDA	79
Figura 33 - Formato parcial de uma malha de aterramento.....	80

Figura 34 - Planta Base.....	81
Figura 35 - Página principal do software	82
Figura 36 - Planta base do setor de solda	83
Figura 37 - Visão do setor de solda com disposição das luminárias	84
Figura 38 - Distanciamento das luminárias no setor de solda	85
Figura 39 - Quantidade de lumens médio no plano de trabalho.....	85
Figura 40 - Planta base do setor de corte.....	86
Figura 41 - Visão do setor através de uma projeção das luminárias	87
Figura 42 - Distanciamento das luminárias no galpão de corte.....	87
Figura 43 - Quantidade de lumens médio no plano de trabalho do setor	88
Figura 44 - Planta base do setor de forjaria I.....	89
Figura 45 - Disposição das luminárias no setor de forjaria I.....	89
Figura 46 - Distanciamento das luminárias no setor	90
Figura 47 - Quantidade de lumens médio no plano de trabalho do setor	90
Figura 48 - Planta base do setor forjaria II.....	91
Figura 49 - Disposição das luminárias no setor forjaria II	92
Figura 50 - Distanciamento das luminárias no setor forjaria II.....	92
Figura 51 - Quantidade de lumens médio no plano de trabalho do setor	93
Figura 52 - Planta Base utilizada na projeção da iluminação externa.....	94
Figura 53 - Visão da projeção iluminação externa	94
Figura 54 - Uma projeção da iluminação externa.....	95
Figura 55 - Página inicial do software.....	100
Figura 56 - Página com cargas inseridas por setor e equipamento.....	100
Figura 57 - Pagina do software com cargas por setor.....	101
Figura 58 - A primeira página gerada pelo software com dados inseridos pelo usuário.....	101
Figura 60 - Concentração de Raio na cidade de Lages.....	125

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Níveis de Tensão no Brasil.....	19
Tabela 2 - Fatores de Utilização	27
Tabela 3 - Material/ Cor radiada.....	39
Tabela 4 - Modelos de Iluminação/ Depreciação	41
Tabela 5 - Seção Mínima de condutores	46
Tabela 6 - Seção Mínimo de condutor Neutro	46
Tabela 7 - Seção Mínima do condutor de proteção.	47
Tabela 8 - Condutores Carregados	49
Tabela 9 - Grupos tarifários.....	54
Tabela 10 - Valores máximos dos raios da esfera rolante em relação a classe do SPDA	71
Tabela 11 - Afastamento máximo entre condutores em malha de aterramento	72
Tabela 12 - Danos e perdas relevantes para uma estrutura para diferentes pontos de impacto da descarga atmosférica.....	74
Tabela 13 - Danos: Relação de valores dos riscos toleráveis RT	78
Tabela 14 – Dimensões dos galpões.....	81
Tabela 15 – Cargas do setor de corte.....	96
Tabela 16 – Cargas do setor forjaria 1	96
Tabela 17 – Cargas especiais forjaria 1	97
Tabela 18 – Cargas forjaria 2	98
Tabela 19 – Cargas especiais forjaria 2	98
Tabela 20 – Cargas setor de solda	98
Tabela 21 – Respectivos condutores e dispositivos de proteção das cargas do setor corte....	102
Tabela 22 - Respectivos condutores e dispositivos de proteção das cargas do setor forjaria 1	103
Tabela 23 – Respectivos condutores e dispositivos de proteção das cargas especiais forjaria 1	103
Tabela 24 - Respectivos condutores e dispositivos de proteção das cargas do setor forjaria 2	103
Tabela 25 - Respectivos condutores e dispositivos de proteção das cargas especiais forjaria 2	104
Tabela 26 – Respectivos condutores e proteção das cargas do setor solda	104
Tabela 27 – Capacidade nominal do transformador de cada tipo de carga	105
Tabela 28 - Equipamento: Cargas Gerais em tensão nominal 220/380V	105

Tabela 29 – Características do transformador da carga especial forjaria 1	106
Tabela 30 - Características do transformador da carga especial forjaria 1.....	106
Tabela 31 – Características do transformador da carga especial forjaria 1	107
Tabela 32 – Potências nominais dos setores corte/forjaria 1	109
Tabela 33 - Potências nominais do setor forjaria 2	109
Tabela 34 - Potências nominais do setor de solda	110
Tabela 35 – Estágios controlador F.P. Corte/Forjaria 1	112
Tabela 36 - Estágios controlador F.P. forjaria 2.....	114
Tabela 37 - Estágios controlador F.P. solda	115
Tabela 38 - Potência nominal de capacitores de acordo com o transformador	115
Tabela 39 - Correção de F.P. do transformador a vazio para cada setor/equipamento	116
Tabela 40 - Correntes nominais dos capacitores banco de F.P do corte/forjaria 1.....	116
Tabela 41 - Correntes nominais dos capacitores banco de F.P da forjaria 2.....	117
Tabela 42 - Correntes nominais dos capacitores do banco de F.P da solda	117
Tabela 43 – Proteção e acionamento dos capacitores do setor Corte/Forjaria 1	118
Tabela 44 - Proteção e acionamento dos capacitores do setor forjaria 2.....	119
Tabela 45 - Proteção e acionamento dos capacitores do setor solda.....	119
Tabela 46 - Valores de resistência do solo	120
Tabela 47 – Desvios de valores medidos de resistência de aterramento	120
Tabela 48 - Valores de resistividade do solo $\Omega.m$	121

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 2.1 - Fator de Demanda.....	26
Equação 2.2 - Fator de Carga.	26
Equação 2.3 - Potência Absorvida.....	28
Equação 2.4 - Iluminância	32
Equação 2.5 - Luminância	32
Equação 2.6 - Eficiência luminosa	32
Equação 2.7 - Fluxo Luminoso Total	40
Equação 2.8 - Número de Luminárias	41
Equação 2.9 - Coeficiente do índice do local	42
Equação 2.10 - Iluminamento horizontal	44
Equação 2.11 - Iluminamento Vertical.....	44
Equação 2.12 - Corrente nominal em circuitos monofásicos resistivos	48
Equação 2.13 - Corrente nominal em circuitos monofásicos indutivos	48
Equação 2.14 - Corrente nominal em circuitos trifásicos equilibrados.....	48
Equação 2.15 - Corrente nominal em circuitos trifásicos desequilibrados	49
Equação 2.16 - Corrente de projeto corrigida.....	51
Equação 2.17 - Corrente nominal da proteção com relação do condutor.....	51
Equação 2.18 - Queda de Tensão	53
Equação 2.19 - Faturamento do consumo de reativo excedente por posto tarifário.....	55
Equação 2.20 - Faturamento da demanda de potência reativa excedente por posto tarifário... 55	
Equação 2.21 - Faturamento da demanda de reativo excedente.....	56
Equação 2.22 - Faturamento do consumo de reativo excedente.....	56
Equação 2.23 - Seção do condutor de proteção.....	64
Equação 2.24 - Resistividade do solo.....	65
Equação 2.25 - Condutor da malha de aterramento.....	69
Equação 2.26 - R1: Risco de perda da vida humana	76
Equação 2.27 - R2: Risco de perdas de serviço ao público.....	77
Equação 2.28 - R3: Risco de perdas de patrimônio cultural	77
Equação 2.29 - R4: Risco de perdas de valor econômico	77
Equação 2.30 - Equação fator de potência F.P.	108
Equação 2.31 - Fator de potência do setor de corte/forjaria 1	109
Equação 2.32 - Fator de potência F.P. do setor forjaria 2	109
Equação 2.33 - Fator de potência do setor de solda	110

Equação 2.34 - Equação para determinar banco de capacitores.....	111
Equação 2.35 - Banco de capacitores do setor corte/forjaria 1 em 380V.....	111
Equação 2.36 - Banco de capacitores em tensão 380V com presenças de harmônicas	112
Equação 2.37 - Banco de capacitores em tensão 440V para suportar a presença de harmônicas.....	112
Equação 2.38 - Determinação da potência nominal do banco de capacitores em 440V	112
Equação 2.39 - Potência nominal do banco com células em 440V do setor	112
Equação 2.40 - Banco de capacitores do setor forjaria 2 em 380V	113
Equação 2.41 - Potência nominal do banco com células em 440V do setor	113
Equação 2.42 - Banco de capacitores do setor solda em 380V	114
Equação 2.43 - Banco de capacitores do setor solda em 440V	115
Equação 2.44 - Corrente nominal da célula capacitiva	116
Equação 2.45 - Resistência do condutor aplicado na malha.....	121
Equação 2.46 - Valor calculado de resistência do condutor.....	122
Equação 2.47 - Resistência de aterramento de um condutor enterrado na horizontal.....	122
Equação 2.48 – Valor calculado de resistência de um condutor enterrado na horizontal	122
Equação 2.49- Valor da resistência dos condutores em paralelismo.....	122
Equação 2.50 - Determina o valor de K1	122
Equação 2.51 - Determinar o valor de K2	122
Equação 2.52 – Valor de resistência das hastes em alinhamento reto.....	123
Equação 2.53 - Resistência mutua e hastes	123
Equação 2.54- Resistência total da malha	124
Equação 2.55 – Área de exposição da estrutura	125
Equação 2.56 – Número de eventos perigosos a estrutura	125
Equação 2.57 – Perda relacionada aos ferimentos a seres vivos por choque elétrico	126
Equação 2.58 – Perda em estrutura relacionada a danos físicos	126
Equação 2.59 – Probabilidade de ferimentos a seres vivos.....	126
Equação 2.60 – Componente relacionado a ferimentos a seres vivos por choque elétrico	127
Equação 2.61- Componente relacionado a danos físicos	127
Equação 2.62 – Risco Tolerável.....	127

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 110

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

A	Ampère
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANNEL	Agencia Nacional de Energia Elétrica
AT	Alta Tensão
BT	Baixa Tensão
CELESC	Centrais Elétricas de Santa Catarina
CIE	Comission Internationale de L'Eclairage
CII	Comissão Internacional de Iluminação
CV	Cavalo Vapor
DNAEE	Departamento Nacional de Águas e Energia
EPR	Etileno-propileno
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
IP	Índice de Proteção
kV	Kilo-Volt
kVA	Kilo-volt-ampere
kVArh	Kilo- volt-ampere- reativo hora
kW	Quilowatts
kWh	Quilowatts Hora
MTE	Ministério do Trabalho e Empreso
mm ²	Milímetro Quadrado
MT	Média Tensão
N	Neutro
NBR	Normas Brasileira Regulamentadora
NR	Norma Regulamentadora
PE	Terra
PEN	Terra- Neutro
PVC	Cloreto de Polivinila
QGBT	Quadro Geral de Baixa tensão
QGF	Quadro Geral de Força
RT	Risco Tolerável
V	Volt
XLPE	Polietileno Reticulado

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
1.1	JUSTIFICATIVA.....	15
1.2	OBJETIVOS	15
1.2.1	Objetivo Geral.....	15
1.2.2	Objetivos Específicos.....	15
1.3	APLICAÇÃO.....	16
1.4	METODOLOGIA	16
1.5	ESTRUTURA DO TRABALHO	16
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	17
2.1	DOCUMENTAÇÃO DE PROJETO.....	17
2.2	NORMAS TÉCNICAS RECOMENDADAS	18
2.3	DADOS DE PROJETO	19
2.4	CONCEPÇÃO DE PROJETO	20
2.4.1	Divisão da Carga em Blocos	20
2.4.2	Localização dos Quadros de Distribuição.....	21
2.4.3	Localização do Quadro de Distribuição Geral.....	21
2.4.4	Caminho dos Circuitos de Distribuição e Circuitos Terminais.....	21
2.4.5	Circuito Terminais De Motores	21
2.4.6	Circuitos de Distribuição	22
2.5	MEIO AMBIENTE	22
2.5.1	Temperatura Ambiente	22
2.5.2	Condições Climáticas do ambiente	23
2.5.3	Altitude.....	23
2.5.4	Presença de água	23
2.5.5	Presença de corpos sólidos.....	23
2.5.6	Presença de substâncias corrosivas e poluentes	23
2.5.7	Vibrações	24
2.5.8	Radiações Solares	24
2.5.9	Resistência do corpo humano	24
2.5.10	Contato das pessoas com potencial de terra	24
2.6	GRAUS DE PROTEÇÃO	25

2.7	FATORES DE PROJETO.....	25
2.7.1	Fator de Demanda.....	26
2.7.2	Fator de Carga.....	26
2.7.3	Fator de Simultaneidade.....	26
2.7.4	Fator de Utilização.....	26
2.8	DETERMINAÇÃO DE DEMANDA DE POTÊNCIA.....	27
2.9	TENSÃO DE FORNECIMENTO.....	28
2.9.1	TARIFAS DE ENERGIA BRASILEIRA.....	29
2.10	DETALHAMENTO DA ILUMINAÇÃO.....	30
2.10.1	Histórico.....	30
2.10.2	Introdução.....	30
2.10.3	Conceitos Básicos.....	31
2.10.4	Luz.....	31
2.10.5	Fluxo Luminoso.....	31
2.10.6	Intensidade luminosa.....	31
2.10.7	Tipos de Lâmpadas.....	34
2.10.8	Métodos de Cálculo Luminotécnico.....	39
2.10.9	Método do ponto a ponto.....	43
2.11	DIMENSIONAMENTO DE MATERIAIS E EQUIPAMENTOS.....	45
2.11.1	Categorias e Aplicações.....	45
2.11.2	Seções Mínimas de Condutores.....	45
2.11.3	Seção Mínimo do Condutor de Neutro (N).....	45
2.11.4	Seção Mínimo do Condutor de Proteção (PE).....	47
2.11.5	Identificação de Condutores.....	47
2.11.6	Dimensionamento de Condutores.....	47
2.11.7	Capacidade de Condução de Corrente.....	48
2.11.8	Corrente Nominal em Circuitos.....	48
2.11.9	Condutores Carregados.....	49
2.11.10	Seção dos Condutores com Relação aos Métodos de Instalações.....	50
2.11.11	Fator de Correção de Agrupamento (FCA).....	50
2.11.12	Corrente Corrigida ($I'p$).....	50
2.11.13	Dimensionamento de Proteções em Baixa Tensão.....	51
2.11.14	Queda de Tensão.....	52
2.12	CORREÇÃO DE FATOR DE POTÊNCIA.....	53

2.12.1 Histórico e legislação	53
2.12.2 Grupos Tarifários.....	54
2.12.3 Grupo B	54
2.12.4 Métodos de Avaliação	54
2.12.5 Potência Ativa e Reativa	56
2.12.6 Causas do Baixo Fator de Potência	57
2.12.7 Consequências do Excesso de Energia Reativa.....	57
2.12.8 Tipos Correção de Fator de Potência.....	57
2.12.9 Correção em Média Tensão	58
2.12.10 Tipos de Bancos de Capacitores	59
2.12.11 Localização dos Bancos de Capacitores	60
2.12.12 Meios de Correção de Fator de Potencia	60
2.13 ATERRAMENTO	61
2.13.1 Definição	61
2.13.2 Tipos de Sistemas De Aterramento	61
2.13.3 Classificação dos Sistemas de Baixa Tensão	62
2.13.4 Condutor de Proteção	64
2.13.5 Influências no Sistema de Aterramento.....	65
2.13.6 Método de Medição Usual.....	67
2.13.7 Modelos de Sistemas	67
2.13.8 Dimensionamento do Condutor da Malha de Aterramento.....	69
2.14 DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA DE PROTEÇÃO CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS (SPDA)	70
2.14.1 Métodos de Proteção	70
3 ESTUDO DE CASO.....	81
3.1 ESTUDO LUMINOTÉCNICO	82
3.1.1 Dados considerados no projeto lumitécnico para o setor de Solda.....	83
3.2 DIMENSIONAMENTO DE CONDUTORES E EQUIPAMENTOS	95
3.2.1 Relação de Cargas do Projeto	96
3.3 CORREÇÃO DE FATOR DE POTÊNCIA	108
3.3.1 Fator de Potência dos Setores	109
3.3.2 Determinação do Banco de Capacitores dos Setores	110
3.3.3 Dimensionamento dos Equipamentos	116

3.3.4 Dimensionamento Proteção e Acionamento	118
3.4 ATERRAMENTO	120
3.4.1 Estratificação do Solo	120
3.4.2 Dimensionamento da Malha.	121
3.5 SISTEMA DE PROTEÇÃO CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICA.....	125
4 CONCLUSÃO	128
REFERÊNCIAS	129
ANEXO I.....	131
ANEXO II.....	133
APENDICE	135

1 INTRODUÇÃO

Um tema imprescindível, que sempre deve estar presente nas estimativas iniciais de planejamento e projeto de implantação de uma unidade fabril, é o relacionado às instalações elétricas. Este tema trata de diversos fatores que constituem importantes variáveis que de algum modo influenciam no processo da indústria. Uma instalação elétrica inadequada oferece situações, que além de prejudicar os equipamentos conectados, pode propiciar prejuízos econômicos e ambientais.

Em determinados ramos de atividade industrial encontram-se situações que interromper as tarefas ou equipamentos, como em indústrias do tipo: siderúrgicas, fundições, forjarias, dentre outras. Paralisar a produção destes tipos de processos acarreta em perda de produtividade, gastos com energia para religar os equipamentos que geralmente são de grande e demandam um custo elevado de energia para retornar em funcionamento pleno e os funcionários parados. Para isso, os sistemas elétricos necessitam encontrar em condições para atender as demandas do setor quando for exigida. Outra questão que está relacionada é a segurança dentro da planta, nos casos citados anteriormente uma falha elétrica pode causar graves acidentes, gerando problemas para a empresa.

A análise feita pelo professor Edison Motoki, da Universidade Presbiteriana Mackenzie:

Com instalações subdimensionadas, há mais cargas do que foi projetado. Daí as fiações não atendem mais ao nível de consumo e sofrem aquecimento, colocando o local em risco de incêndios e desperdiçando energia (BONAFÉ & MOTOKI, 2010)

Incorporado a este assunto, uma inspeção rotineira das instalações elétricas torna-se imprescindível. Esta verificação tem por finalidade detectar se os circuitos alimentadores de quadros e cargas e outros elementos se estão compatíveis com as demandas de consumo.

Assim:

Revisar as instalações e fazer manutenções periodicamente garante redução de gastos com investimentos e consumo. É como a revisão de um carro, (BONAFÉ & MOTOKI, 2010)

Seja qual for o porte ou ramo da atuação da indústria, é necessário que o sistema de fornecimento de energia seja confiável sempre seguindo o estabelecido nas normas técnicas vigentes, desse modo garantindo a segurança, boas práticas e uma eficiência maior na utilização da energia elétrica. Mas além disso, outro fator de extrema importância nas instalações industriais tenham uma vida útil prolongada é em relação com a necessidade de manutenções rotineiras, com o passar do tempo e com o uso cotidiano acontece o chamado desgaste. Toda instalação possui um limite para o desgaste, ao momento que este limite é

ultrapassado, começam a ocorrer as quebras no sistema, neste momento a manutenção vem com o objetivo de restaurar as condições iniciais.

As normas técnicas ABNT NBR 5410 - Instalações elétricas em baixa tensão e ABNT NBR 14039 - Instalações elétricas de média tensão de 1,0 kV a 36, 2 kV, disponibilizam métodos e disposições a fim de padronizar e auxiliar no momento de projetar a infraestrutura das instalações elétricas, contemplando também, outros aspectos relevantes relacionados à proteção e segurança das pessoas que de algum modo ocupam as edificações onde estas instalações se encontram. Com relação a isso, a Norma Regulamentadora 10 (NR 10) – Segurança em instalações e serviços em eletricidade do Ministério do Trabalho e Emprego (MTE) estabelece no seu item 10.2.2:

As medidas de controle adotadas devem integrar-se às demais iniciativas da empresa, no âmbito da preservação da segurança, da saúde e do meio ambiente do trabalho (NR 10 - MTE)

Outra questão a ser levada em consideração, é a preservação do sistema de alimentação elétrica de cargas relacionadas a processos, que por muitas vezes, merecem um cuidado maior por serem pontos críticos da instalação, e assim contribui-se para o baixo custo de manutenção corretiva do sistema e dos equipamentos, sejam eles partes integrantes do sistema de alimentação elétrica, como transformadores e cabos, ou mesmo integrantes das cargas elétricas, como dispositivos eletroeletrônicos ou motores elétricos. Dentro deste contexto as proteções do conjunto são de extrema importância para o pleno funcionamento da indústria, João Mamede Filho - Proteção do Sistema Elétrico de Potência a qual demonstra modelos de dispositivos de proteção que são aplicáveis em diversos tipos de indústrias, nesta obra o autor aborda desde aspectos simples de proteção como de proteções específicas.

Portanto, é importante ter segurança em seu sistema de fornecimento de energia que possa garantir segurança pessoal e patrimonial dentro do ambiente fabril industrial.

Sendo assim, se há um correto dimensionamento de suas instalações elétricas dentro projeto, uma implantação seguindo este projeto, uma etapa de comissionamento, que consiste na verificação de conformidade de implementação com o projeto e com parâmetros de desempenho de materiais e equipamentos, estabelecidos em normas técnicas e até no próprio projeto através de especificações técnicas, deverá estar garantido o bom funcionamento da planta industrial ao longo dos anos de operação dentro da vida útil e pouca manutenção corretiva do seu sistema elétrico, considerando a vida útil de cada um dos seus componentes.

1.1 Justificativa

A partir do crescimento e a aceleração do desenvolvimento da indústria de transformação em todo mundo, há a necessidade de elaboração de um projeto elétrico corretamente, aliado a segurança e a preservação da instalação.

Realizando um projeto correto será garantida à empresa uma segurança em suas instalações por um período prolongado, não havendo a necessidade de manutenções com tanta frequência. Também serão assegurados a empresa confiança e qualidade na sua planta em relação a suas linhas elétricas, o que evitará perdas por efeitos decorrentes de instalações elétricas não adequadas, garantindo uma economia de energia, e a eficiência no seu desempenho.

Com o dimensionamento correto de uma instalação e utilizando a energia de maneira eficiente, a empresa poderá ter um diferencial no mercado, se tornando mais competitiva.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo Geral

O presente trabalho tem por objetivo o estudo de caso referente ao desenvolvimento projeto elétrico básico de uma indústria metalúrgica do setor de forjaria.

1.2.2 Objetivos Específicos

Dentre os objetivos específicos deste trabalho pode-se citar:

- Dimensionamento de iluminação interna e externa;
- Dimensionamento das proteções adequadas às linhas elétricas;
- Dimensionamento de condutores das linhas elétricas;
- Elaboração de Diagrama Unifilar Geral de Baixa Tensão;
- Correção de fator de potência;
- Dimensionamento de malha de aterramento;
- Verificação de necessidade de SPDA.

1.3 Aplicação

Este projeto poderá servir de base para aplicação em diversas outras plantas industriais quanto a requisitos para o desenvolvimento de projetos elétricos industriais, contemplando a infraestrutura, dimensionamento dos sistemas de condutores de força e distribuição, e subsídios para comissionamento de equipamentos elétricos da instalação.

1.4 Metodologia

A metodologia utilizada para o trabalho será a pesquisa qualitativa, onde será realizada inicialmente uma revisão bibliográfica sobre o tema. Na sequência:

- Será realizado um estudo de viabilidade técnica da instalação física da planta;
- Serão elaboradas relações de equipamentos a serem instalados com dados técnicos, para fim de dimensionamento do sistema elétrico;
- Serão estudadas as características físicas do local e melhor forma de instalação das eletrocalhas, eletrodutos, leitos e quadros de baixa tensão de circuitos terminais, admitindo a capacidade de mudanças da localização dos equipamentos sem comprometer as instalações existentes;
- Será realizado o detalhamento com a elaboração dos documentos descritos nos objetivos específicos.

1.5 Estrutura do Trabalho

O trabalho estará estruturado da seguinte forma:

- Capítulo 1: Introdução
- Capítulo 2: Revisão Bibliográfica
- Capítulo 3: Estudo de Caso com:
 - Definição dos elementos de projeto;
 - Estudo de iluminação industrial interna e externa;
 - Dimensionamento de linhas elétricas;
 - Estudo de fator de potência;
 - Especificação de materiais elétricos;
 - Estudo do sistema de aterramento e de proteção contra descargas atmosféricas (SPDA);
- Capítulo 4: Conclusão com análise e discussão do processo

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Foi realizada uma pesquisa sobre os assuntos relacionados ao tema deste trabalho, que está apresentado a seguir nos seguintes tópicos:

- Documentação de projeto;
- Detalhamento da iluminação;
- Correção de Fator de Potência;
- Dimensionamento de materiais e equipamentos;
- Dimensionamento do aterramento;
- Dimensionamento do Sistema de Proteção contra Descargas Atmosféricas (SPDA).

2.1 Documentação de Projeto

Na concepção de um determinado projeto elétrico dentro do âmbito industrial, o profissional tem por obrigação de conhecer determinados detalhes e informações essenciais referentes as circunstâncias e peculiaridades operacionais. (MAMEDE FILHO, 2017)

Obtendo estes detalhes o profissional terá a possibilidade de desenvolver um interessante projeto elétrico proveitoso.

Usualmente o projetista necessita para desenvolver o projeto um conjunto de plantas da indústria, incluindo:

Planta de Situação, (MAMEDE FILHO, 2017), é uma vista principal superior com a dimensão a toda zona que envolve o terreno para o qual se projetou a edificação, sendo sua finalidade básica é identificar e localizar formatos, dimensões do lote em zona urbana ou de terra em zona rural.

Planta Baixa trata-se de uma ilustração técnica em proporção que demonstra as divisões da infraestrutura com uma visão superior. (MAMEDE FILHO, 2017)

Planta Baixa do arranjo das máquinas, abrange todas as localizações dos equipamentos que deveram receber o fornecimento de energia. (MAMEDE FILHO, 2017)

Todo projeto elétrico industrial deverá levar em conta outros aspectos sendo eles:

- Flexibilidade: É a possibilidade de haver alterações em seu layout de equipamentos sem haver grandes alterações em suas instalações. (MAMEDE FILHO, 2017)

- **Acessibilidade:** Segundo (MAMEDE FILHO, 2017), caracteriza a capacidade ao ingresso integral dos dispositivos de operação.

- **Confiabilidade:** Em um conceito bastante amplo é a capacidade de um sistema, instalação, equipamento, máquina, dispositivo de executar suas funcionalidades adequadamente a qual está aplicada. (MAMEDE FILHO, 2017)

- **Continuidade:**

O projeto deve ser desenvolvido de forma que a instalação tenha o mínimo de interrupção total ou em qualquer um dos circuitos. (MAMEDE FILHO, 2017 p.13)

2.2 Normas Técnicas Recomendadas

Cada projeto elétrico deverá ser desenvolvido aplicando as normas técnicas vigentes, que no Brasil são de responsabilidade de emissão pela ABNT. Compete também, cumprir as normas e padrões das concessionárias de energia públicas ou privadas que fornecerão a energia elétrica a indústria. (MAMEDE FILHO, 2017)

Deve-se seguir normas da ABNT que auxiliam no desenvolvimento do projeto. Dentre elas estão:

- NBR5410 – Instalações elétricas em baixa tensão;
- NBR14039 – Instalações elétricas em média tensão de 1,0 a 36, 2 kV;
- NBR 5413 – Iluminação de Interiores;
- NBR 5419 – Proteção de estrutura contra descargas atmosféricas.

Com relação a segurança de instalações elétricas e equipamentos, o MTE (Ministério do Trabalho e Emprego), estabeleceu algumas NR's (Normas Regulamentadoras) que precisam ser seguidas e aplicadas em projetos, dentre elas:

- NR 10 – Segurança em instalações e serviços em eletricidade;
- NR-12 – Segurança no trabalho em Máquinas e Equipamentos.

A CELESC dispõe de normas técnicas vigentes que juntas compreendem todos os níveis de tensão de suprimento de energia elétrica. Dentre as mais utilizadas em projetos elétricos pode-se citar:

- Norma Técnica N-321.0001 Fornecimento de Energia Elétrica em Tensão Secundária de Distribuição;
- Norma Técnica N-321.0002 Fornecimento de Energia Elétrica em Tensão Primária.

Além de ser obrigação técnica do profissional projetista, a adoção de normas técnicas gera efeitos altamente positivos no desempenho de suas instalações elétricas, garantindo segurança e durabilidade.

2.3 Dados de Projeto

O projetista deverá também ter por conhecimento as seguintes informações:

- Condições de fornecimento de energia

Sob responsabilidade da concessionária de energia fornecer as informações necessárias relacionadas:

- Forma de cálculo de demanda e os respectivos fatores pertinentes;
- Fornecimento do nível de tensão que será conectado à indústria, dentre os apresentados na Tabela 1;
- Padrões de entrada e medição;
- Restrições do sistema elétrico quanto a capacidade de suprimento de energia necessária a indústria;
- Capacidade de curto-circuito e impedância equivalente do circuito alimentador;

Tabela 1- Níveis de Tensão no Brasil

Níveis de Tensão Brasil		
Sistema	Padrão	Existentes
Transmissão	138/230/345/500 kV	440/750 kV
Sub-transmissão	34,5/69/138 kV	88 kV
Distribuição primária	13,8/34,5 kV	11,9/22,5 kV
Distribuição secundária	127/227/380 V	110 e 115/230V

Fonte: O autor.

Em qualquer rede elétrica seja ela interna ou externa as instalações da indústria, o sistema de distribuição engloba os métodos e dispositivos que realizam o transporte de potência desde a entrada de energia até os dispositivos de proteção geral e secundários dos circuitos de alimentação.

Os arranjos de um sistema de distribuição é, em síntese, uma questão de seleção de arranjos básicos de circuitos e equipamentos de forma a atender às operações e serviços elétricos necessários e adequados as condições pré-estabelecidas de tensão, corrente e frequência. (ISONI, 2015, p.3)

O sistema de abastecimento de energia elétrica de uma indústria na maioria dos casos é de responsabilidade das concessionárias de energia local seguindo as diretrizes da ANEEL.

- Características da carga

As particularidades das cargas que serão instaladas na indústria podem ser obtidas junto ao responsável pela empresa e juntamente com os fornecedores ou manuais de especificações dos equipamentos. Sendo assim os principais dados:

- Motores Elétricos:

- ✓ Potência nominal;
- ✓ Tensão nominal;
- ✓ Corrente Nominal;
- ✓ Frequência nominal;
- ✓ Fator de Potência;
- ✓ Número de fases;
- ✓ Rendimento.

- Fornos de Arco:

- ✓ Potência nominal do forno;
- ✓ Potência de curto-circuito do forno;
- ✓ Potência nominal do forno;
- ✓ Tensão nominal.

- Outras Cargas:

Aqui fica caracterizada outros tipos de cargas não citados como: máquinas de solda, fornos de indução, entre outras. (MAMEDE FILHO, 2017), com as seguintes grandezas elétricas:

- ✓ Tensão;
- ✓ Corrente Máxima;
- ✓ Fator de Potência.

2.4 Concepção de Projeto

2.4.1 Divisão da Carga em Blocos

Com a utilização da planta baixa e o posicionamento das máquinas, pode-se dividir a carga em blocos ou setores de maneira que exista um quadro de distribuição de força, comando e proteção individual. (MAMEDE FILHO, 2017).

2.4.2 Localização dos Quadros de Distribuição

Os quadros ou painéis de distribuição precisam ser bem localizados que façam com que atendem algumas condições a seguir:

- O mais próximo possível do centro de carga, porque normalmente não é possível colocá-lo no centro da carga pois muitas vezes ficaria em um ponto inconveniente, e atrapalhando a produção;
- Próximo à infraestrutura do sistema de alimentação de energia elétrica do setor;
- Afastado da passagem de pessoas e animais, em ambiente bem iluminados e temperatura adequada, que proporcionam fácil acesso para realização de manutenção, que não estejam sujeitos a gases, inundações, trepidações dentre outros perigos.

2.4.3 Localização do Quadro de Distribuição Geral

Normalmente este tipo de quadro fica localizado no interior das subestações ou em salas específicas e destinadas ao seu uso. (MAMEDE FLHO, 2017).

No Quadro Geral de Força (QGF) ou Quadro Geral de Baixa Tensão (QGBT), existem componentes projetados para o seccionamento, proteção e medição dos circuitos de distribuição.

2.4.4 Caminho dos Circuitos de Distribuição e Circuitos Terminais

Os condutores devem ser instalados no interior de eletrocalhas, leitos, eletrodutos, canaletas a fim de satisfazer condições e manter a segurança da instalação.

De acordo com o item 10.3.3 da (NR-10, 2004 p. 2)

O projeto de instalações elétricas deve considerar o espaço seguro, quanto ao dimensionamento e a localização de seus componentes e as influências externas, quando da operação e da realização de serviços de construção e manutenção.

2.4.5 Circuito Terminais De Motores

O circuito terminal de motores consiste em dois ou mais condutores que realizam a condução de corrente elétrica desde o dispositivo de acionamento e proteção até o equipamento.

Segundo a NBR5410, os seguintes requisitos deveram ser levados em consideração no momento de dimensionar os circuitos dos motores:

- Capacidade de condução de corrente;

- Queda de tensão em regime permanente e na partida do motor;
- Proteção (Sobrecarga, curto-circuito, falta de fase, sub e sobre tensão, sub e sobre corrente, etc.);
- Manobra e seccionamento;
- A proteção de sobrecarga do motor deve ser dimensionada de maneira a reconhecer que a corrente de partida não é sobrecarga;
- A proteção de curto-circuito deve ser dimensionada de forma a evitar a deterioração dos cabos e motores elétricos em um curto-circuito.

2.4.6 Circuitos de Distribuição

Entende-se por circuitos de distribuição, muitas vezes chamados de alimentadores, os condutores que derivam do QGBT que podem alimentar vários quadros. (MAMEDE FILHO, 2017).

2.5 Meio Ambiente

Segundo a NR 10:

Influências Externas: variáveis que devem ser consideradas na definição e seleção de medidas de proteção para segurança das pessoas e desempenho dos componentes da instalação.

O projetista ao desenvolver o projeto deverá levar em consideração as peculiaridades de certas influencias externas que possam estar presentes, segundo a NBR5410 estas influências citadas a seguir.

2.5.1 Temperatura Ambiente

Segundo a NR 17 a temperatura ambiente apropriada para o local de trabalho varia entre 20°C e 23°C.

A NBR5410 considera que temperatura de um componente que compõe parte de uma instalação, a temperatura do ambiente ao qual o mesmo se encontrada instalado, incluindo as influências que podem serem expostas sobre ele e seu desempenho, deixando sua dissipação térmica de fora, a tabela nº1 da mesma norma, classifica as faixas de temperatura não considerando a presença e influência da umidade.

2.5.2 Condições Climáticas do ambiente

Com relação a condições climáticas do ambiente especificas a norma NBR5410 em sua tabela 2 apresenta valores tanto para limites máximos e mínimos relativos à temperatura do ar (°C), a umidade relativa (%), umidade absoluta (g/m³).

2.5.3 Altitude

Devido às altitudes acima de 1000m provocarem efeitos em determinados componentes elétricos como motores e transformadores, este fenômeno deve ser levado em consideração no seu enquadramento no momento de serem dimensionados. Em consideração a este item a (MAMEDE FILHO, 2017) classifica assim:

- AC1: baixa: $\leq 1000\text{m}$
- AC2: alta: $> 2000\text{m}$

2.5.4 Presença de água

Com a possível presença de água no ambiente onde a instalação estará efetuada, esse fator deverá ser levado em consideração no momento de definição dos componentes elétricos a serem projetados. A classificação segundo a Tabela 4 da NBR5410, exemplifica as formas possíveis que podem acontecer a presença de água.

2.5.5 Presença de corpos sólidos

Os elementos de pequenas particulas que estão presentes em certos ambientes juntamente com outros fatores entre eles a umidade auxiliaram na degradação da isolamento de determinados equipamentos e instalações elétricas.(MAMEDE FILHO, 2017) Na NBR5410 ,consta a tabela 5 demosntra uma classificação quanto ao tamanho destes corpos solidos.

2.5.6 Presença de substâncias corrosivas e poluentes

Estes agentes corrosivos são produtos que de alguma forma são propícios a prejudicar de maneira quase que sempre de modo irreversível os componentes elétricos ou materiais que entra em contato.

Normalmente em indústrias químicas e petroquímicas são ambientes onde encontram-se em maior quantidade alguns produtos corrosivos e poluentes, estes classificados pela Tabela 6 da NBR5410.

2.5.7 Vibrações

Com a ocorrência de certos tremores em determinados equipamentos ou componentes, sendo este prejudicial as conexões elétricas dos dispositivos, (MAMEDE FILHO, 2017) classifica essas vibrações desta maneira abaixo:

- AH1: fracas: vibrações desprezíveis;
- AH2: médias: vibrações com frequência entre 10 e 50 Hz e amplitude igual ou inferior a 0,15mm;
- AH3: significativas: vibrações com frequência entre 10 e 150 Hz e amplitude igual ou superior a 0,35mm.

2.5.8 Radiações Solares

De acordo com NBR5410, a radiação natural que vem do sol e incide sobre alguns materiais apresenta alterações significativas em suas estruturas, especialmente em materiais plásticos que são os que mais sofrem com este fenômeno. Para este tipo de radiação existe uma classificação desprezível (AN1), média (AN2) e prejudicial (AN3).

2.5.9 Resistência do corpo humano

O corpo humano é muito sensível a perturbações envolvendo contatos acidentais em partes energizadas, cujo possível contato está de certo modo ligado à presença de água e umidade no corpo (MAMEDE FILHO, 2017).

A Tabela 19 da NBR5410 apresenta de forma sucinta as características do corpo humano em algumas condições específicas referentes a característica apresentada pelo corpo.

2.5.10 Contato das pessoas com potencial de terra

Segundo (MAMEDE FILHO, 2017), seja qual for o profissional que atue em serviços com eletricidade ou outros profissionais que estejam em ambientes onde há algum tipo de instalação energizada, estes encontram-se em possíveis situações com risco de acidentes com áreas energizadas da instalação, estes locais são classificados:

- BC1: nulos - pessoas em locais não condutores;
- BC2: fracos - pessoas que não correm risco de entrar em contato sob condições habituais com elementos condutores que não estejam sobre superfícies condutoras;
- BC3: frequentes - pessoas em contato com elementos condutores ou se portando sobre superfícies condutoras;
- BC4: contínuos - pessoas em contato permanente com paredes metálicas e cujas possibilidades de interromper os contatos são limitadas.

2.6 Graus de Proteção

Demonstram os níveis de proteção de invólucros metálicos, a penetração de corpos estranhos e também a incidência de água em determinados pontos.

Conforme a NBR5410 os graus de proteção por um combinado da sigla IP e em seguida os dois números que significam:

- O primeiro dígito numérico significa o grau de penetração de corpos sólidos que podem variar de 0 a 6;
- O segundo dígito numérico relaciona a penetração de água, este variando de 0 a 8.

Através das combinações entre estes números pode se estabelecer o grau de proteção adequado há um determinado invólucro metálico, em atribuição de sua empregabilidade específica.

2.7 Fatores de Projeto

No período inicial que antecede as etapas de planejamento e projeto, existem alguns fatores que deveram ser levados em consideração para que o comportamento das cargas no sistema todo de suprimento energia e também não acontecendo de surgir possíveis impactos nas fontes de alimentação da indústria.

Estes fatores possuem diversas aplicações servindo de experiência para o projetista em situações semelhantes no futuro.

Segundo (MAMEDE FILHO, 2017), alguns destes fatores a serem levados em consideração são apresentados nos próximos subitens.

2.7.1 Fator de Demanda

Segundo CELESC:

Razão entre a demanda máxima num intervalo de tempo especificado e a carga instalada na unidade consumidora. (CELESC, 2015 p.5)

Para (MAMEDE FILHO, 2017) através da Equação 2.1 - Fator de Demanda, demonstra-se matematicamente, o valor do fator de demanda.

$$Fd = \frac{D \text{ máx}}{P \text{ inst}} \quad (2.1)$$

Onde:

D máx. – Demanda máxima da instalação em kW ou kVA

P inst. – Potencia da Carga conectada, em kW ou kVA

2.7.2 Fator de Carga

Segundo (MAMEDE FILHO, 2017):

É a razão entre a demanda média, durante um determinado intervalo de tempo, e a demanda máxima registrada no mesmo período.

O fator de carga pode ser calculado de maneiras diferentes umas das maneiras está demonstrada na Equação 2.2 - Fator de Carga, podendo este ser diário ou mensal.

$$Fc = \frac{D \text{ méd}}{D \text{ máx}} \quad (2.2)$$

Onde:

- D méd. – Demanda média em um determinado período de tempo determinado em kW ou kVA

- D máx. – Demanda máxima da instalação em kW ou kVA

2.7.3 Fator de Simultaneidade

Segundo (MAMEDE FILHO, 2017), é a soma total das potências do grupo de aparelhos e também a soma das demandas individuais dos aparelhos do mesmo grupo em uso em um período de tempo.

2.7.4 Fator de Utilização

Para (MAMEDE FILHO, 2017), o fator que determina a potência média que será consumida por um determinado equipamento.

A tabela 2 demonstra os fatores de utilização dos principais equipamentos da indústria.

Tabela 2 - Fatores de Utilização

Equipamento	Fator de Utilização
Forno a resistência	1
Motores 3/4 e 1/2 cv	0,7
Motores de 3 a 20cv	0,83
Motores de 20 a 40cv	0,85
Motores acima de 40cv	0,87
Retificadores	1
Maquinas de Ar condicionado	1
Equipamentos de aquecimento	1
Iluminação	1

Fonte: Mamede, 2017.

2.8 Determinação de Demanda de Potência

Segundo (MAMEDE FILHO, 2017), compete ao profissional do projeto decidir a previsão da demanda da instalação, levando em consideração as peculiares da indústria a qual está sendo projetada.

Podendo o projetista levar em consideração duas situações:

- A carga instalada será utilizada ao mesmo tempo, ficando assim limitada os ajustes de curva de demanda.

- As cargas instaladas não serão utilizadas ao mesmo tempo.

Segundo (MAMEDE FILHO, 2017) na indústria pode-se determinar a demanda de energia da seguinte maneira:

- Demanda dos aparelhos: Para definir a demanda de certos aparelhos individuais pode-se utilizar a potência fornecida pelo fabricante do equipamento bastando também multiplicar essa potência pelos fatores de utilização e rendimento quando for possível no caso. No caso dos motores elétricos devemos considerar para determinar a potência que será absorvida da rede, os fatores: fator de serviço, rendimento do motor, fator de utilização.

- Demanda de quadros parciais e gerais de distribuição: Para determinar a demanda de quadros de distribuição parciais deverá ser levado em consideração as seguintes cargas:

- Quadro de Iluminação;
- Circuitos de Tomadas gerais;

- Circuitos de alimentação de cargas específicas.

Já para determinar a demanda de quadros gerais devemos levar em consideração os próximos itens a seguir:

- Quadros de distribuição parciais;
- Circuitos de alimentação de setores específicos;
- Também se informa junto ao responsável pela indústria os planos da indústria na questão de expansão, assim prevendo a carga futura no sistema;

- Motores elétricos: Segundo (WEG, 2020) para obter a potência elétrica que será absorvida da rede elétrica por um determinado motor por ser definido pela Equação 2.3 - Potência Absorvida.

$$P_a = \frac{P_u}{\eta} \quad (2.3)$$

Onde:

- P_a – Potência Absorvida
- P_u – Potência Útil
- η - Rendimento do motor

- Iluminação: A demanda para a iluminação precisa se levar em consideração a potência nominal das lâmpadas somando-se as perdas oriundas dos equipamentos auxiliares de partida nos respectivos casos específicos.

- Outras cargas: A demanda com relação a outros tipos de cargas não citados anteriormente deverá utilizar as características da carga, tais cargas podem ser fornos de arco, fornos de indução, máquinas de solda, câmaras frigoríficas, etc.

2.9 Tensão de Fornecimento

Segundo (ANEEL, 2010) é de responsabilidade da distribuidora local de energia fornecer ao cliente a tensão necessária para a respectiva unidade consumidora, seguindo alguns critérios pré-estabelecidos:

- Baixa Tensão em sistemas individuais com cargas menores ou equivalentes a 75 kW em sistemas aéreos ou subterrâneos conforme padronização da distribuidora responsável

- Média Tensão de distribuição inferior a 69kV em unidades consumidoras com carga instalada superior a 75kW e inferior a 2500kW

- Média Tensão de distribuição igual ou superior a 69kV quando a demanda de fornecimento for superior a 2500kW

- Segundo (CELESC, 2015):

O fornecimento será efetuado em tensão primária de distribuição até 25kV, quando a carga instalada na unidade consumidora for superior a 75kW e a demanda de potência contratada ou estimada pelo interessado for igual ou inferior a 2.500kW.

2.9.1 Tarifas de Energia Brasileira

A resolução normativa 414/2010 da ANEEL define as modalidades tarifárias de energia no Brasil atualmente, sendo a seguir:

- Horário de ponta: Intervalo de tempo constituído de 3 horas diárias seguida estabelecida pela distribuidora levando em consideração a curva de carga do seu sistema elétrico, aprovado pela ANEEL em todo o seu território de concessão, exceto em feriados pré-determinados pela legislação brasileira.

- Horário fora de ponta de carga: Segundo a resolução da (ANEEL, 2010): “período composto pelo conjunto das horas diárias consecutivas e complementares àquelas definidas no horário de ponta”;

- Período úmido: Compreende as medições de consumo e demanda do período entre o primeiro dia de dezembro até o último dia de abril, sendo estes cinco meses consecutivos no ano;

- Período Seco: entende-se este período este como sete meses de leitura e medições consecutivos que compreendem desde o mês de maio a novembro do ano vigente.

Com a determinação desses horários a (ANEEL, 2010) montou a seguinte estrutura tarifária de energia no Brasil:

- Tarifa azul: categoria tarifária descrita pela utilização de da energia elétrica de acordo com as horas dos dias utilizados no ano;

- Tarifa verde: categoria tarifária onde há a aplicação de tarifas diferentes do consumo de energia elétrica, de acordo com as horas de utilização do dia e períodos do ano, bem como uma única tarifa de demanda de potência;

- Tarifa Convencional: categoria tarifária onde não há diferenciação de horários no consumo de energia:

- Tarifa convencional monômnia: aplicada a unidades consumidoras que se enquadram no grupo B;

- Tarifa convencional binômnia: aplicada a unidades consumidoras que se enquadram no grupo A.

- Tarifa de ultrapassagem: em determinado período de consumo quando as somas totais de potência ativa ultrapassar em mais de 5% a demanda contratada.

2.10 Detalhamento da Iluminação

2.10.1 Histórico

Na origem da humanidade convivia com o temor da escuridão da noite. O tempo foi passando e com isso o homem foi evoluindo até a descoberta do fogo e seu domínio este sendo a primeira fonte de luz artificial, servindo para se aquecer e também servindo para a iluminação das noites escuras, antes somente iluminada somente pela luz da lua.

O tempo foi passando e a partir foram surgindo os lampiões, tochas e velas que auxiliaram a iluminação. Todas estas ferramentas foram empregadas por um longo período até hoje ainda são utilizadas pelo homem em determinados momentos. Através desta descoberta foi possível o homem a realizar algumas atividades ao entardecer.

As primeiras anotações referentes a descoberta da lâmpada elétrica se dão no século XIX, através de ideias e descobertas de mentes brilhantes incansáveis que se dedicaram a uma das mais importantes criações da humanidade até os tempos atuais. (Fischer, 2009).

Por volta de 1809, o químico britânico da Royal Society, após realizar um experimento com uma tira de carbono disposta entre os dois polos da bateria verificou que ocorreu um arco brilhante, após este experimento que daria origem a famosa lâmpada de DAVY, assim se tornando o começo principal das lâmpadas elétricas. (BLOG ILUMINIM, 2018),

2.10.2 Introdução

Com o decorrer do tempo a iluminação industrial passou por uma evolução bastante significativa nos últimos tempos com o surgimento de novas tecnologias, dado que demanda por projetos de iluminação mais eficientes em ambientes industriais tem direcionado os profissionais da área a inserirem lâmpadas cada vez mais economicamente corretas em seus projetos. Dessa forma, a iluminação industrial passou a ser o foco em questão de iluminação eficiente e econômica, devido a sua utilização por muitas vezes em grandes períodos

2.10.3 Conceitos Básicos

A fim de obter um melhor entendimento a respeito do assunto que será abordado neste capítulo, teremos alguns conceitos básicos revisados a seguir:

2.10.4 - Luz

São as ondas eletromagnéticas emitidas através de uma fonte de radiação com diferentes comprimentos, sendo que poucas são perceptíveis ao olho humano.

2.10.5 - Fluxo Luminoso

Quantia de luminosidade emitida por determinada fonte luminosa no ambiente, que é assimilada pelo olho humano conforme apresentado na Figura 1. Sua respectiva unidade de medida é dada é o lúmen (lm), e é simbolizada pelo ϕ .

Figura 1 - Forma de radiação de luz

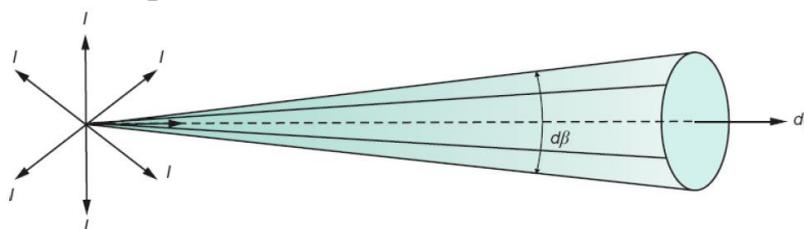


Fonte: Mamade Filho, 2017.

2.10.6 - Intensidade luminosa

É o fluxo luminoso irradiado em determinada direção ou ponto, assim como a Figura 2 apresenta. Sendo esta direção representada por vetores, seu comprimento aponta a intensidade luminosa. Sua unidade de medida é a candela (cd) e é simbolizada pelo I.

Figura 2 - Conceito de Intensidade Luminosa



Fonte: Mamede Filho, 2017

- Iluminância

Define-se como fluxo luminoso este emitido em lumens que se estende por uma determinada superfície sendo está em m². (MAMEDE FILHO, 2017).

Sua unidade de medida é o lux, é simbolizada pelo E. Sendo que sua equação matemática apresentada na equação 2.4

Equação 2.4 - Iluminância

$$E = \frac{\emptyset}{S} \quad (2.4)$$

Onde:

E = Iluminância

\emptyset = Fluxo luminoso, em lumens

S = área da superfície iluminada, m²

- Luminância

Pode ser definida como a quantidade de claridade criada a partir de determinada origem de luz e está mensurada pelo cérebro. Sua unidade de medida é o cd/m². Podendo ser determinada pela equação 2.5 demonstrada.

Equação 2.5 - Luminância

$$L = \frac{I}{S} \cos(\alpha) \quad (2.5)$$

Onde:

S = Superfície iluminada

α = ângulo entre a superfície iluminada e a vertical, que é ortogonal à direção do fluxo luminoso

I = intensidade luminosa

- Eficiência luminosa

É a relação entre o fluxo luminoso emitido em lumens, pela potência consumida em watts. Isto é a quantidade de luz que a fonte luminosa pode produzir com a potência consumida. Sua unidade de medida é o lúmen/watt. A equação 2.6 a seguir demonstra:

Equação 2.6 - Eficiência luminosa

$$\eta = \frac{\Psi}{P_c} \quad (2.6)$$

Onde:

Ψ = fluxo luminoso emitido, em lumens

P.c. = potência consumida, em W

- Temperatura da Cor

Demonstra a aparência das cores com diferentes luminosidades. Sua unidade de medida é o Kelvin.

Figura 3 - Temperatura da Cor

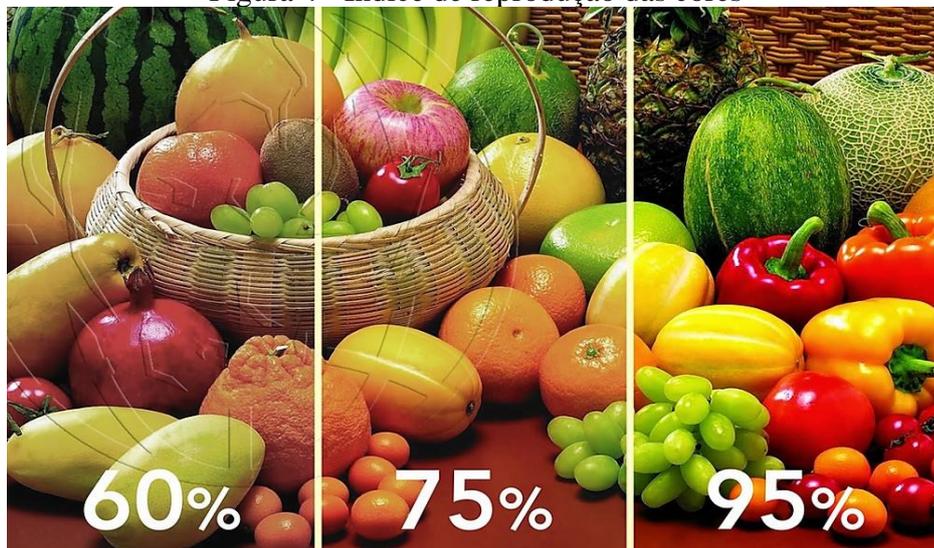


Fonte: Mamede Filho, 2017

- Índice de reprodução das cores (IRC)

Este índice quantifica a fidelidade com que as cores são reproduzidas sob determinada fonte de luz. A capacidade de lâmpada reproduzir bem as cores (IRC) independentemente de sua temperatura de cor (K).

Figura 4 - Índice de reprodução das cores



Fonte: Mamede Filho, 2017

- Refletâncias

É a relação entre o fluxo luminoso que incide sobre uma determinada superfície e o fluxo luminoso que refletido pela mesma superfície.

2.10.7 Tipos de Lâmpadas

Para (CREDER, 2016) as lâmpadas elétricas fornecem energia através da luz que a elas são inerentes.

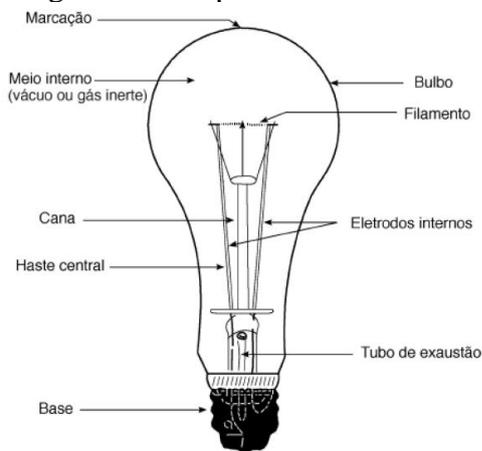
As lâmpadas elétricas disponíveis no comércio atualmente podem ser classificadas de acordo com a sua técnica para emitir a luz. Também pode-se classificar as lâmpadas através de seu desempenho, vida útil, rendimento, entre outros.

- Lâmpada Incandescentes

Segundo (CREDER, 2016) as lâmpadas incandescentes possuem um bulbo de vidro incolor ou leitoso, uma base normalmente em cobre podendo ser também em outras ligas metálicas. O filamento sendo o principal elemento da lâmpada. Através deste filamento há a passagem de corrente elétrica que realiza o aquecimento deste filamento através do efeito joule que realiza a incandescência assim emitindo luz.

Os primeiros filamentos das lâmpadas que foram produzidos através da utilização como matéria prima o carvão, já nos tempos atuais o filamento da lâmpada é de tungstênio. Para que não ocorra a oxidação do filamento da lâmpada no interior da lâmpada há a presença de gás inerte normalmente ou vácuo.

Figura 5 - Lâmpada Incandescente



Fonte: Creder, 2016.

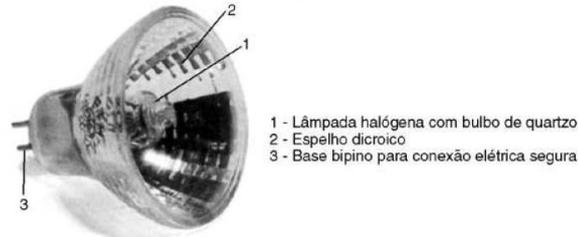
- Lâmpadas Halógena de tungstênio

Conforme (MAMEDE FILHO, 2017) a lâmpada halógena de tungstênio se trata de um modelo com características diferentes da lâmpada incandescente, o seu filamento está concentrado em um tubo de quartzo com uma parcela de iodo, flúor e bromo com acréscimo ao gás normal.

Durante o período que a lâmpada está em atividade, o tungstênio se solta do filamento da lâmpada, estando em contato com gás presente no tubo, com isso forma o iodeto de tungstênio. Com esse composto formado e assim circulando no interior do tubo essa

combinação somada as correntes térmicas da lâmpada faz com que as partículas retornem ao filamento, criando assim um processo repetitivo denominado ciclo de iodo. (NERY, 2005).

Figura 6 - Lâmpada Halógena



Fonte:Creder, 2016.

- Lâmpada Mista

Esse tipo de lâmpada de luz mista é uma combinação de efeitos de outros dois tipos a incandescente e a fluorescente, tem seu formato constituído por um tubo de arco de vapor de mercúrio em serie com um filamento incandescente de tungstênio, que além de produzir a luminosidade funciona como um tipo de limitador de corrente elétrica que circula pela lâmpada. (NERY, 2005).

Figura 7 - Lâmpada Mista



Fonte: Mamede Filho, 2017.

- Lâmpada de descarga

Nestes modelos de lâmpada a luz é emitida a partir da passagem da corrente elétrica através de um gás, mistura ou vapores. (CREDER, 2016).

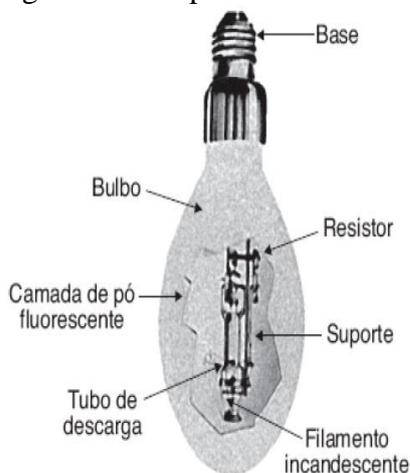
- Lâmpadas Fluorescentes

São basicamente formadas por um cilindro de vidro, que ao longo do seu cilindro é coberto por uma camada de fósforo elemento este que possui particularidades de irradiar claridade em determinado momento ao ser energizado com energia ultravioleta. (MAMEDE FILHO, 2017).

Tendo em suas extremidades eletrodos metálicos de tungstênio recobertos de óxidos que aumentam seu poder emissor, por onde circula a corrente elétrica. Em seu interior existe vapor de mercúrio ou argônio a baixa pressão, e suas paredes internas do tubo

são pintadas com materiais fluorescentes conhecidos como cristais de fósforo. (CREDER, 2016).

Figura 8 - Lâmpada Fluorescente



Fonte: Creder, 2016.

- Lâmpada a Vapor de Mercúrio

Segundo (NERY, 2005) as lâmpadas à vapor de mercúrio são formadas de um tubo de descarga feito de quartzo para suportar elevadas temperaturas, em seu interior contém mercúrio e argônio em pequena quantidade sob alta pressão, sendo que em suas extremidades um eletrodo principal de tungstênio recoberto com material emissor de elétrons.

Quando uma determinada tensão é empregada sobre a lâmpada gera um campo elétrico entre o eletrodo auxiliar e o principal, formando um arco elétrico entre eles provocando o aquecimento dos óxidos emissores, a ionização do gás e a formação de vapor de mercúrio. Com o contato entre os elétrons com os átomos do vapor de mercúrio no interior do tubo ocorre a alteração de sua estrutura atômica por meio desta transformação inicia-se o aquecimento do meio interno a pressão dos vapores cresce com o conseqüente aumento do fluxo luminoso. (MAMEDE FILHO, 2017).

Conforme (NERY, 2005) a lâmpada de mercúrio leva um tempo entre 90 segundos a 300 segundos para emitir toda a sua luminosidade disponível. A referida lâmpada citada é demonstrada na Figura 9.

- Lâmpada a Vapor de Sódio

Segundo (NERY, 2005) as lâmpadas a vapor de sódio têm suas particularidades similares a lâmpada de vapor mercúrio, sendo que o tubo de descarga se caracteriza por ser longo e fino, desenvolvido em óxido de alumínio, transparente. Além de ser preenchido por uma mistura de sódio-mercúrio e da mesma forma com neônio e argônio utilizado na partida da ignição.

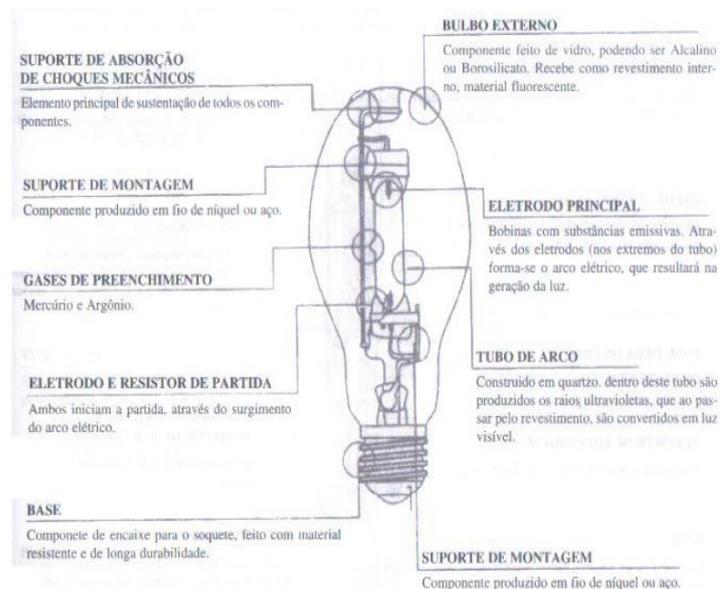
Para esse modelo de lâmpada disponibiliza um alto índice de luminosidade em relação ao seu consumo de energia elétrica, com a emissão de luz em determinada

claridade agradável, sua empregabilidade em sistemas de iluminação no âmbito externo industrial de dimensões maiores. (CREDER, 2016).

O índice de reprodução cores das lâmpadas a vapor de sódio é aproximado de 23, sendo sua temperatura de cor fica em torno de 2000K, sua vida útil na ordem aproximada de 16000 horas podendo haver variação, necessita a utilização de reator e ignitor para que ocorra uma operação correta e uma ignição confiável. (MAMEDE FILHO, 2017).

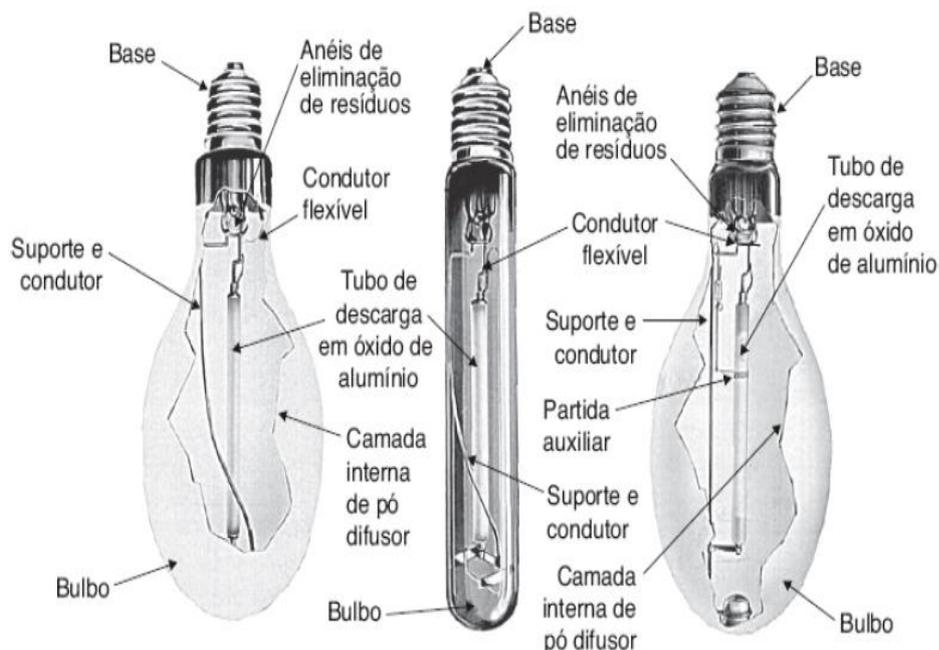
A lâmpada a vapor de Sódio está sendo demonstrada na Figura 10

Figura 9 - Lâmpada a Vapor de Mercúrio



Fonte: Nery, 2005.

Figura 10 - Lâmpada de Sódio



Fonte: Mamede Filho, 2017.

- Lâmpada de LED

Segundo (COTRIM, 2009) o diodo LED tem seu significado a partir da origem da inglesa ‘Light Emitting Diode’ ou na língua portuguesa significa Diodo Emissor de Luz. O LED se trata de um dispositivo de junção P-N que ao se alimentado com um determinado nível de tensão adequado irradia energia em forma de luz perceptível ao olho humano, então a origem de sua descrição LED.

Conforme (Sala da elétrica, 2014):

O LED é um diodo semicondutor, composto por cristais de silício e germânio, que quando energizado emite luz visível a olho nu. Eles são econômicos e tem alta durabilidade. (Sala da elétrica, 2014).

O elemento do LED fundamental para o seu funcionamento trata-se de seu chip semicondutor, que polarizado de corretamente entre seus terminais cátodo e anodo permite a passagem de corrente elétrica, gerando luz. (Laboratório da iluminação, 2012). A imagem a seguir demonstra o tamanho do chip.

Figura 11 - Estrutura do LED



Fonte: Nery, 2005.

Segundo (COTRIM, 2009) a técnica de irradiação de luz com a aplicação de energia elétrica em um diodo é denominada eletroluminescência.

O LED pode ser formado por varios materiais, e dependendo dessa composição se obtem algumas propriedades como intensidade luminosa, tamanho e cor (essa vale ressaltar que se obtem a partir de diferentes combinações de materiais e então podendo ocorrer variações de características elétricas, físicas e fotométricas distintas).

Segundo (COTRIM, 2009) normalmente os LEDs trabalham com um nível de tensão que pode variar entre 1,6 a 3,3V estando adequados para aplicação em circuitos de estado sólido.

A Tabela 3 demonstra alguns materiais que são utilizados para fabricação de LEDs com sua respectiva tonalidade de luz emitida.

Tabela 3 - Material/ Cor radiada

Material do LED	Cor Radiada
Arseneto de Gálio	Radiações Infravermelhas
Fósforo	Vermelha/Amarela
Fosfeto de Gálio com dopagem de Nitrogênio	Verde/Amarela
LED Branco revestido com fosforo	Azul

Fonte: Autor, 2020.

2.10.8 Métodos de Cálculo Luminotécnico

Quando se dispõem de uma iluminação eficiente, está representa uma série de benefícios entre os quais a proteção a visão humana e a influência benéficas sobre o sistema vegetativo responsável pelos comandos do metabolismo e as funções do corpo humano, elevando o rendimento do trabalho, bem-estar e segurança e assim diminuindo os erros e acidentes gerados pelo desconforto da ausência de iluminação no desempenho de suas atividades.

O sistema de iluminação deve fornecer através da emissão de luz um ambiente visual adequado para o desempenho das atividades serem executadas pelos ocupantes do ambiente. A luz deve ser fornecida e direcionada para a superfície onde será desenvolvida as atividades pelos seus profissionais.

Os iluminamentos recomendados são baseados nas características das tarefas visuais e nos requerimentos de execução, sendo maiores para o trabalho envolvendo muitos detalhes, trabalhos precisos e trabalhos de baixos contrastes.

Para determinar os valores médios mínimos de iluminância em ambientes para a realização de atividades com iluminação artificial a NBR-5413 (Iluminância de interiores) fornece parâmetros para diversas atividades desenvolvidas tanto no âmbito do comércio, indústria, dentre outros.

A iluminância por ser medida através de um determinado equipamento chamado luxímetro.

A possibilidade de utilização de iluminação natural deverá ser levada em consideração na concepção inicial do projeto, sempre considerando a variação diária e sazonal da luz solar.

Figura 12 - Luxímetro



Fonte: Mamede Filho, 2017.

Para a determinação do nível de iluminação adequado ao ambiente, podem ser utilizados métodos de cálculo, sendo eles:

2.10.8.1 Método dos lumens

Segundo (GHISI, 1997) o método de lumens consiste em um meio fácil de elaborar projetos de iluminação e baseado nisso é bastante usado pelos profissionais da área. Esse método se baseia na iluminância indispensável para a atividade que será desenvolvida no recinto, levando em consideração os tipos de lâmpadas e luminárias escolhidos e também as aparências das paredes, tetos, piso, da mesma maneira que leva em consideração alguns fatores importantes como regularidade de manutenção e a higienização do conjunto de iluminação.

Segundo (MAMEDE FILHO, 2017) o método de lumens se trata de uma forma de mais simples de determinar a iluminação de um ambiente, mas este método é o que menos apresenta precisão em seus resultados.

Segundo (MAMEDE FILHO, 2017) pode-se determinar o fluxo luminoso necessário em determinado ambiente usando como referência a equação 2.7.

Equação 2.7 - Fluxo Luminoso Total

$$\Psi_t = \frac{E \times S}{F_u \times F_{dl}} \quad (2.7)$$

Onde:

Ψ_t : fluxo total a ser emitido pelas lâmpadas;

E: Iluminamento médio requerido pelo ambiente a iluminar, em lux;

S: área do ambiente, m²;

F_{dl}: fator de depreciação do serviço da luminária;

F_u: fator de utilização do recinto.

Segundo (CREDER, 2016) para determinar o número de luminárias necessárias utiliza-se a equação 2.8 apresentadas.

Equação 2.8 - Número de Luminárias

$$n = \frac{\Phi}{\phi} \quad (2.8)$$

Onde:

n: número total de luminárias

Φ : fluxo total do ambiente;

ϕ : fluxo por luminária, em lumens.

- Fator de depreciação ou Manutenção

Segundo (MAMEDE FILHO, 2017) todo sistema de iluminação com o decorrer do tempo passa, passa por perdas de eficiência em decorrência da redução do fluxo luminoso da lâmpada e de influências externas que se acumulam na luminária e na própria lâmpada. Ainda segundo a fonte o fator de depreciação corresponde a uma relação entre o fluxo luminoso no fim do período de manutenção e o fluxo luminoso no início da instalação.

Conforme (OSRAM, 2000):

Deve-se considerar também que, com o tempo de uso, se reduz o Fluxo Luminoso da lâmpada devido tanto ao desgaste, quanto ao acúmulo de poeira na luminária, resultando em uma diminuição da Iluminância.

A Tabela 4 demonstra alguns tipos de sistemas de iluminação e suas respectivas depreciações.

Tabela 4 - Modelos de Iluminação/ Depreciação	
Tipos de Aparelho	Fdl
Aparelhos para embutir lâmpadas incandescentes	0,85
Calha aberta e chanfrada	0,8
Luminária comercial	0,75
Refletor industrial para lâmpada VM	0,7
Refletor com difusor plástico	0,6

Fonte: MAMEDE FILHO, 2017.

Neste método o fator de depreciação da luminária é fornecido pelo fabricante e podendo haver variação com o modelo escolhido.

- Fator de Utilização

Conforme (CREDER, 2016) esta forma associa o fluxo luminoso original emitido pela luminária juntamente com a lâmpada (fluxo total) e o respectivo fluxo luminoso que atingiu o plano de trabalho (fluxo útil), assim deve-se levar em consideração as

dimensões do local, aparência do teto, paredes, e acabamento das luminárias que deveram ser utilizadas.

De acordo com (MAMEDE FILHO, 2017) o fator de utilização pode ser definido como o conjunto de rendimento do sistema de iluminação juntamente com o ambiente onde encontram-se instalado.

Para (GHISI, 1997) o fator de utilização é aplicado para acrescer fluxo luminoso inicialmente no momento de projetar a iluminação para assim sustentar as exigências mínimas de iluminância definidas inicialmente no projeto de iluminação do ambiente no termino da vida útil do sistema

Segundo (CREDER, 2016) é necessário determinar o índice do local levando em consideração a altura da luminária em relação ao ponto de trabalho, as dimensões do ambiente e o tipo de iluminação que pode direta, semidireta, indireta e semi-indireta. Para este índice utiliza-se a equação a seguir:

Equação 2.9 - Coeficiente do índice do local

$$K = \frac{C \times L}{hm(C + L)} \quad (2.9)$$

Onde:

K: Coeficiente do índice do Local;

C: comprimento do local

L: largura do local

hm: altura da montagem da luminária (distância entre a luminária e o plano de trabalho)

Segundo (MAMEDE FILHO, 2017) com a determinação do índice K e possuindo as refletâncias médias do ambiente que estão de acordo com a aparência das paredes, teto e piso que serão iluminadas. Com os índices abaixo encontra-se as reflexões médias do ambiente:

a) Teto:

- Branco: 70% = 0,70
- Claro: 50% = 0,50
- Escuro: 30% = 0,30

b) Paredes:

- Claras: 50% = 0,50
- Escuras: 30% = 0,30

c) Piso:

- Escuro: 10% = 0,10

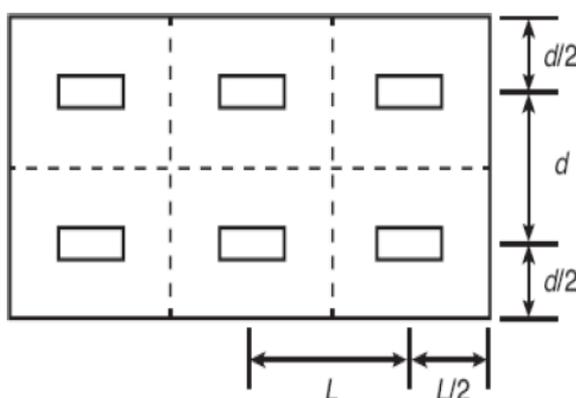
Com a definição desta informação e a definição do modelo de luminária escolhida que será instalado no ambiente cruzando os dados na tabela da luminária obtém-se o rendimento da luminária.

Distribuição das Luminárias

De acordo com (CREDER, 2016) as luminárias devem ser postadas de forma que o fluxo luminoso possa ser emitido da mesma forma para todos os lados do ambiente, mas podendo ser instalados usando uma forma pratica de distância entre luminárias, o dobro da distância entre a luminária e a parede entre as luminárias.

De acordo com (NERY, 2005), o afastamento entre as luminárias precisa levar em consideração a dimensão do nível onde a atividade será desenvolvida e o seu compartilhamento de claridade, esses valores normalmente ficam entorno de 1 a 1,5 vezes.

Figura 13 - Distribuição típica de luminárias



Fonte: Creder, 2016.

2.10.9 Método do ponto a ponto

Segundo (MAMEDE FILHO, 2017) esse meio possibilita que se estabeleça em cada ponto do ambiente o nível de luz somando todas as origens luminosas que chegam a determinado ponto, o iluminamento total será a soma dos iluminamentos proporcionais pelas unidades individuais.

De acordo com (CREDER, 2016) a iluminância que chega a um determinado ponto do ambiente é proporcional a força luminosa da origem em sentido ao espaço, equivalente ao cosseno do ângulo da incidência que o feixe luminoso esta em relação ao plano e relativamente contrário ao quadrado do distanciamento do ponto de emissão de luz a plano.

Segundo (GHISI, 1997) método do ponto a ponto, também conhecido como método das intensidades luminosas, permite o cálculo de iluminamento em qualquer recinto de forma individual, para cada projetor cuja luz atingira um ponto em especifico, não levando

em consideração as respectivas reflexões do teto, piso e paredes assim seguindo a lei da aditividade.

De acordo com (KAWASKI, 2012) esse método aplicado para fontes pontuais para em ambientes de pequena proporção e com feixes de luz bem definidos onde serão empregados alguns tipos de lâmpadas como: dicroica, PAR e alguns modelos de LEDs.

Segundo (MAMEDE FILHO, 2017) o fluxo luminoso de uma determinada luminária atinge dois planos ao mesmo tempo, sendo eles o plano horizontal e vertical, definindo assim dois tipos de iluminação que são:

- Iluminamento horizontal: A partir da equação abaixo podemos determinar o fluxo luminoso no plano horizontal em relação a um ponto comum.

Equação 2.10 - Iluminamento horizontal

$$Eh = \frac{I \times \cos^3 \theta}{H^2} \quad (2.10)$$

Onde:

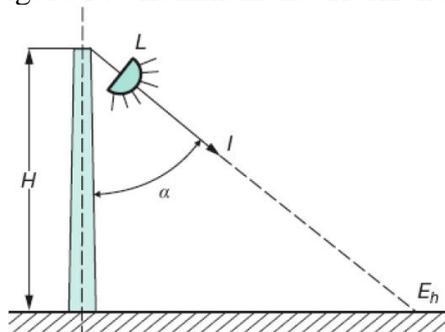
Eh: iluminamento horizontal, em lux;

I: intensidade do fluxo luminoso, em cd;

θ : ângulo entre uma dada direção do fluxo e a vertical que passa pelo centro da lâmpada;

H: altura vertical da luminária em m.

Figura 14 - Iluminamento Horizontal



Fonte: Mamede Filho, 2017.

- Iluminamento Vertical: A partir da equação abaixo podemos determinar o fluxo luminoso no plano vertical em relação a um ponto comum.

Equação 2.11 - Iluminamento Vertical

$$Ev = \frac{I \times \sin^3 \theta}{D^2} \quad (2.11)$$

Onde:

Ev: iluminamento horizontal, em lux;

I: intensidade do fluxo luminoso, em cd;

θ : ângulo entre uma dada direção do fluxo e a vertical que passa pelo centro da lâmpada;

D: distância entre a luminária e o ponto localizado no plano vertical, em m.

2.11 DIMENSIONAMENTO DE MATERIAIS E EQUIPAMENTOS

Segundo (COTRIM,2009) os condutores elétricos são os elementos fundamentais das linhas elétricas, os mesmos são íncubos de transportar a energia elétrica ou mesmo sinais elétricos, sua forma geralmente é cilíndrica em material metálico com comprimento muito superior à sua dimensão transversal. Ainda segundo a fonte fio é um material metálico, maciço, podendo ser normalmente em cobre e alumínio com comprimento dependendo da necessidade.

Segundo (MAMEDE FILHO, 2017) os condutores que são isolados empregam materiais diferentes para o seu revestimento entre os mais empregados estão o PVC (cloreto de polivinila), o EPR (etileno-propileno) e o XLPE (polietileno reticulado), sendo estes com suas respectivas peculiaridades próprias.

2.11.1 Categorias e Aplicações

Se tratando de condutores elétricos existem uma grande variedade para diversas aplicações, sendo fabricados de diversos modelos. Conforme o nível de tensão que será aplicado no condutor se dividem em condutores de Baixa Tensão (BT) e Alta Tensão (AT).

Os condutores de maneira geral são aplicados em instalações das mais simples podendo ser um circuito de iluminação, de acionamento de motores, etc. Ainda existem os condutores de uso específico, que possuem características específicas para sua empregabilidade, tais como os de instrumentação industrial.

2.11.2 Seções Mínimas de Condutores

A NBR 5410 disponibiliza na tabela 47 as seções mínimas de condutores para alguns circuitos. A Tabela 5 demonstra essas seções.

2.11.3 Seção Mínimo do Condutor de Neutro (N)

Segundo a NBR 5410 alguns cuidados devem ser considerados para especificar o condutor de neutro, sendo estes: O condutor neutro não pode ser comum a mais de um circuito; O condutor neutro de um circuito monofásico de ter a mesma seção do

condutor de fase; A seção do condutor neutro de um circuito com duas fases e neutro não deve ser inferior a seção dos condutores de fase; Num circuito trifásico com neutro e cujos condutores de fase tenham uma seção superior a 25mm², a seção do neutro pode ser inferior à dos condutores de fase.

A norma fornece uma tabela de seções mínimas de neutro em relação com os condutores de fase. A Tabela 6 apresenta as seções mínimas de neutro.

Tabela 5 - Seção Mínima de condutores

Tipos de Linha		Tipo de Circuito	Seção mínima do condutor em mm ²
Instalações em Geral	Condutores e Cabos isolados	Circuito de iluminação	1,5Cu /16AL
		Circuito de Força	2,5Cu/16AL
		Circuito de sinalização e controle	0,5 Cu
	Condutores NUS	Circuitos de força	10Cu /16AL
		Circuitos de sinalização e controle	4 CU
		Para um determinado equipamento	Conforme especificado na norma do equipamento
Linhas flexíveis com cabos isolados	Para qualquer outra instalação	0,75 Cu	
	Circuito a extra baixa tensão para aplicações especiais	0,75 Cu	

Fonte: NBR 5410, 2004.

Tabela 6 - Seção Mínimo de condutor Neutro

Seção dos condutores de fase mm ²	Seção reduzida do condutor neutro mm ²
S ≤ 25	S
35	25
50	25
70	35
95	50
120	70
150	70
185	95
240	120
300	150
400	185

Fonte: NBR5410, 2004.

2.11.4 Seção Mínima do Condutor de Proteção (PE)

O condutor de proteção assim como o condutor de neutro é definido com relação do condutor de fase do circuito. A Tabela 58 da NBR5410 define as seções dos condutores de proteção, estas seções são apresentadas na Tabela 7.

Tabela 7 - Seção Mínima do condutor de proteção.

Seção dos condutores de fase S mm ²	Seção mínima do condutor de proteção correspondente mm ²
$S \leq 16$	S
$16 < S \leq 35$	16
$S > 35$	S/2

Fonte: NBR5410, 2004.

2.11.5 Identificação de Condutores

A NBR5410 todo condutor isolado, usado como condutor neutro deverá ser diferenciado em sua tonalidade dos demais condutores para a sua respectiva atribuição, mas se for identificado por cores, recomenda-se o uso da cor azul-claro na cobertura do cabo. Para a aplicação de condutores como terra (PE), também deverá seguir as descrições aplicadas ao condutor de neutro, mas a isolação tem de ser em dupla coloração verde-amarela ou somente na cor verde, cores estas exclusivas na função de proteção, em caso de ser empregado no mesmo condutor o sistema de neutro-terra (PEN), o isolamento deve ser aplicado na cor azul-claro, com anilhas verde-amarelo em suas extremidades visíveis ou acessíveis. Os condutores de fase devem ser identificados para essa função, suas cores seja qual for desde que não sejam utilizadas cores idênticas as aplicadas na isolação dos condutores de neutro e terra respectivamente.

2.11.6 Dimensionamento de Condutores

Segundo (COTRIM,2009) para o dimensionamento preciso dos condutores para aplicações em baixa tensão, algumas particularidades precisam ser analisadas, a capacidade térmica principalmente (pois esta quando saturada pode danificar a plenitude das características físicas, químicas e mecânicas levando a perdas na conservação da isolação elétrica), a limitação de corrente, limite de queda de tensão do circuito, capacidade dos dispositivos de proteção contra sobrecarga e a capacidade de condução de corrente de curto-circuito em um período de tempo limitado.

2.11.7 Capacidade de Condução de Corrente

Segundo (MAMEDE FILHO, 2017) neste método limita-se o valor nominal de capacidade de corrente máxima que cruzara pelo condutor, conforme a sua maneira de instalação que a NBR5410 detalha através de algumas referências definidas por meio de ensaio ou mesmo cálculo, esses valores obtidos de capacidade de condução de corrente elétrica, foram levados em consideração a capacidade de troca térmica entre os condutores e o ambiente.

A NBR 5410 apresenta tabelas de capacidade de corrente em condutores usando métodos de referencia a serem utilizados em aplicações de linhas elétricas, que através destes métodos haja uma vida útil do condutor maior e suas isolações no período necessário prolongado de serviço aos quais estarão sendo empregados.

2.11.8 Corrente Nominal em Circuitos

É aquela que se espera que a carga consuma quando esteja trabalhando em condições nominais, essa informação é essencial para que seja capaz de dimensionar os dispositivos de proteção e os condutores.

Dependendo do tipo de carga que está sendo projetado aplica-se umas das equações a seguir:

Circuitos Monofásicos:

Cargas Resistivas

Equação 2.12 - Corrente nominal em circuitos monofásicos resistivos

$$I_p = \frac{P_n}{V} \quad (2.12)$$

Cargas Indutivas

Equação 2.13 - Corrente nominal em circuitos monofásicos indutivos

$$I_p = \frac{P_n}{V \cdot \cos(\varphi) \cdot n} \quad (2.13)$$

Circuitos Trifásicos:

Equilibrado: 3 FASE

Equação 2.14 - Corrente nominal em circuitos trifásicos equilibrados

$$I_p = \frac{P_n}{\sqrt{3} \cdot V \cdot \cos(\varphi) \cdot n} \quad (2.14)$$

Desequilibrado: 3 FASE + NEUTRO

Equação 2.15 - Corrente nominal em circuitos trifásicos desequilibrados

$$I_p = \frac{P_n}{\sqrt{3} \cdot v \cdot \cos(\varphi) \cdot n} \quad (2.15)$$

Onde:

I_p - Corrente de Projeto do circuito, em ampères, (A);

P_n - Potencia Nominal do circuito, em watts (W);

v - Tensão elétrica entre fase e neutro, em volts (v);

V - Tensão elétrica entre fases, em volts (V);

η - Rendimento

$\cos\varphi$ - Fator de Potência (cosseno do ângulo de defasagem entre tensão e a corrente).

2.11.9 Condutores Carregados

Condutor carregado é considerado aquele que seja percorrido por corrente elétrica quando o circuito está em funcionamento. Os condutores podem se de circuitos monofásicos de fase e neutro, e circuitos trifásicos sendo equilibrados ou desequilibrados. Considerando um circuito trifásico com neutro (circuito desequilibrado), havendo a circulação de corrente no neutro este é considerado condutor carregado.

A Tabela 46 da NBR5410 demonstra o número de condutores carregados em função do tipo de circuito, na Tabela 8 demonstra os tipos de circuitos.

Tabela 8 - Condutores Carregados

Esquema de condutores Carregados	Número de condutores carregados
Monofásico a dois condutores	2
Monofásico a três condutores	2
Duas fases sem neutro	2
Duas fases com neutro	3
Trifásico sem neutro	3
Trifásico com neutro	3 ou 4

Fonte: NBR 5410, 2004.

2.11.10 Seção dos Condutores com Relação aos Métodos de Instalações

Para definir a seção nominal dos condutores que serão empregados no sistema de alimentação de uma determinada carga, é importante que seja levado em consideração o método de instalação que será aplicado no circuito, dessa forma a NBR5410 através das tabelas 36 a 39 condições de capacidade de condução de corrente utilizando como referência à disposição dos condutores, com regime contínuo permanente em sistema de corrente alternada/contínua, com a respectiva temperatura do condutor e ambiente (ar ou solo), sendo ainda a isolação tipo de isolação do condutor.

2.11.11 Fatores de Correção de Corrente de Projeto

As correntes nominais das cargas previstas em projeto precisam ser corrigidas para dimensionar os condutores, assim é necessário aplicar algumas correções nas correntes de projetos, esses fatores são estabelecidos para cada modelo particular de instalar o cabo, são eles: Fator de correção de temperatura (FCT); Fator de correção de Agrupamento (FCA) e Coordenação com dispositivo de proteção do circuito contra sobre corrente.

2.11.12 Fator de Correção de Temperatura (FCT)

A capacidade de condução de corrente elétrica nos condutores exemplificados na NBR5410 são foram determinados em condições de temperatura para 20°C em linhas no solo e 30°C em linhas não enterradas. Caso ocorra dos condutores sejam instalados de qualquer outra maneira, aplica-se os fatores de correção de corrente que estão na tabela nº 40 da NBR5410.

2.11.11 Fator de Correção de Agrupamento (FCA)

As capacidades de condução de corrente conhecidos nas tabelas da NBR 5410 são aplicados quando há somente uma camada de condutor carregado, ocorrendo uma quantidade superior instalada na mesma técnica é necessário a aplicação da correção de agrupamento aplicando os valores correspondentes encontrados nas tabelas 42 a 45 da mesma norma.

2.11.12 Corrente Corrigida (I_p)

A corrente corrigida é um valor que não é o real que circulará no circuito, se obtém este levando em consideração os fatores de temperatura e agrupamento, o valor encontrado após aplicação destes aspectos será usado para dimensionar os condutores e suas proteções. A corrente corrigida é determinada pela equação abaixo:

Equação 2.16 - Corrente de projeto corrigida

$$I_p = \frac{I_n}{FCT \cdot FCA} \quad (2.16)$$

Onde::

I_p : Corrente de projeto corrigida, em Ampères (A).

I_n : Corrente nominal do Circuito.

FCT: Fator de Correção de Temperatura.

FCA: Fator de Correção de Agrupamentos de Circuitos.

2.11.13 Dimensionamento de Proteções em Baixa Tensão

Os condutores bem como os equipamentos em ambientes industriais estão frequentemente sendo aplicados em regime de operação para os quais são foram projetados. Esses regimes podem ser em forma de sobrecarga, correntes de curto-circuito, sbretensões, subtensões. Assim os dispositivos de proteções encontrados nos ambientes industriais devem ser projetados para o desligamento do circuito quando submetidos as condições citadas anteriormente. A realidade na maioria das vezes encontrado dentro das industrias são os fusíveis dos tipos diazed e NH, disjuntores de forma geral e relés termicos.

2.11.13.1 Proteção Contra Sobrecarga e Curto-Circuito

De acordo com a NBR5410, esses dispositivos devem ter a capacidade de interromper toda sobrecorrente inferior ou igual à corrente de curto-circuito presumida no ponto em que a proteção esta instalada. Entre os dispositivos podemos citar disjuntores, fusíveis do tipo gG e ambos acoplados juntos.

A coordenação entre os condutores e os respectivos dispositivos de proteção fique assegurado é necessario que seja aplicada a equação 2.17, as características de atuação do dispositivo de proteção projetado para proteção deve ser tal que:

Equação 2.17 - Corrente nominal da proteção com relação do condutor

$$I_p \leq I_n \leq I_z \quad (2.17)$$

Onde:

I_p : Corrente de projeto corrigida do circuito, em ampere (A);

I_n : Corrente nominal do dispositivo de proteção nas condições previstas para a sua instalação, em ampère (A);

Iz: Capacidade de condução de corrente dos condutores do circuito previsto na instalação, em ampere (A).

Os valores comerciais dos disjuntores ou fusíveis são fixos, assim aplica-se o valor imediatamente superior.

Além das proteções contra sobrecarga e curto-circuito citados acima, existem ainda outros tipos de proteções disponíveis em sistemas de baixa tensão como podemos citar as seguintes:

- Sobrecorrentes;
- Efeitos Térmicos;
- Sobretensões e surtos de tensão;
- Dentre muitos outros.

2.11.14 Queda de Tensão

Durante o período de projeto uma instalação industrial é necessário considerar a capacidade de condução de corrente elétrica nos condutores, condição essa conhecida por muitos. Mas não é somente isso que se deve levar em conta, mas também a queda de tensão nos circuitos. A queda de tensão nada mais é do que a diferença de valor de tensão entre dois pontos distintos de um mesmo circuito.

Segundo a NBR5410 os valores de queda de tensão não podem ultrapassar os estabelecidos em relação a tensão nominal da instalação. Esses valores estabelecidos pela norma encontram-se abaixo:

- 7% em sistemas de fornecimento de energia em baixa tensão atendido pelo transformador da concessionária;
- 7% em transformador próprio da unidade consumidora em sistema de MT/BT;
- 5% a partir do ponto de entrega, nos casos de ponto de entrega em tensão secundária de distribuição;
- 7% em relação a sistemas de geração de energia, no caso do gerador próprio.

A norma ainda determina que o limite de queda de tensão para qualquer que seja o tipo de circuito terminal não pode ser superior a 4%, esses valores citados são válidos somente para regimes permanentes, em equipamentos com alta corrente de partida as quedas de tensões serão superiores, devendo respeitar os limites propostos pela norma.

Segundo (MAMEDE FILHO, 2017) o percentual de queda de tensão em sistemas trifasicos, pode ser encontrado pela equação 2.18.

Equação 2.18 - Queda de Tensão

$$\Delta V(\%) = \frac{\sqrt{3} \cdot I_n \cdot l (R \cdot \cos(\varphi) + X \cdot \sin(\varphi))}{10 \cdot N_{cp} \cdot V_l} \quad (2.18)$$

Onde:

ΔV : percentual de queda de tensão (% V);

I_n : corrente Nominal da Carga (A);

l : comprimento do circuito (m);

R : resistência do condutor (Ohm/km);

X : reatância indutiva do condutor (Ohm/Km);

$\cos(\varphi)$: defasagem angular entre tensão e corrente (rad);

N_{cp} : número de condutores em paralelo por fase;

V_l : tensão de linha do sistema trifasico (V).

2.12 CORREÇÃO DE FATOR DE POTÊNCIA

Segundo (COTRIM, 2009) para a adequação do fator de potência em um nível pré-determinado executa-se a instalação de elementos capazes de fornecer energia capacitiva ao sistema, chamados capacitores. A maior parte das cargas instaladas em plantas industriais são em grande parte consumidores de energia reativa indutiva esta que não produz trabalho útil, sendo sua função básica para a criação do campo magnético para os equipamentos, normalmente os equipamentos dotados de bobinas. Assim da mesma proporção que a energia ativa consumida pelo equipamento desenvolve o trabalho a qual está sendo solicitada, a energia reativa que não produz trabalho circula na rede elétrica causando diversos danos ao sistema de energia elétrica.

2.12.1 Histórico e legislação

De acordo com (CREDER, 2016) a correção de fator de potência passou a ser uma preocupação para profissionais de diversas áreas relacionadas a eletricidade, este fato se deu referente a cobrança de valores adicionais junto a fatura de energia elétrica pelas concessionárias de energia aquando determinado cliente não atender os limites determinados

a partir do decreto sob nº 62.724 de 1968 e com nova redação sob nº 75.887 de 1975 ficou instituído que as concessionárias de energia elétrica bem como os consumidores do tipo A obrigatoriamente deveriam respeitar o fator de potência igual ou superior a 0,85.

Segundo (WEG, 2009) em 1992 por meio do decreto sob nº 479, um novo valor para o FP ficou estabelecido que seria mais próximo do unitário para os consumidores e concessionárias de energia, já o DNAEE – Departamento Nacional de águas e Energia órgão este já extinto atualmente, alterou os limites de FP reativo e capacitivo através da portaria sob nº 1.569 de 1993, apresentando algumas alterações com referenciais importantes como multa por energia reativa em forma de faturamento, alteração no período de avaliação do FP de mensal para horário, aumento do valor mínimo de FP de 0,85 para 0,92, além do novo limite e da novo modelo de medição, outro ponto ficou instituído que das 06hrs da manhã as 24hrs o FP seria na forma indutivo e da 24hrs até as 06hrs na forma capacitivo e já em 1996 para consumidores com medição horo sazonal.

2.12.2 Grupos Tarifários

Os grupos tarifários de acordo com o nível de tensão de suprimento estão mostrados na Tabela 9.

Tabela 9 - Grupos tarifários

Grupo	Classificação	Tensão de Alimentação
Grupo A	Subgrupo A1	$\geq 230\text{kV}$
	Subgrupo A2	88kV a 138kV
	Subgrupo A3	69kV
	Subgrupo A4	2,3kV a 25kV
	Subgrupo A5	$< 2,3\text{kV}$ (Com fornecimento subterrâneo)
2.12.3 Grupo B	-----	$< 2,3\text{kV}$

Fonte: ANEEL, 2010.

2.12.4 Métodos de Avaliação

Conforme a Resolução normativa da ANEEL (Agencia Nacional de Energia Elétrica) nº 414 de 2010, norma esta que define condições de fornecimento de energia, a concessionária de energia deverá verificar o excedente de energia reativa em consumidores do grupo A, nos quais se encaixam unidade consumidoras conectadas a redes de distribuição e/ou

transmissão de energia elétrica com nível de tensão igual ou superior a 2,3 kV, de duas maneiras:

Fator de potência horário: neste modelo tanto a energia ativa em kWh como a energia reativa em kVAh são medidos de hora em hora.

Os respectivos faturamentos de consumo de reativos excedente por posto tarifário e faturamento de demanda de potência reativa excedente por posto tarifário estão sendo demonstrados nas equações 2.19 e 2.20.

Equação 2.19 - Faturamento do consumo de reativo excedente por posto tarifário

$$E_{RE} = \sum_{T=1}^n \left[EEAM_T \times \left(\frac{f_R}{f_T} - 1 \right) \right] \times VR_{ERE} \quad (2.19)$$

Equação 2.20 - Faturamento da demanda de potência reativa excedente por posto tarifário

$$E_{RE} = \sum_{T=1}^n \left[EEAM_T \times \left(\frac{f_R}{f_T} - 1 \right) \right] \times VR_{ERE} \quad (2.20)$$

Onde:

$D_{re(p)}$ - Faturamento da demanda de potência reativa excedente por posto tarifário;

PAM_T - Demanda de potência ativa medida de hora em hora;

$PAF_{(p)}$ - Demanda de potência ativa faturada em cada posto horário;

VR_{DRE} - Tarifa de demanda de potência ativa;

E_{RE} - Faturamento do consumo de reativo excedente por posto tarifário;

$EEAM_T$ - Consumo de energia ativa medido em cada hora;

VR_{ERE} - Tarifa de energia ativa;

f_T - Fator de potência calculado de hora em hora;

f_R - Fator de potência de Referência 0,92;

\sum - Soma dos excedentes de reativo calculados a cada hora;

MAX - Função que indica o maior valor da expressão entre parênteses, calculada de hora em hora;

T - Indica cada intervalo de uma hora;

p - Indica posto tarifário: ponta e fora de ponta, para as tarifas horo sazonais, e único, para a tarifa convencional;

n - Número de intervalos de uma hora, por posto horário no período de faturamento;

Fator de potência mensal: para esse modelo é calculado com valores mensais de energia tanto ativa (kWh) bem como reativa (kVArh).

Os respectivos faturamentos de demanda de reativo excedente e faturamento do consumo de reativo excedente estão sendo demonstrados nas equações 2.21 e 2.22.

Equação 2.21 - Faturamento da demanda de reativo excedente

$$D_{RE} = \left(PAM \times \frac{f_R}{f_M} - PAF \right) \times VR_{DRE} \quad (2.21)$$

Equação 2.22 - Faturamento do consumo de reativo excedente

$$E_{RE} = EEAM \times \left(\frac{f_R}{f_M} - 1 \right) \times VR_{DRE} \quad (2.22)$$

Onde:

D_{RE} - Faturamento da demanda de reativo excedente;

PAM - Demanda ativa máxima registrada no mês (kW);

PAF - Demanda ativa faturável no mês (kW);

VR_{DRE} - Tarifa de demanda ativa (R\$/ kW);

E_{RE} - Faturamento do consumo de reativo excedente;

$EEAM$ - Consumo ativo do mês (kWh);

VR_{ERE} - Tarifa de consumo ativo (R\$ / kWh);

f_R - Fator de potência de Referência 0,92;

f_M - Fator de potência médio mensal;

2.12.5 Potência Ativa e Reativa

Segundo (ANEEL, 2010) potência ativa é toda a energia absorvida da rede em um período de tempo. Sua unidade de medida é kW.

De acordo com (CREDER, 2016) potência reativa pode ser definida como a defasagem angular entre tensão e corrente. Sua unidade de medida é kVArh.

2.12.6 Causas do Baixo Fator de Potência

Segundo (WEG, 2009) e (MAMEDE FILHO, 2017) as principais origens da energia reativa em um sistema industrial são motores elétricos trabalhando a vazio ou com cargas baixas em seu eixo, também superdimensionados, bem como transformadores da mesma maneira de operação, uma grande quantidade de motores de pequena potência, nos sistemas de iluminação a utilização de lâmpadas de descarga que usam reatores com baixo fator de potência, máquinas de solda a transformador, e os fornos de arco submerso e indução eletromagnética.

2.12.7 Consequências do Excesso de Energia Reativa

De acordo com (CREDER, 2016) as consequências do excesso de energia reativa em sistemas elétricos industriais pode provocar:

- Perdas no sistema;
- Sobrecarga em transformadores e cabos;
- Desgaste de dispositivos de proteção e manobra
- Quedas de Tensão;
- Subutilização da carga instalada;

2.12.8 Tipos Correção de Fator de Potência

Para (CREDER, 2016) o método mais empregado para correção baseia-se na implementação de bancos de capacitores em paralelo a rede elétrica de energia. Segundo (WEG, 2009), a correção em sistemas elétricos pode ser realizada de maneiras diferentes, levando em consideração custo/benefício e a conservação de energia.

Segundo (MAMEDE FILHO, 2017) dependendo da forma que determinados equipamentos operam, a correção individual pode ser adotada para que haja alguma vantagem na instalação normalmente sendo a econômica. Ainda segundo a fonte é indispensável que se realize a medição e a aplicação de cálculo para definir corretamente o valor do capacitor a ser instalado junto a carga. Na correção localizada os capacitores são ligados juntamente aos terminais individuais, onde podem ser utilizados apenas um contator de isolamento para o circuito.

De acordo com (MAMEDE FILHO, 2017) a forma de operação da indústria interfere no método de aplicação de capacitores, normalmente é mais viável se corrigir o fator de potência em grupo. Assim define-se os valores de capacitores para a correção. Esses

valores capacitivos fixos somente corrigiram os equipamentos que estão conectados a um determinado conjunto.

Conforme (SIEMENS, 2002) a instalação capacitores em grupo é aconselhável em plantas industriais que possuem um grande número de cargas com valores diferentes de potência nominal e sua utilização não são uniformes.

Segundo (WEG, 2009) para a correção em grupo é a forma destinada a corrigir um conjunto pequeno de equipamentos com potência nominal menor que 10CV, o capacitor é conectado junto ao quadro de distribuição que alimenta esses equipamentos.

Conforme (WEG, 2009); (MAMEDE FILHO, 2017) o método de correção na entrada de energia de baixa tensão, possibilita uma forma mais significativa, neste método são instalados em paralelo com a rede bancos automáticos de capacitores, esta maneira de instalação é encontrada em instalações elétricas com um número muito grande de cargas de potências diferentes e processos pouco uniformes.

De acordo com (WEG, 2009) a correção de fator de potência em alta tensão corrige somente o visto pela concessionária de energia, já que internamente os problemas continuam os mesmos baixo fator de potência na instalação, ainda o custo elevado de instalação e manutenção.

Segundo (WEG, 2009) existe um outro método de correção sendo a mista, nestes alguns aspectos técnicos, práticos e financeiros torna-se a melhor opção. Usando os seguintes critérios para a correção mista que envolve a instalação de capacitores fixo diretamente no secundário do transformador, corrigindo localmente os motores com potência de 10CV ou mais neste caso usando dispositivos de proteção e seccionamento, já para motores com potência nominal inferior ou igual a 10 CV corrigir em grupos, em redes de iluminação que utilizam lampas de descarga e reatores corrige-se na alimentação do circuito, assim na entrada da aplica-se um banco de capacitores de menor potência para realizar um filtro mais preciso do sistema.

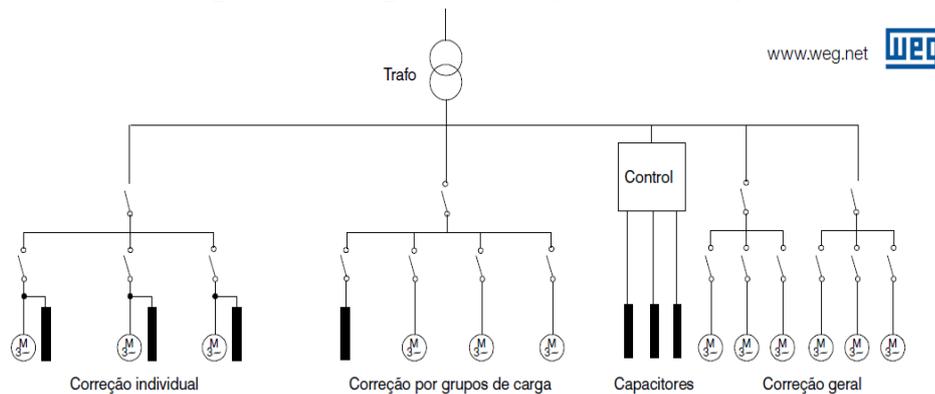
A Figura 15 ilustra os tipos de instalação de capacitores em sistemas industriais.

2.12.9 Correção em Média Tensão

Segundo (WEG, 2009) a correção de Fator de Potência em Média Tensão tem diversas desvantagens em relação a correção em baixa, sendo normalmente realizada através de capacitores fixos visto que o custo de instalação de um banco automático se torna inviável, ainda neste caso pode correr o risco de o sistema se tornar capacitivo com a variação

de carga, devido a isto elevando o nível de tensão nas linhas da concessionária e de curto-circuito, ainda este método não oferece a vantagem da redução de corrente como no sistema de baixa tensão.

Figura 15 - Diagramas dos tipos de instalação



Fonte: WEG, 2009.

2.12.10 Tipos de Bancos de Capacitores

Bancos de capacitores são um conjunto de equipamentos designados exclusivamente à correção de fator de potência em sistemas industriais, sendo uma associação de unidades capacitivas. Estes conjuntos são dimensionados de acordo com as respectivas características das cargas conectadas a fonte, assim deve-se conhecer as respectivas cargas. Neste contexto existem três tipos de bancos de capacitores sendo eles:

Segundo (MAMEDE, 2017) os bancos de capacitores fixos são empregados em sistemas onde a carga da indústria não há oscilação ao longo do dia. Esse modelo de banco tem o seu valor de capacitância fixa, e são dimensionados para corrigir o FP de uma determinada condição.

Os bancos de capacitores programáveis são acionados através de instrução via software em um determinado período pré-estabelecido.

Segundo (CREDER, 2016) a correção de fator de potência com bancos de capacitores automáticos é a melhor maneira para sistemas industriais de grande porte, onde se empregam capacitores de fora dividida em estágios através de um controlador automático, que serão acionados através do acionamento de dispositivos de seccionamento conforme ocorrer a mudança de carga.

2.12.11 Localização dos Bancos de Capacitores

Segundo (MAMEDE FILHO, 2017) se for levado em consideração somente a parte técnica, os bancos de capacitores deveriam ser conectados próximo as unidades usuárias de energia reativa. Em alguns casos específicos existe a possibilidade de conexão de capacitores localizados no sistema primário de fornecimento de energia sendo este após a medição no sentido da fonte para a carga, mas este sistema tem o seu custo bem superior quando levado em consideração a instalação localizada no sistema secundário.

Segundo (CREDER, 2016) essa solução precisará ser feita uma análise técnica e econômica, pois o seu alto custo de dispositivos, pois estes equipamentos e os capacitores devem ser chaveados o mínimo possível devido a ocorrência de sobretensões e sobrecorrentes transitórias.

De acordo com (MAMEDE FILHO, 2017) a localização de bancos de capacitores no secundário dos transformadores de potência ocorre de serem conectados juntos aos barramentos do QGBT. Desse modo sendo a forma de maior utilização prática com relação aos custos, ainda liberando potência dos transformadores e podendo serem instalados no mesmo local dos QGF.

Segundo (WEG, 2009) alguns cuidados relacionados a instalação de bancos de capacitores devem ser tomados, evitar exposição ao sol ou equipamentos com altas temperaturas, os painéis onde estão os dispositivos de proteção e manobra sempre ter sistemas de circulação de ar, mas sempre considerando a possibilidade de materiais sólidos e líquidos em suspensão, condicionando a instalação próximas ou com contato direto a quadros e painéis elétricos.

2.12.12 Meios de Correção de Fator de Potencia

Segundo (CREDER, 2016) o principal objetivo da correção de fator potência é o seu aumento evitando assim a cobrança pela concessionária de energia os excedentes de demanda reativam e do consumo reativo, ainda benefícios internos em sua instalação interna.

De acordo com (COTRIM, 2009) para uma correta correção de reativos em um sistema, uma análise criteriosa tem de ser feita para que assim jamais sejam desenvolvidas soluções momentâneas, assim gerando resultados não contundentes em relação a parte técnica e econômica. Pois cada caso deve ser analisado de forma diferente não havendo um modelo padrão. Assim, para a elevação do fator de potência pode ser obtida com o aumento do consumo de energia ativa, adicionando maquinas síncronas. E ainda segundo (CREDER,

2016) o método mais utilizado é através da instalação de capacitores em paralelo com a rede elétrica, neste caso o seu custo de execução e manutenção serem de baixo custo. Ainda segundo a fonte a aplicação de motores superexcitados pode ser uma maneira de correção necessitando que sua aplicação seja economicamente viável.

2.13 Aterramento

A eletricidade, com o passar do tempo se tornou imprescindível na vida do ser humano, com a descoberta dela surgiram riscos sérios. Devido a estes riscos foram desenvolvidos meios de proteção contra possíveis falhas que venham a ocorrer em um determinado dispositivo e assim proporcionem a vida das pessoas e animais choques elétricos, uma destas medidas é o aterramento.

O aterramento elétrico tem como função principal conduzir para a terra as cargas estáticas ou correntes indevidas que venham a surgir na carcaça de um equipamento, dessa maneira desviando da passagem pelo corpo humano que possivelmente entre em contato com o equipamento.

Segundo (MAMDE FILHO, 2017) um sistema de aterramento deve funcionar de forma suficiente satisfatória protegendo contra os riscos que venham a serem fatais aos seres humanos, ainda cada sistema de aterramento deve ser projetado de forma uniforme a cada projeto que está sendo concebido.

2.13.1 Definição

Aterramento elétrico é a conexão dos equipamentos e as instalações elétricas através de um condutor metálico (normalmente de cobre ou alumínio) diretamente ao potencial de terra (solo), assim tornando este condutor como uma referência de potencial zero para a rede elétrica.

2.13.2 Tipos de Sistemas De Aterramento

Os modelos de sistemas de aterramento físicos criados para proteger pessoas, animais, estruturas e equipamentos contra possíveis falhas são:

- Uma simples haste cravada no solo;
- Hastes alinhadas cravadas no solo;
- Hastes em triângulo;
- Hastes em quadrado;

- Hastes em círculo;
 - Placas condutoras enterradas no solo;
 - Cabos ou fios enterrados no solo, podendo ter diversas configurações diferentes em vala comum, em cruz ou estrela;
 - Quadriculados formando assim uma malha de aterramento;
- Normalmente o sistema mais adotado e eficiente levando em consideração o local e custo dentre os citados anteriormente é a malha de terra.

2.13.3 Classificação dos Sistemas de Baixa Tensão

Segundo a NR10, em no item 10.2.8.3 define que:

O aterramento das instalações elétricas deve ser executado conforme regulamentação estabelecida pelos órgãos competentes e, na ausência desta, deve atender às Normas Internacionais vigentes. (NR10, 2004, p2)

A (NBR5410, 2004) demonstra a simbologia para classificar os modelos de sistemas de aterramento, sendo identificados através de um código de letras, em que:

Primeira letra: Alimentação em relação à terra

- T: um ponto que está aterrado diretamente;
- I: ponto não aterrado.

Segunda Letra: situação das massas em relação à terra:

- T: qualquer ponto diretamente aterrado;
- N: Massas ligadas ao ponto de alimentação, local onde é feito o

aterramento.

Terceira letra (eventuais): Disposição do condutor neutro e terra:

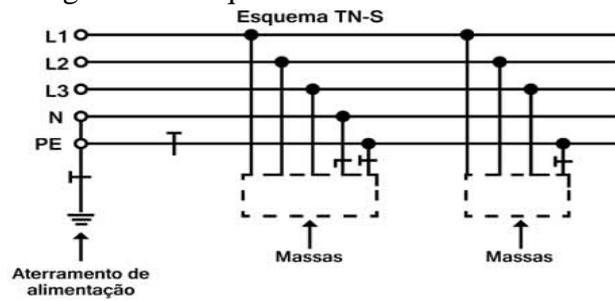
- S: Separado, os condutores de neutro e terra são separados;
- C: Comum, o condutor de proteção e neutro são o mesmo.

2.13.3.1 Tipo TN

No esquema TN há em sua origem tem um ponto diretamente aterrado e suas respectivas massas são conectadas a este ponto através de condutores de proteção. São consideradas três variações de esquema TN levando em consideração distribuição do condutor de neutro e proteção, sendo elas:

- TN-S: os condutores de neutro e proteção são distintos (PE e N), conforme a Figura 16.

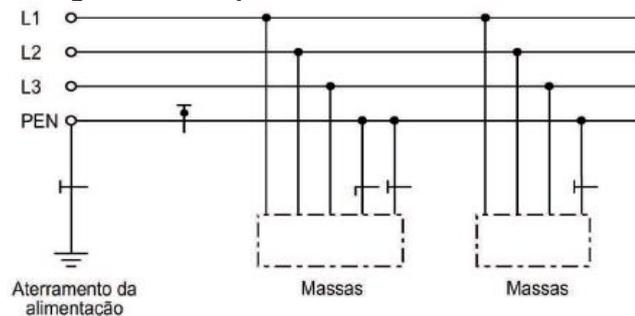
Figura 16 - Esquema de Aterramento TN-S



Fonte: NERY, 2005.

- TN-C: Neste esquema as funções de neutro e proteção são aplicadas somente a um mesmo condutor em específico nomeado condutor de proteção neutro, conforme a Figura 17.

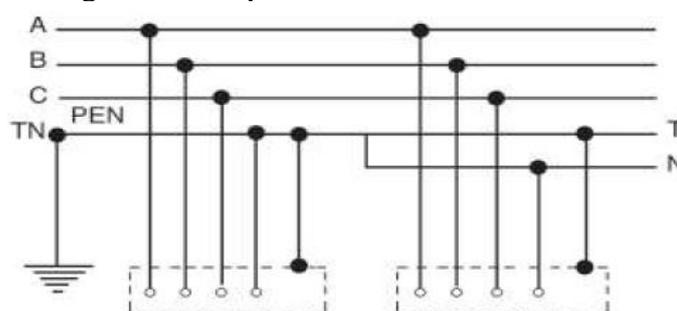
Figura 17 - Esquema de Aterramento TN-C



Fonte: NBR5410, 2004.

- TN-C-S: as funções de proteção e neutro são feitas através do mesmo condutor, em uma determinada parte da instalação, conforme demonstrado na Figura 18.

Figura 18 - Esquema de Aterramento TN-C-S

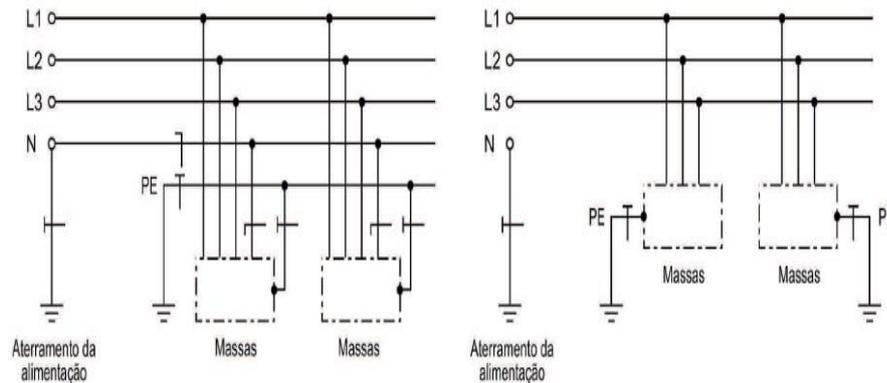


Fonte: CREDER, 2016.

2.13.3.2 Tipo TT

Neste esquema de aterramento a fonte de alimentação é diretamente aterrada, e as massas da instalação são ligadas a eletrodos de aterramento individuais, conforme Figura 19 apresenta.

Figura 19 - Esquema de Aterramento TT

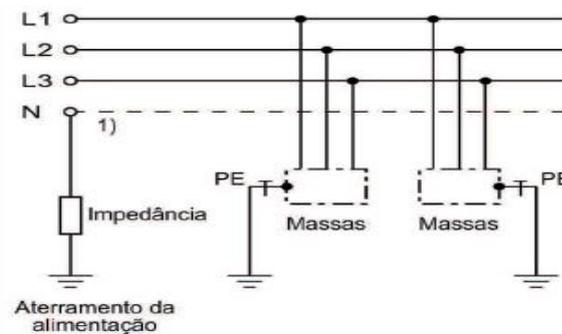


Fonte: NBR5410, 2004

2.13.3.3 Tipo IT

O esquema de aterramento IT apresentado na Figura 20 não possui nenhum ponto da alimentação aterrado diretamente, sendo está conectada ao potencial de terra através de uma impedância de valor elevado, suas massas são conectadas à terra através do eletrodo individuais próprios, conforme figura abaixo:

Figura 20 - Esquema de Aterramento IT



Fonte: NBR5410, 2004.

2.13.4 Condutor de Proteção

Segundo a NBR5410, a seção do condutor de proteção não pode ser menor que a obtida através de equação 2.23.

Equação 2.23 - Seção do condutor de proteção

$$S = \frac{\sqrt{I^2 x t}}{K} \quad (2.23)$$

Onde:

S: seção do condutor em mm²;

I: valor eficaz da corrente em amperes;

t: tempo de atuação do dispositivo de proteção responsável pelo seccionamento, em segundos;
 K: constante esta que depende do material do condutor de proteção, sua respectiva isolamento, a temperatura iniciais e finais do condutor, que constam nas tabelas nº53 a 57 da NBR5410.

2.13.5 Influências no Sistema de Aterramento

Para executar um projeto de aterramento eficiente é necessário considerar alguns fatores que influenciam no sistema que está sendo desenvolvido, se estes fatores não forem tratados com a devida importância que eles têm, o resultado final do projeto não será o necessário e assim não atendendo o seu objetivo específico. Abaixo alguns das influencias que estão presentes nos sistemas de aterramento:

- Resistividade do solo

Segundo a (NBR15749, 2009) é a resistência entre as faces opostas do volume do solo, formado por um determinado cubo homogêneo e isótropo sendo seu tamanho uniformem-te igual.

O solo em seu estado natural é um mau condutor de eletricidade. Se este for considerado seco, ele se comporta como um material isolante.

A resistividade do solo resulta de vários fatores que ocorrem em sua natureza, estratificação, umidade, salinidade e temperatura, a compactação, ainda podendo ser afetada pelas variações sazonais.

Segundo (MAMEDE FILHO, 2017) o valor de resistência para um sistema de aterramento depende de dois fatores básicos que são:

- A resistividade aparente do solo que está sendo projetada a malha de aterramento;
- A forma geométrica que foi adotada no momento do projeto.

A resistividade do solo pode ser determinada através da equação 2.24.

Equação 2.24 - Resistividade do solo

$$\rho = 2 \cdot \pi \cdot A \cdot R \quad (2.24)$$

Onde:

ρ : resistividade média do solo;

A: distância entre os eletrodos, em metros;

R: valor da resistência do solo em ohms;

H: profundidade da haste cravada no solo;

- Umidade

Segundo (MAMEDE FILHO, 2017) a resistividade do solo bem como a resistência da malha de aterramento apresenta bastante variações se existe a presença de umidade no solo, este fator pode variar de acordo com o seu local, época do ano, podendo ocorrer uma variação entre 10 a 35 % entre os períodos secos ou chuvosos. Devido a estes motivos ao ser instalar os eletrodos junto ao solo se torna necessário a implementação a uma determinada profundidade adequada para garantir a umidade necessária em torno das hastes.

- Temperatura

Segundo (MAMEDE FILHO, 2017) a resistividade do solo e a resistência de um sistema de aterramento sofrem bastante com temperatura abaixo de 0°C. Ainda caso ocorra correntes de curto-circuito fase/terra com valor elevado em um sistema que possui uma umidade elevada pode acontecer de haver ebulição da água do solo ao redor do eletrodo, assim prejudicando o desempenho do aterramento.

A temperatura que o solo apresenta também influencia na resistividade, sendo que esta característica térmica do local tem influência também com a sua composição, grau de compactação e do grau de umidade, sendo assim há dois aspectos distintos em relação a temperatura:

- Um solo com temperatura elevada provoca uma maior evaporação da umidade que há nele, desta forma um aumento na temperatura tende a aumentar a resistividade.

- Considerando que a resistividade do solo é proporcional a presença de água nele contida e sabendo que a água possui um elevado coeficiente negativo de temperatura, é razoável entender que a resistividade cresce quando diminui a temperatura do solo.

- Composição química do solo

Sendo a resistividade de um solo dependente da quantidade de água retida neste, e conhecendo o fato de que a resistividade da água é definida pela concentração dos sais dissolvidos, assim podemos chegar à conclusão que a resistividade é influenciada pela quantidade e pelos tipos de sais dissolvidos na água retida no mesmo.

Segundo (MAMEDE FILHO, 2017) no mercado atualmente encontram-se há vasta mistura de sais, que quando são juntados entre si e misturado água, formam uma espécie de gel, esta mistura se torna de grande eficiência na redução da resistividade do solo, esses compostos apresentam algumas características específicas:

- São higroscópios;

- Dão estabilidade química ao solo;
- Não são corrosivos;
- Não são atacados pelos ácidos;
- São insolúveis em água;
- Tem uma vida útil longa.

2.13.6 Método de Medição Usual

A resistividade do solo é muito importante na hora de projetar um sistema de aterramento em instalações elétricas novas, e para isso ter o conhecimento das características referente resistência do solo onde será instalado o aterramento se torna extremamente necessário.

Os levantamentos dos dados da resistividade do solo são realizados através de medições de campo, utilizando um instrumento específico para medir esses valores, instrumento este chamado de terrômetro.

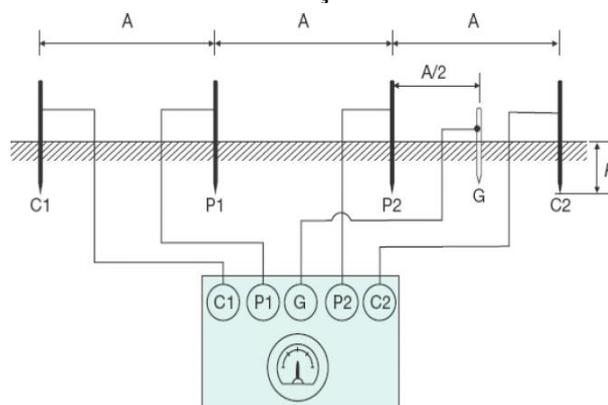
- Método de Werner

Segundo (MAMEDE FILHO, 2017) este método consiste em colocar quatro eletrodos de teste em linha, separados em uma distância normalmente de 3 metros, enterrados no solo em uma profundidade de aproximadamente 20cm.

O equipamento realiza a medição através dos terminais P1 e P2 onde recebe os valores medidos e processa internamente e indica no visor o valor de resistência elétrica.

Conforme figura abaixo demonstra:

Figura 21 - Método de medição de aterramento Werner



Fonte: Mamede Filho, 2017.

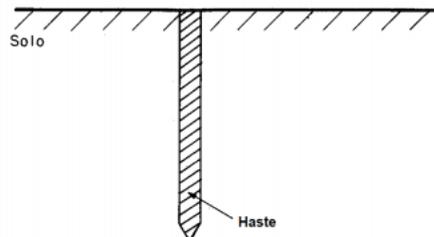
2.13.7 Modelos de Sistemas

O dimensionamento de um sistema de aterramento consiste em determinar o valor de resistência utilizando apenas eletrodos verticais interligado através de um condutor.

Existem várias maneiras para aterrar um sistema de elétrico, que vão desde o mais simples ao mais complexo, podendo ser dispostos nas configurações a seguir:

- Haste vertical: neste sistema uma única haste é conectada ao solo homogêneo através de um condutor. Demonstrado através da Figura 22.

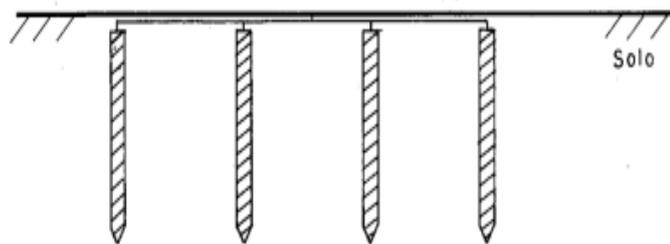
Figura 22 - Haste Vertical única



Fonte: CREDER, 2016.

- Hastes alinhadas em paralelo: consiste em várias hastes em paralelo conectadas através de um condutor. Conforme demonstrado na Figura 23.

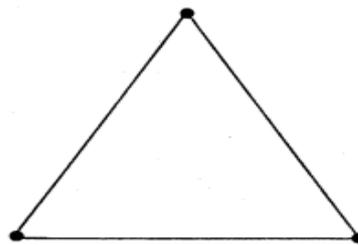
Figura 23 - Haste em paralelo



Fonte: CREDER, 2016.

- Hastes em triângulo: Neste modelo temos hastes conectadas entre si formando um triângulo equilátero. Conforme demonstrado na Figura 24.

Figura 24 - Hastes em Triângulo

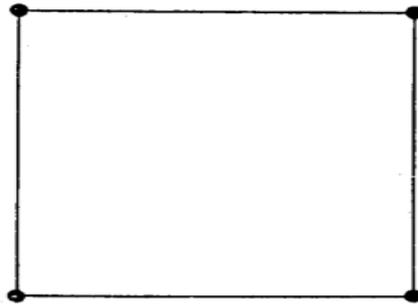


Fonte: CREDER, 2016.

- Hastes em quadrado vazio: os eletrodos de aterramento estão dispostos em formato de quadrado conectados entre si com uma distância x através de um condutor normalmente de cobre. Conforme apresentado na Figura 25.

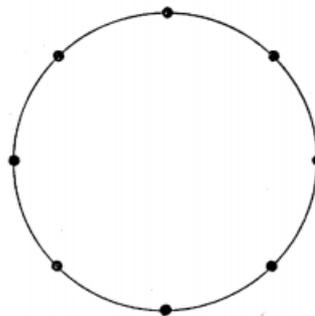
- Hastes em circunferência: Consiste em interligar as hastes através de um condutor metálico em forma de círculo. Conforme apresentado na Figura 26.

Figura 25 - Hastes em quadrado vazio



Fonte: CREDER, 2016.

Figura 26 - Hastes em circunferência



Fonte: CREDER, 2016

- **Malha de Aterramento:** é constituída pela combinação de haste e condutores de forma fechada em sistemas (triângulo, quadrado, etc.), tem por finalidade de equalizar a superfície do terreno, assim anulando as possíveis tensões. Dentre os elementos de uma malha de aterramento estão os citados a seguir:

- Eletrodos de aterramento ou terra
- Condutor da malha
- Conexões
- Condutor de ligação

2.13.8 Dimensionamento do Condutor da Malha de Aterramento

Segundo (FLEURY & GUEDES, 2015) uma vez definidos os parâmetros que irão configurar a malha de terra, necessita-se definir o condutor da malha, este pode ser definido utilizando a equação 2.25 de Onderdonk a seguir:

Equação 2.25 - Condutor da malha de aterramento

$$I = 226.53 S_{\text{cobre}} \cdot \sqrt{\frac{1}{t \text{ de defeito}} \ln \left(\frac{\theta m - \theta a}{234 + \theta a} + 1 \right)} \quad (2.25)$$

Onde:

S_{cobre} é a seção do condutor de cobre da malha de terra em mm;

I é a corrente de defeito em amperes, através do condutor;

t de defeito é a duração do defeito em segundos;

θ_m é a temperatura máxima permissível em °C;

θ_a é a temperatura ambiente em °C.

2.14 DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA DE PROTEÇÃO CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS (SPDA)

No Brasil, a obrigatoriedade da instalação de um SPDA vem através de norma técnica NBR5419 – 2015: Proteção Contra Descargas Atmosférica, leis, e também consta na NR-10 em seu item 10.2.4.b em instalações com carga instalada superior a 75kW.

As linhas elétricas em geral estão sempre sucessíveis a ocorrer descargas atmosféricas, que em determinadas condições podem provocar sobretensões altíssimas (sobretensões de origem externa), acarretando na queima de equipamentos conectados à rede elétrica. (MAMEDE FILHO, 2017).

Segundo a (NBR5419, 2015) não existem métodos ou dispositivos que sejam capazes de alterar ou detectar preventivamente as ocorrências de descargas atmosféricas que atingem as estruturas ou mesmo a terra, esse tipo de descarga é perigoso às pessoas, estruturas e instalações bem como os equipamentos.

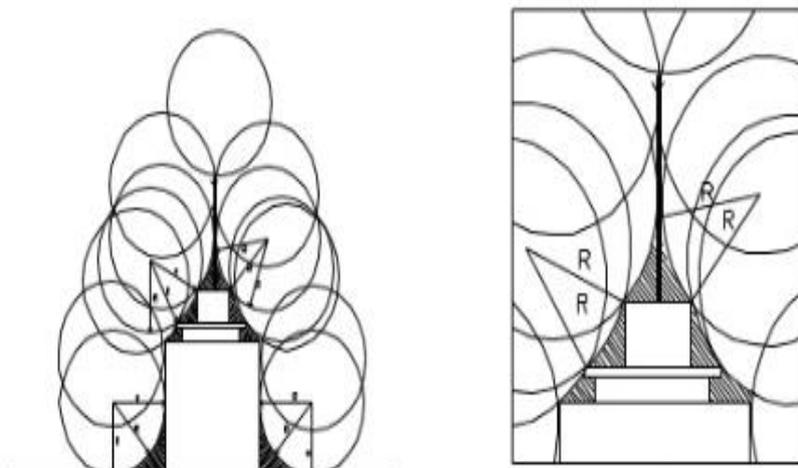
Segundo o (INPE, 2020) o Brasil lidera o ranking mundial de incidência de raios, com aproximadamente 77,8 milhões de descargas/ano. A maior incidente deste fenômeno está no Centro-Oeste e no Norte, mas se considerar a densidade demográfica proporcional por território o Sul fica à frente no Brasil. Ainda segundo a fonte os raios atingem com maior fatalidade as atividades agropecuárias (26%), rede elétrica ou hidráulica (21%), atividades na água (9%), ambientes protegem da chuva (7%), veículos (6%), outros (4%).

2.14.1 Métodos de Proteção

São três modelos de proteção que constam na NBR5419, estão apresentados:

- Eletro geométrico ou Esfera Rolante: É o método eletro geométrico consiste em fazer rodar uma esfera fictícia, com raio determinado pela norma, em todos os sentidos e direções sobre o topo e as fachadas da edificação. O principal objetivo é fazer com que os captosres lançados impeçam a circunferência imaginaria toque a estrutura que está sendo protegida, conforme a Figura 27.

Figura 27 - Princípio de proteção do modelo eletro geométrico



Fonte: NBR5419, 2015.

A tabela 2 da NBR5419-3 estabelece os raios das esferas de acordo com o nível de proteção utilizado. Estes raios estão apresentados na Tabela 10.

Tabela 10 - Valores máximos dos raios da esfera rolante em relação a classe do SPDA

Classe do SPDA	Raio da esfera rolante - R (em metros)
I	20
II	30
III	45
IV	60

Fonte: NBR5419-3, 2015.

Este método é adequado para estruturas de grande altura ou com formas arquitetônicas complexas.

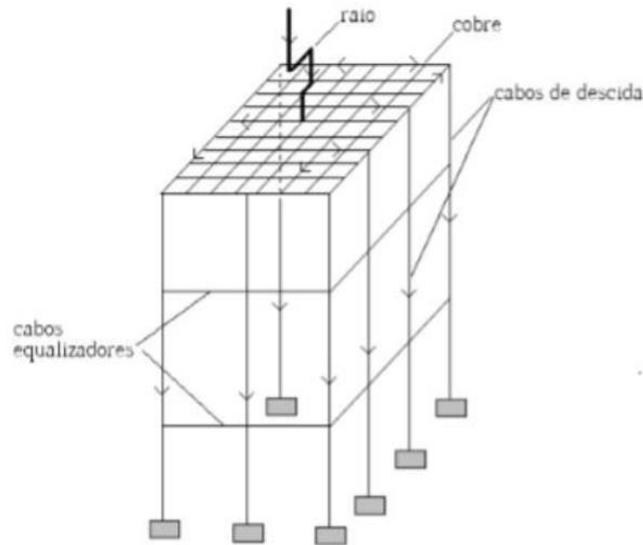
- Método das Malhas ou Gaiola de Faraday: Segundo (CREDER, 2016) nesse modelo de proteção, os condutores são instalados na cobertura e na lateral da estrutura a ser protegida, assim como no eletro geométrico formando uma blindagem eletrostática. Ainda segundo a fonte as estruturas que possuem continuidade entre a cobertura e o aterramento da fundação através das ferragens estruturais, possuem um bom desempenho na aplicação deste método. Este método é demonstrado na Figura 28.

Neste método de proteção baseia-se na instalação de captos espaçados na horizontal com distancia determinadas, ligados entre si formando uma malha, assim protegendo toda a estrutura, gerando assim um tipo de gaiola.

O dimensionamento por este método considera o nível de proteção para determinar as dimensões máximas aplicáveis dos quadriculados que serão aplicados na malha e também utiliza a planta de cobertura da edificação para demonstra a disposição dos

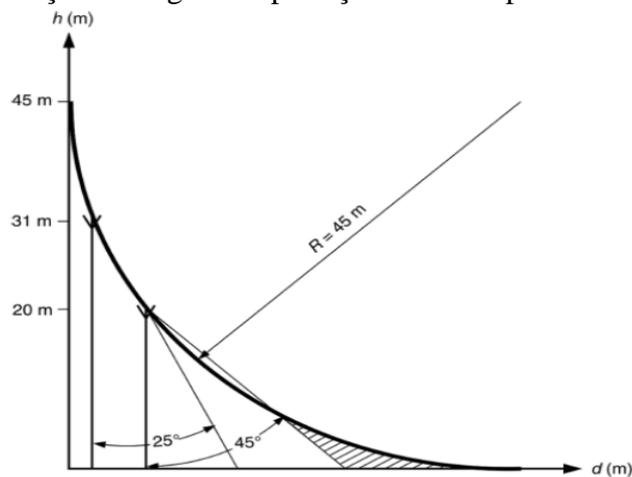
condutores do subsistema, como os condutores de captação horizontais e verticais, as descidas, e o subsistemas de aterramentos com os eletrodos horizontais e verticais.

Figura 28 - Representação do método Gaiola de Faraday



Fonte: CREDER, 2016.

Figura 29 - Variação do ângulo de proteção de um captor em função da altura



Fonte: CREDER, 2016.

A NBR5419-3 estabelece os limites máximos superiores a serem utilizados através de tabela 2, que é demonstrada na Tabela 11.

Tabela 11 - Afastamento máximo entre condutores em malha de aterramento

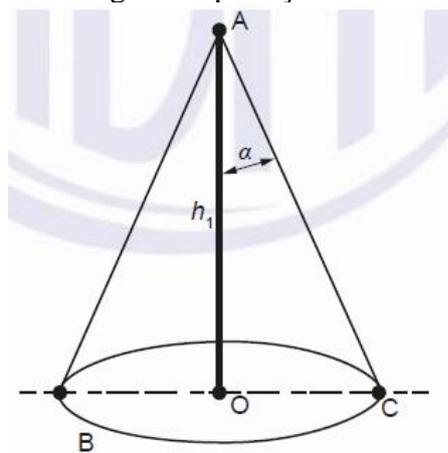
Classe do SPDA	Máximo afastamento dos condutores da malha (em m)
I	5x5
II	10x10
III	15x15
IV	20x20

Fonte: NBR5419-3, 2015.

- Ângulo de Proteção ou Método de Franklin

Segundo a (NBR519-3, 2015), nesse modelo de proteção um elemento captor instalado na parte superior da estrutura cria um cone circular com um determinado volume de proteção a partir de seu eixo mastro, conforme apresentado na Figura 30. Ainda segundo a fonte a estrutura somente pode ser considerada protegida se esta estiver de forma integral no interior do volume de proteção do sistema de captação.

Figura 30 - Método do ângulo de proteção através de um mastro captor



Fonte: NBR5419-3, 2015.

Onde:

A é o topo do captor;

B é o plano de referência;

OC é o raio da haste do plano de proteção;

h_1 : altura de um mastro em relação ao plano de referência;

α : ângulo de proteção obtido através da tabela 2 da NBR5419-3.

O dimensionamento do SPDA por este método leva em consideração o nível de proteção e a altura da estrutura para obter o ângulo de proteção dos captores em relação a área de exposição analisada.

2.14.2 Danos e Perdas

- Fonte de Danos

A descarga da corrente elétrica em alta intensidade através da descarga atmosférica é a principal fonte de dano causado em determinada estrutura. A NBR5419-2 define as fontes de acordo com o ponto de impacto, sendo:

- S1: descargas atmosféricas na estrutura;
- S2: descargas atmosféricas perto da estrutura;
- S3: descargas atmosféricas na linha;
- S3: descargas atmosféricas perto da linha.

- Tipos de danos

Os danos causados por uma descarga atmosférica estão associada ao modelo de construção, o tipo de serviço executado internamente da estrutura e suas respectivas medidas de proteção existentes. Os riscos a serem considerados são:

- D1: ferimentos a seres vivos por choque elétrico;
- D2: danos físicos;
- D3: falhas de sistemas eletroeletrônicos.

- Tipos de Perdas

Se torna muito importante definir o tipo de dano que pode ser causar em uma determinada estrutura a ser protegida, sendo em conjunto ou mesmo sozinha. A NBR5419, apresenta os tipos de perdas:

- L1: perda da vida humana e ferimentos permanentes;
- L2: perda de serviço ao público;
- L3: perda de patrimônio cultural;
- L4: perda de valores econômicos que acarretam em parada de atividade produtivas.

Através da Tabela 1 da NBR5419-2 define-se os danos e perdas que são oriundos das descargas atmosféricas em relação aos pontos da estrutura que foi atingida. A Tabela 12 apresenta estes danos.

Tabela 12 - Danos e perdas relevantes para uma estrutura para diferentes pontos de impacto da descarga atmosférica

Descarga Atmosférica		Estrutura	
Ponto de Impacto	Fonte de danos	Tipo de danos	Tipos de Perdas
Estrutura	S1	D1	L1, L4 ¹
		D2	L1, L2, L3, L4
		D3	L1 ² , L2, L4
Nas proximidades da estrutura	S2	D3	L1 ² , L2, L4
Linhas elétricas ou tubulações metálicas conectadas à estrutura	S3	D1	L1, L4 ¹
		D2	L1, L2, L3, L4
		D3	L1 ² , L2, L4
Proximidades de uma linha elétrica ou tubulações metálicas conectadas à estrutura	S4	D3	L1 ² , L2, L4

¹somente propriedades com perda de animais

²somente para estruturas com risco de explosão

Fonte: NBR5419-2, 2015

- Identificação da necessidade do SPDA

A decisão de se proteger uma determinada estrutura contra os raios pode vir do proprietário do local para evitar possíveis prejuízos, uma exigência legal, já que os raios são causas de danos físicos e incêndios. Segundo a (NBR5419-1, 2015), a verificação da necessidade de implementação ou não de um SPDA, deve ser feita através da avaliação de gerenciamento de risco e realizando um cálculo pro balístico descritos na mesma norma. Este cálculo leva em consideração alguns fatores, sendo eles:

- Densidade de descargas atmosféricas para a terra;
- Número de dias de trovoadas por ano, para a área em questão;
- Área de exposição equivalente da edificação;
- Características do imóvel (modelo de construção, localização, tipo de uso).

Chegando à conclusão da necessidade de SPDA se torna inevitável ao atentar ao nível de proteção adotado para o local. Este nível varia de I ao IV, no qual resulta da eficiência adequada para a proteção da estrutura.

- Risco

Segundo a (NBR5419-2, 2015), O risco R, é um valor médio de perdas prováveis anuais, essas perdas são utilizadas como critérios para determinar se na estrutura é necessária a implementação e quais medidas de proteção escolher, dentro dos possíveis riscos cita-se os abaixo:

- R1: risco de perdas humanas ou danos permanentes;
- R2: risco de perdas ao serviço público;
- R3: risco de perdas culturais;
- R4: risco de perdas econômicas.

Ainda segundo a norma, os relevantes componentes de risco (parciais), devem ser definidos e calculados. Sendo o risco R, uma soma dos seus componentes de risco, estes podendo ser unidos com relação a fonte e o tipo de dano.

- Componentes de Risco

- Componentes de risco devido as descargas atmosféricas na estrutura
- ✓ Ra: Componente referente a riscos que seres vivos estarão expostos devidos as tensões de passo e toque no interior da estrutura, as perdas são do tipo L1, e em caso de animais vivos no interior as perdas possíveis podem ser do tipo L4.

✓ Rb: Componentes relativos a danos físicos causados no interior da estrutura com origem em incêndio ou explosão, são perdas são do tipo L1 a L4 podendo aumentar relativamente.

✓ Rc: falhas relativas a sistemas internos causados por LEMP. Suas perdas são do tipo L2 e L4, podendo ocorrer variação para L1 em caso de estrutura com risco de explosão, hospitais com vidas humanas em seu interior.

○ Componentes de risco devido as descargas atmosféricas próximas a estrutura

✓ R_M: defeitos inerentes dos sistemas internos causados por perturbações oriundas do LEMP. Perdas do tipo L2 e L4, podendo ocorrer em determinados casos perdas do tipo L1.

○ Componentes de risco devido as descargas atmosféricas em uma linha conectada à estrutura

✓ Ru: risco que aos seres vivos podendo ser causados por choque elétrico de origem das tensões de toque e passo no interior da estrutura. Suas perdas são do tipo L1, sendo do tipo L4 em propriedades agrícolas.

✓ Rv: risco de danos físicos de procedência de explosões ou incêndios devido à descarga atmosférica transmitida ao longo das linhas. As perdas são do tipo L1 a L4.

✓ Rw: componente referente a defeitos causados por sobretensões induzidas nas linhas que estão conectadas a estrutura. Perdas do tipo L2 e L4 podendo ocorrer juntas, mais as do tipo L1 em casos com estruturas com risco de explosão, juntamente com hospitais ou outras estruturas que venham a colocar a vida humana em perigo.

○ Componentes de risco devido as descargas atmosféricas próximas a uma linha conectada à estrutura

✓ Rz: componente que relaciona as análises realizadas na Rw citadas no item anterior.

- Equações que compõem os componentes de risco.

As equações 26 a 28 demonstradas a seguir representam cada um dos riscos citados abaixo:

Equação 2.26 - R1: Risco de perda da vida humana

$$R1 = Ra1 + Rb1 + Rc1^1 + Rm1^1 + Ru1 + Rv1 + Rw1^1 + Rz1^1 \quad (2.26)$$

¹Estão marcados com 1 as estruturas que tem o risco de explosão ou cause falhas em hospitais que possam colocar a vida humana em risco.

Equação 2.27 - R2: Risco de perdas de serviço ao público

$$R2 = Rb2 + Rc2 + Rm2 + Rv2 + Rw2 + Rz2 \quad (2.27)$$

Equação 2.28 - R3: Risco de perdas de patrimônio cultural

$$R3 = Rb3 + Rv3 \quad (2.28)$$

Equação 2.29 - R4: Risco de perdas de valor econômico

$$R4 = Ra4^2 + Rb4 + Rc4 + Rm4 + Ru4^2 + Rv4 + Rw4 + Rz4 \quad (2.29)$$

² somente em propriedades agrícolas que animais venham a ser perdidos.

- Gerenciamento de risco

De acordo com a NBR5419-1, os riscos R1, R2 e R3 necessitam serem considerados na avaliação de risco e em seguida alguns passos citados logo abaixo:

- Identificar componentes Rx que compõem o risco.
- Cálculo dos componentes de risco Rx;
- Cálculo de risco total R;
- Identificar riscos toleráveis RT;
- Comparação com R com risco tolerável (RT).

✓ Define se que R menor ou igual a RT, a aplicação do sistema contra a descarga atmosférica não é necessária.

✓ Define-se que R maior que RT, medidas de proteção que são ajustadas no sentido de reduzir o R.

✓ Se R maior que RT, medidas de proteção devem ser adotadas no sentido de reduzir R menor que RT para todos os riscos aos quais a estrutura está sujeita.

- Risco Tolerável

Segundo a norma a análise do valor atribuído ao risco tolerável é de responsabilidade das autoridades competentes avaliar este valor. A tabela 4 da NBR5419-2, demonstra valores de risco tolerável onde a descarga atmosférica pode causar perdas de vidas humanas, valores culturais e/ou sociais, sendo estes valores demonstrados através da Tabela 13.

- Consideração do número anual de descargas atmosféricas

Segundo (MAMEDE FILHO, 2017) o número de descargas atmosféricas que uma estrutura está exposta depende da região onde a mesma encontra-se localizada, de

suas características físicas. Este valor pode ser consultado junto ao INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais).

Tabela 13 - Danos: Relação de valores dos riscos toleráveis RT

	Tipo de Perda	RT
L1	Perda de vida humana ou danos à saúde permanentes	0,00001
L2	Perda de serviço ao público	0,001
L3	Perda de patrimônio cultural	0,0001

Fonte: NBR5419-2, 2015.

- Componentes de um sistema de SPDA

Os componentes de um Sistema de Proteção Contra Descargas Atmosféricas são desenvolvidos com o objetivo de impedir que as descargas atmosféricas atinjam a estrutura na sua parte superior ou laterais, assim escoando as correntes elétricas para a terra sem que causem danos a vida humana e animal bem como ao patrimônio.

De acordo com (MAMEDE FILHO, 2017) o SPDA de forma bem simples, e constituído de três subsistemas que são conectados entre si, sendo eles:

- Subsistemas de captação

Segundo a (NBR5419-3, 2015) é uma parte do SPDA que utiliza elementos metálicos dispostos em qualquer direção, sendo projetados para interromper as descargas atmosféricas.

É um componente metálico condutor que normalmente estão instalados na parte superior da estrutura, sendo responsáveis para condução inicial da descarga atmosférica para o solo. Este captor pode ser classificado segundo a natureza construtiva:

- ✓ Captores Naturais: são elementos condutores expostos que integram a edificação que está sendo protegida, podendo ser cobertura metálicas, mastros, ou outro tipo de condutores interligados junto a edificação.

- ✓ Captores não naturais: estes formados por condutores expostos nas partes superior e lateral da estrutura, sendo geralmente condutores de cobre nu expostos, ligados a malha de aterramento. Componente este apresentado na Figura 31.

- ✓ Subsistema de descidas: são condutores metálicos normalmente em cobre instalados em linha vertical ou horizontal interligando os captores à malha de aterramento. Conforme apresentado na Figura 32.

Segundo a (NBR5419-3, 2015) elemento externo projetado para deslocar a corrente elétrica da descarga atmosférica entre o sistema de captação e o de aterramento.

Figura 31 - Captor SPDA



Fonte: Mamede Filho, 2017.

Figura 32 - Descida de SPDA



Fonte: O autor, 2020.

○ Subsistema de aterramento: é um sistema composto de condutores, hastes e conexões enterrados ou embutidos nas fundações das edificações, sendo responsáveis pela dispersão das correntes junto ao solo. Conforme mostrado através da Figura 33.

Segundo a (NBR5419-3, 2015): um subsistema de aterramento de SPDA consiste em parte de um SPDA externo que é destinada a conduzir e dispersar a corrente da descarga atmosférica na terra.

○ Materiais mais utilizados no SPDA

Segundo (MAMEDEV FILHO, 2017) os materiais empregados em um SPDA, considerando o ambiente e suas limitações são os citados a seguir:

- ✓ Cobre maciço ou encordado;
- ✓ Aço galvanizado a quente;

- ✓ Aço inoxidável;
- ✓ Aço cobreado;
- ✓ Alumínio.

Figura 33 - Formato parcial de uma malha de aterramento



Fonte: O autor, 2020.

- Materiais mais utilizados no SPDA

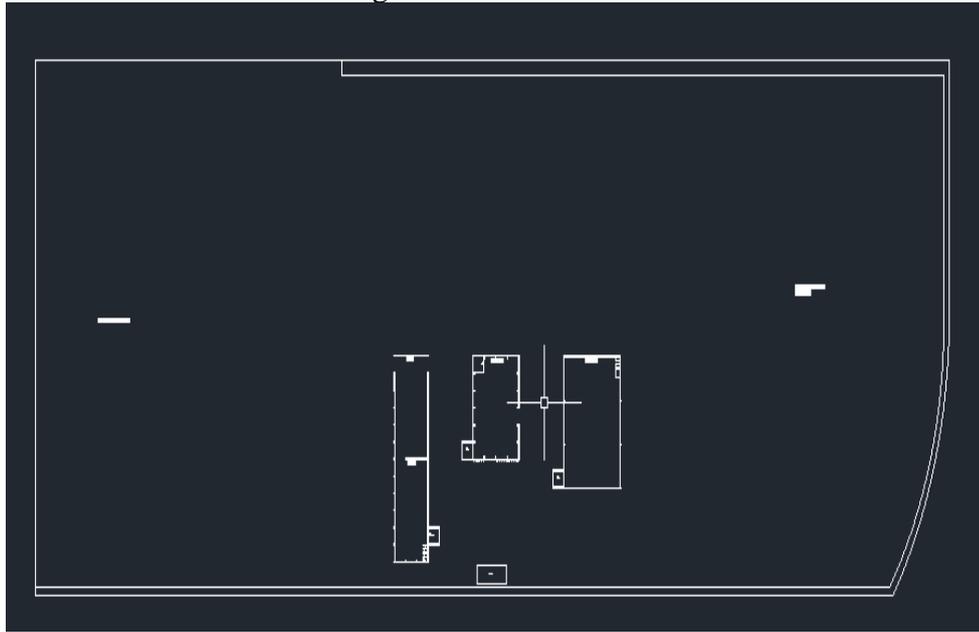
Segundo (MAMEDEV FILHO, 2017) os materiais empregados em um SPDA, considerando o ambiente e suas limitações são os citados a seguir:

- ✓ Cobre maciço ou encordado;
- ✓ Aço galvanizado a quente;
- ✓ Aço inoxidável;
- ✓ Aço cobreado;
- ✓ Alumínio.

3 ESTUDO DE CASO

Como proposto pelo trabalho, realizou-se o desenvolvimento de implementação de uma indústria metalúrgica através do projeto elétrico básico, desta empresa que será instalada na cidade de Lages/SC, a sua estrutura física ficará situada na área Industrial junto a BR116 S/N, om um terreno de área total aproximadamente 100 mil m², conforme Figura 34.

Figura 34 - Planta Base



Fonte: O autor, 2020.

A estrutura física de produção da empresa fica locada em três galpões com suas respectivas dimensões apresentadas na Tabela 14.

Tabela 14 – Dimensões dos galpões

Setor	Comprimento (m)	Largura (m)	Altura (m)
Corte	30	15	4
Forjaria I	30	15	8
Forjaria II	30	20	10
Solda	45	25	7

Fonte: O autor, 2020.

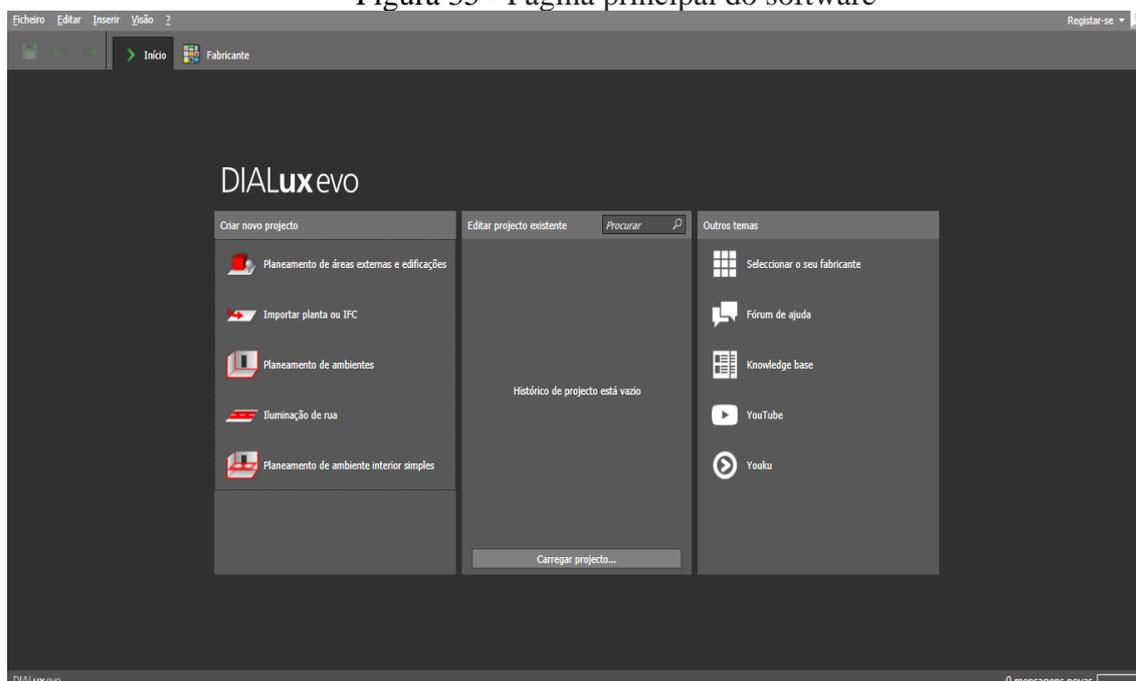
O restante do ambiente sendo este externo serve de depósito com área em torno de 45 mil m² para matéria prima e expedição de peças prontas com área em torno de 50 mil m².

3.1 ESTUDO LUMINOTÉCNICO

O estudo luminotécnico foi desenvolvido com o auxílio do software DIALUX EVO 9.0 desenvolvido pela empresa DIAL GmbH, especialista em software de diversas aplicações e simulações, com sede na cidade Lüdenscheid, Alemanha, disponível em 26 idiomas, podendo ser baixado gratuitamente pelo site do fabricante.

Sua primeira versão foi lançada em 1994, e com o passar dos anos foi evoluindo até chegar a versão atual DIALUX EVO 9.0 é o último de sua geração atendendo as normas internacionais como a EN12464 ISSO 8995 , com uma interface muito fácil de utilização, que auxilia o projetista na escolha e dimensionamento adequado para o ambiente onde se deseja realizar o projeto luminotécnico, podendo importar arquivos de diversos formatos e tipos, conforme a Figura 35 apresenta a página principal do software.

Figura 35 - Página principal do software



Fonte: O autor, 2020.

Os projetos luminotécnicos foram desenvolvidos considerando as informações a seguir:

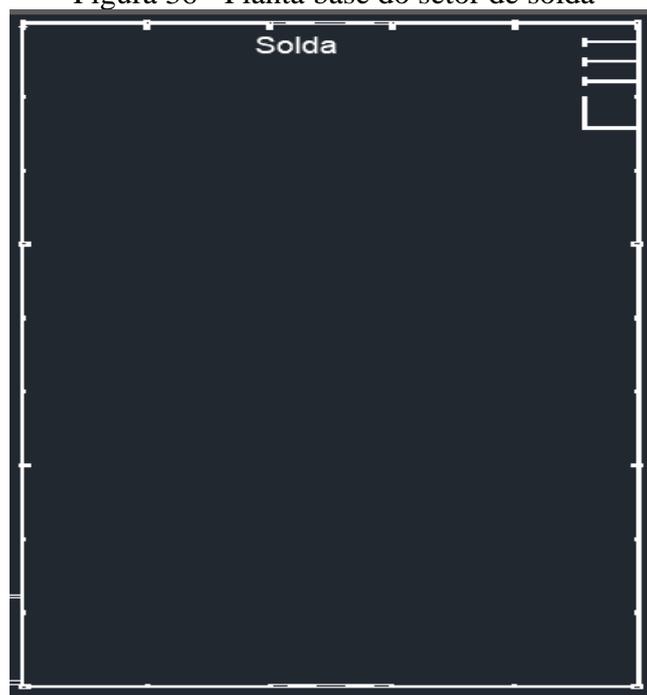
- ✓ Dimensões dos ambientes;
- ✓ Iluminâncias médias de acordo com o tipo de atividade;
- ✓ Aparência do ambiente;
- ✓ Possibilidade da distribuição das luminárias no ambiente.

3.1.1 Dados considerados no projeto lumitécnico para o setor de Solda

- Setor: Solda
 - Dimensões:
 - ✓ Comprimento: 45 metros;
 - ✓ Largura: 25 metros;
 - ✓ Pé direito livre: 7 metros;
 - Fatores de reflexão
 - ✓ Teto: 70%;
 - ✓ Paredes: 30%;
 - ✓ Piso: 10%;
 - Fator de Manutenção 80%;
 - Item da Norma Técnica NBR5413: 5.3.68 Solda: 300 lumens considerado no projeto;
 - Altura do plano de trabalho: 0,80m
 - Tipo de atividade desenvolvida no recinto: Tarefas com requisitos visuais limitados, trabalho bruto de maquinaria, auditórios. Conforme NBR5413.
 - Tipo de Luminária: Modelo HDA – 003 150W 90X90 MP do fabricante HDA iluminação LED.

A Figura 36 demonstra o setor de solda através de uma vista superior, aplicada para a projeção da iluminação do ambiente.

Figura 36 - Planta base do setor de solda

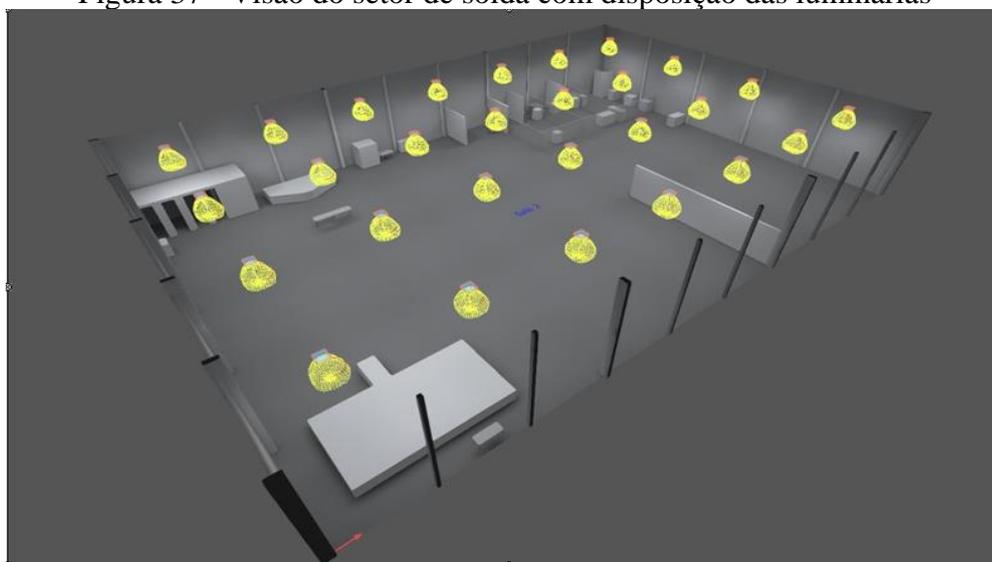


Fonte: O autor, 2020.

O modelo de luminária definida para o sistema de iluminação do setor de solda é demonstrada e apresenta as suas características fornecidas pelo fabricante junto aos anexos deste trabalho.

Com o decorrer do desenvolvimento do sistema de iluminação do ambiente o software demonstra através de vista a disposição das luminárias no ambiente. Através da Figura 37 temos uma visão do ambiente incluindo disposição das luminárias no interior do software com vista em 3D.

Figura 37 - Visão do setor de solda com disposição das luminárias

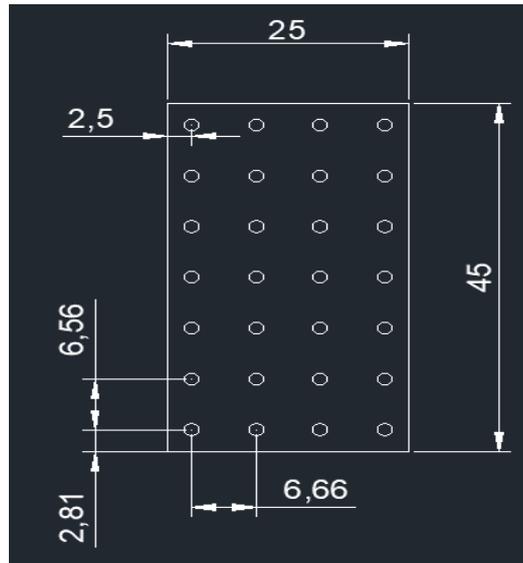


Fonte: O autor, 2020.

Para que o sistema de iluminação atenda aos requisitos que a norma exige, o sistema de iluminação será composto de 28 luminárias de 150W distribuídas no ambiente com uma altura de pé direito de 7 metros, distribuídas no comprimento com uma distância entre a parede e o centro luminária de 2,81 metros, e a distância entre os centros das luminárias com 6,56 metros, na largura com distância de 2,50 metros entre a parede ao centro luminária e distância entre centros das luminárias de 6,66 metros. Conforme a Figura 38 demonstra.

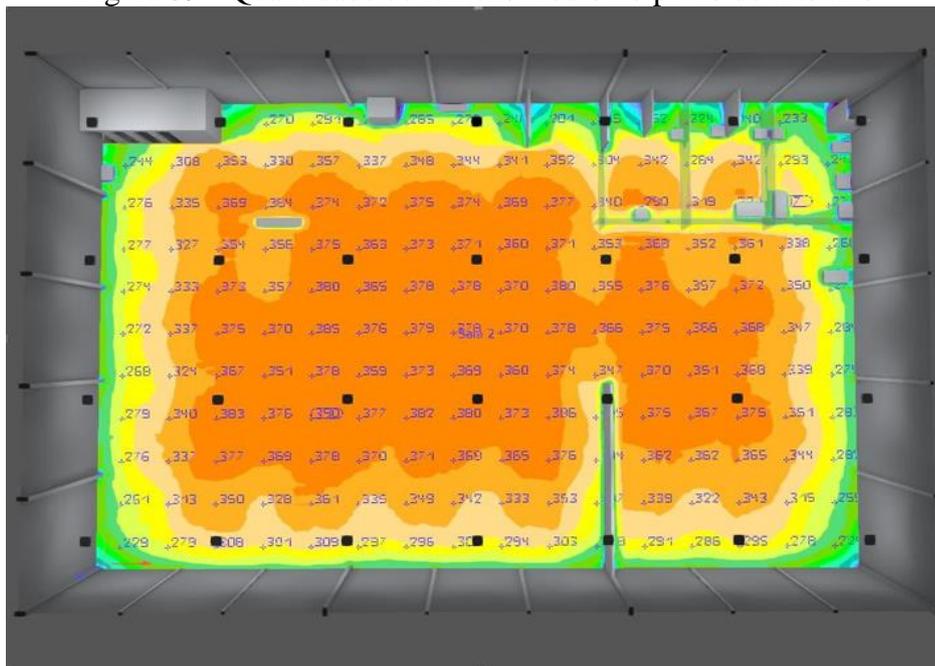
A projeção da quantidade de lumens no ambiente é demonstrada na Figura 39 com uma média de 326 lux no plano de trabalho atendendo o definido inicialmente, sendo possível verificar através da projeção ilustrada na figura com uma vista superior através do software a concentração de lumens no ambiente.

Figura 38 - Distanciamento das luminárias no setor de solda



Fonte: O autor, 2020

Figura 39 - Quantidade de lumens médio no plano de trabalho



Fonte: O autor, 2020.

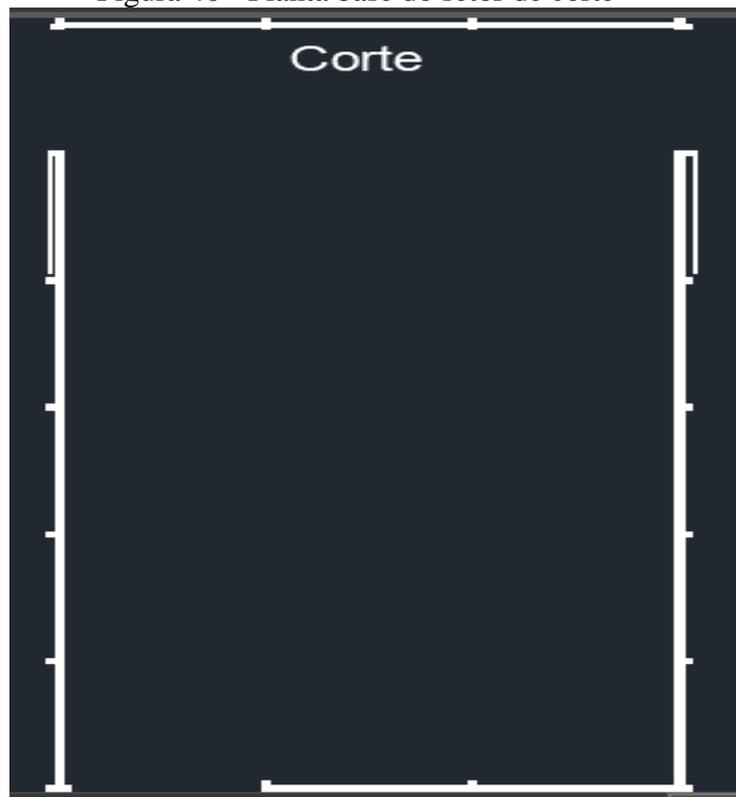
3.1.1.1 Dados considerados no projeto lumitécnico para o setor Corte

- Setor: Corte de Aço
 - Dimensões:
 - ✓ Comprimento: 30 metros;
 - ✓ Largura: 15 metros;
 - ✓ Pé direito livre: 4 metros;
 - Fatores de reflexão
 - ✓ Teto: 70%;

- ✓ Paredes: 50%;
- ✓ Piso: 20%;
- Fator de Manutenção 80%;
- Item da Norma Técnica NBR5413 5.3.48: 300 lumens considerado no projeto;
- Altura do plano de Trabalho: 0,80m
- Tipo de atividade desenvolvida no recinto: Tarefas com requisitos visuais limitados, trabalho bruto de maquinaria, auditórios. Conforme NBR5413.
- Tipo de Luminária: Modelo LED HDA Linear 50W do fabricante HDA iluminação LED.

A Figura 40 demonstra o setor de Corte de Aço através de uma vista superior, aplicada para a projeção da iluminação do ambiente.

Figura 40 - Planta base do setor de corte



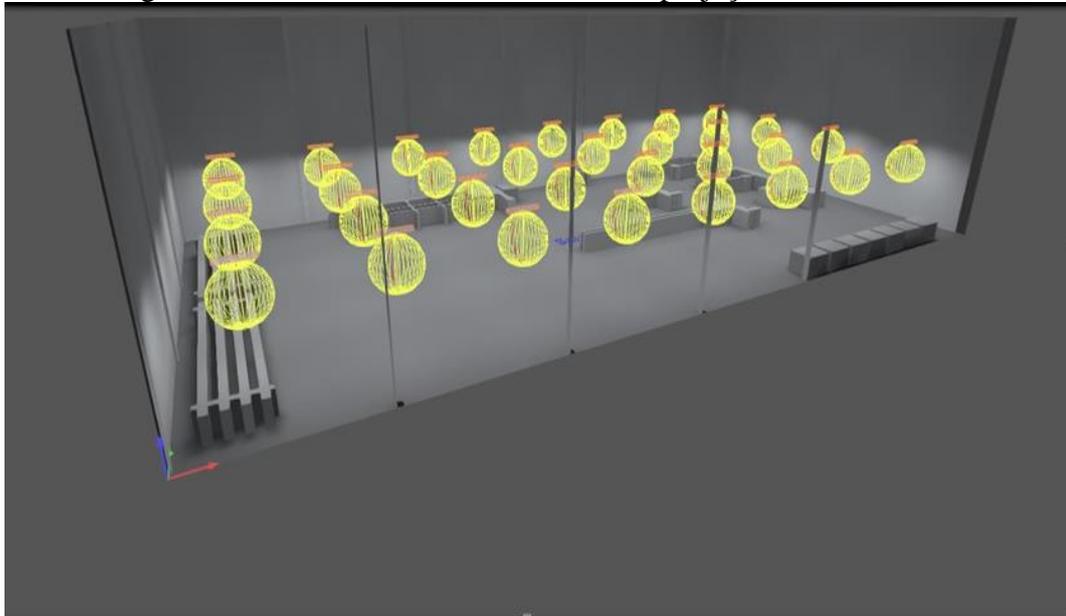
Fonte: O autor, 2020.

O modelo da luminária definida para o sistema de iluminação do setor de corte é demonstrada e apresenta as suas características fornecidas pelo fabricante junto aos anexos deste trabalho.

Com o decorrer do desenvolvimento do sistema de iluminação do ambiente o software demonstra através de vista a disposição das luminárias no ambiente. Através da

Figura 41 pode-se observar através de uma visão do ambiente incluindo disposição das luminárias no interior do software com vista em 3D.

Figura 41 - Visão do setor através de uma projeção das luminárias

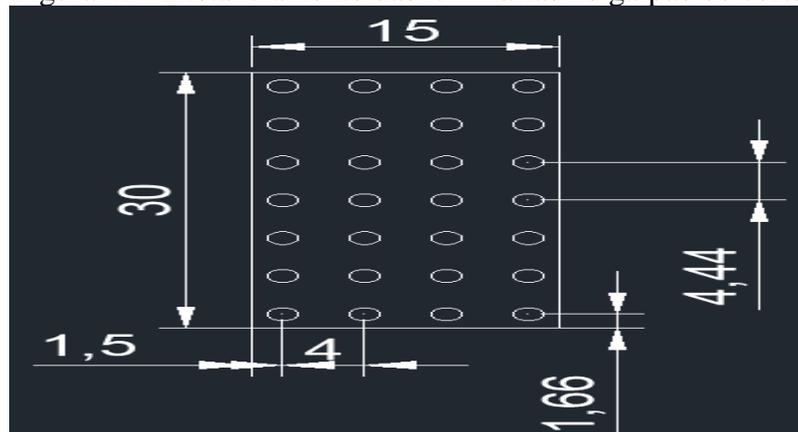


Fonte: O autor, 2020.

Para que o sistema de iluminação atenda aos requisitos que a norma exige, o sistema de iluminação será composto de 32 luminárias de 50W distribuídas no ambiente com uma altura de pé direito de 4 metros distribuídas, no comprimento com uma distância entre a parede e o centro luminária de 1,66 metros, e a distância entre os centros das luminárias com 4,44 metros, na largura com distância de 1,50 metros entre a parede ao centro luminária e distância entre centros das luminárias de 4 metros. Conforme a Figura 42.

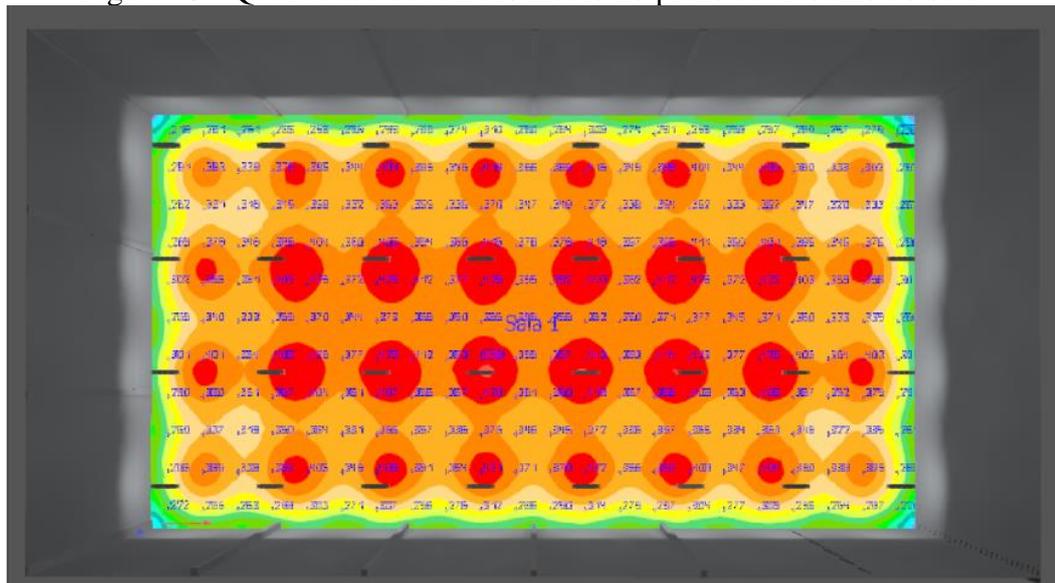
A projeção da quantidade de lumens no ambiente é demonstrada na Figura 43 com uma média de 350 lux no plano de trabalho atendendo o definido inicialmente, sendo possível verificar através da projeção na Figura 43 com uma vista superior através do software a concentração de lumens no ambiente.

Figura 42 - Distanciamento das luminárias no galpão de corte



Fonte: O autor, 2020.

Figura 43 - Quantidade de lumens médio no plano de trabalho do setor



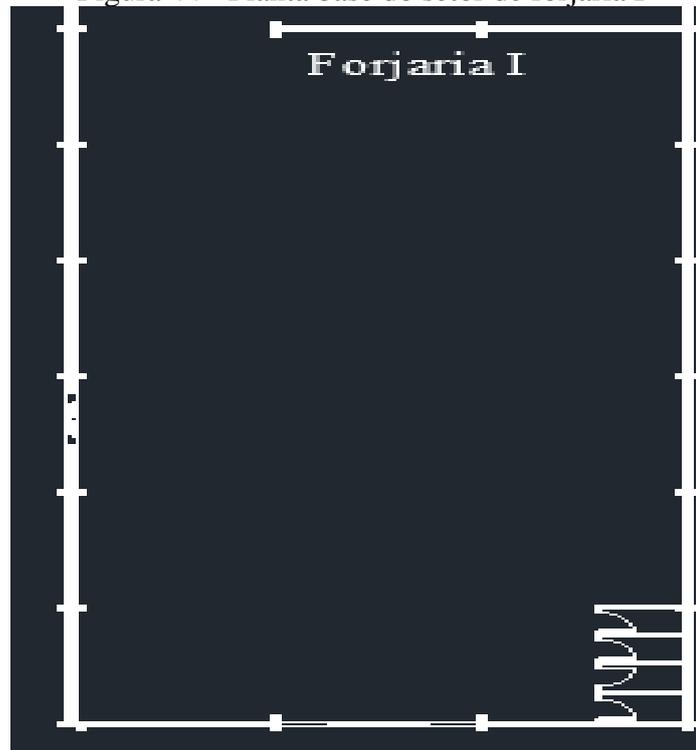
Fonte: O autor, 2020.

3.1.1.2 Dados considerados no projeto lumitécnico para o setor Forjaria I

- Setor: Forjaria I
 - Dimensões:
 - ✓ Comprimento: 30 metros;
 - ✓ Largura: 15 metros;
 - ✓ Pé direito livre: 8 metros;
 - Fatores de reflexão
 - ✓ Teto: 70%;
 - ✓ Paredes: 50%;
 - ✓ Piso: 20%;
 - Fator de Manutenção 80%;
 - Item da Norma Técnica NBR5413 5.3.48: 300 lumens considerado no projeto;
 - Altura do plano de Trabalho: 0,80m
 - Tipo de atividade desenvolvida no recinto: Tarefas com requisitos visuais limitados, trabalho bruto de maquinaria, auditórios. Conforme NBR5413.
 - Tipo de Luminária: Modelo LED HDA – 003 150W 90X90 MP do fabricante HDA iluminação LED.

A Figura 44 demonstra o setor de forjaria I através de uma vista superior, aplicada para a projeção da iluminação do ambiente.

Figura 44 - Planta base do setor de forjaria I

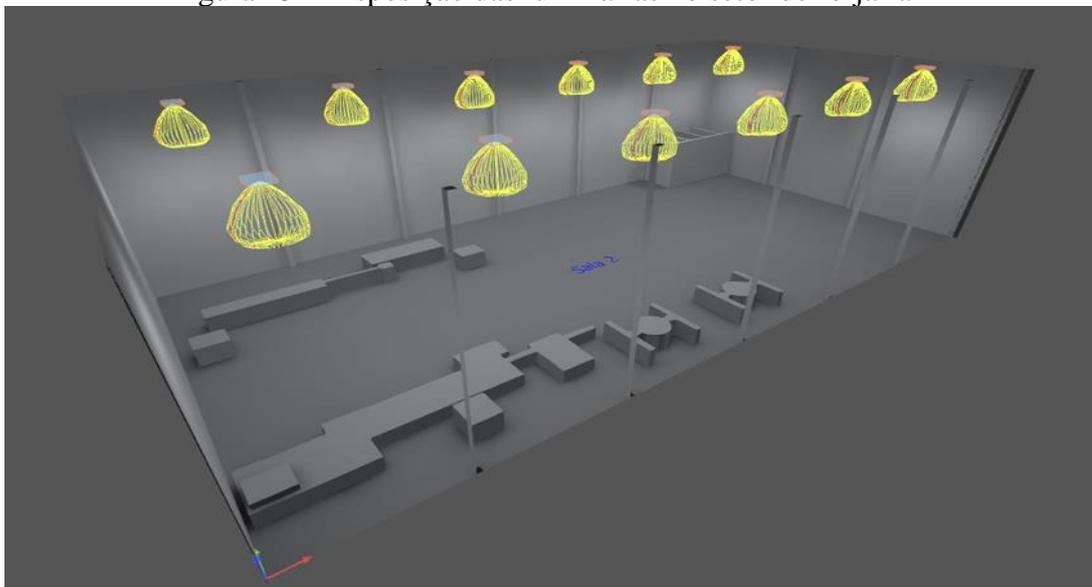


Fonte: O autor, 2020.

A modelo luminária definida para o sistema de iluminação do setor de forjaria é demonstrada e apresenta as suas características fornecidas pelo fabricante junto aos anexos deste trabalho.

Com o decorrer do desenvolvimento do sistema de iluminação do ambiente o software demonstra através de vista a disposição das luminárias no ambiente. Através da Figura 45 a seguir temos uma visão do ambiente incluindo disposição das luminárias no interior do software com vista em 3D.

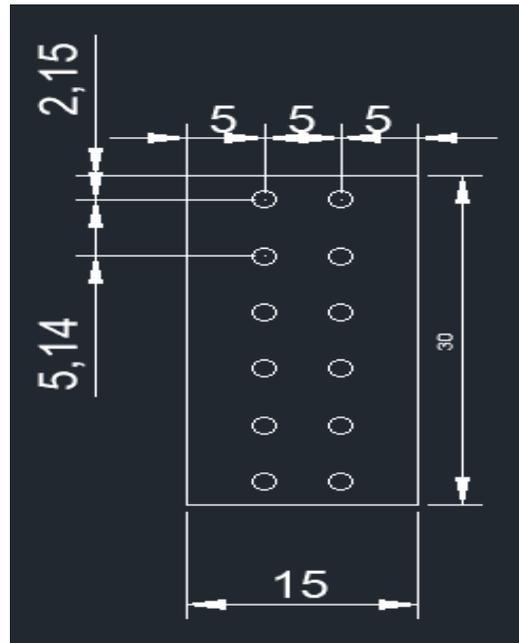
Figura 45 - Disposição das luminárias no setor de forjaria I



Fonte: O autor, 2020.

Para que o sistema de iluminação atenda aos requisitos que a norma exige, o sistema de iluminação será composto de 12 luminárias de 150W distribuídas no ambiente com uma altura de pé direito de 8 metros distribuídas, no comprimento com uma distância entre a parede e o centro luminária de 2,15 metros, e a distância entre os centros das luminárias com 5,14 metros, na largura com distância de 5 metros entre a parede ao centro luminária e distância entre centros das luminárias de 5 metros. Conforme a Figura 46 demonstra a seguir:

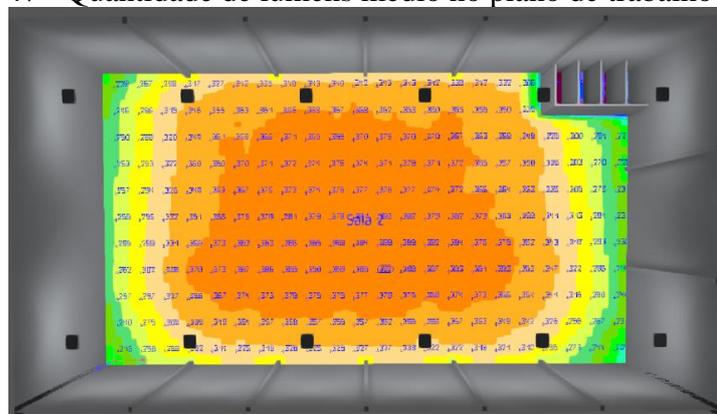
Figura 46 - Distanciamento das luminárias no setor



Fonte: O autor, 2020.

A projeção da quantidade de lumens no ambiente é demonstrada na figura 48 com uma média de 331 lux no plano de trabalho atendendo o definido inicialmente, sendo possível verificar através da projeção a seguir na Figura 47 com uma vista superior através do software a concentração de lumens no ambiente.

Figura 47 - Quantidade de lumens médio no plano de trabalho do setor



Fonte: O autor, 2020.

3.1.1.3 Dados considerados no projeto lumitécnico para o setor forjaria II

- Setor: Forjaria II
 - Dimensões:
 - ✓ Comprimento:30 metros;
 - ✓ Largura:20 metros;
 - ✓ Pé direito livre:10 metros;
 - Fatores de reflexão
 - ✓ Teto: 70%;
 - ✓ Paredes: 50%;
 - ✓ Piso: 20%;
 - Fator de Manutenção 80%;
 - Item da Norma Técnica NBR5413 5.3.48: 300 lumens considerado no projeto;
 - Altura do plano de Trabalho: 0,80m
 - Tipo de atividade desenvolvida no recinto: Tarefas com requisitos visuais limitados, trabalho bruto de maquinaria, auditórios. Conforme NBR5413.
 - Tipo de Luminária: Modelo LED HDA – 003 150W 90X90 MP do fabricante HDA iluminação LED.

A Figura 48 demonstra o setor de forjaria II através de uma vista superior, aplicada para a projeção da iluminação do ambiente.

Figura 48 - Planta base do setor forjaria II

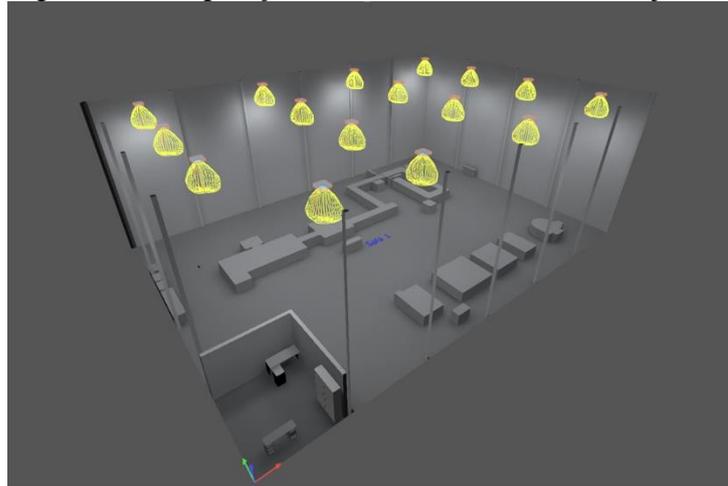


Fonte: O autor, 2020

O modelo de luminária definida para o sistema de iluminação do setor de forjaria é demonstrada e apresenta as suas características fornecidas pelo fabricante junto aos anexos deste trabalho.

Com o decorrer do desenvolvimento do sistema de iluminação do ambiente o software demonstra através de vista a disposição das luminárias no ambiente. Através da figura 49 a seguir temos uma visão do ambiente incluindo disposição das luminárias no interior do software com vista em 3D.

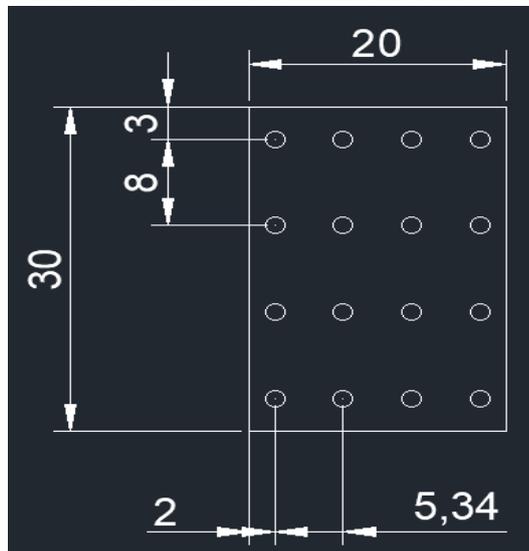
Figura 49 - Disposição das luminárias no setor forjaria II



Fonte: O autor, 2020.

Para que o sistema de iluminação atenda aos requisitos que a norma exige, o sistema de iluminação será composto de 16 luminárias de 150W distribuídas no ambiente com uma altura de pé direito de 10 metros distribuídas, no comprimento com uma distância entre a parede e o centro luminária de 3 metros, e a distância entre os centros das luminárias com 8 metros, na largura com distância de 2 metros entre a parede ao centro luminária e distância entre centros das luminárias de 5,34 metros. Conforme a figura 50 demonstra a seguir:

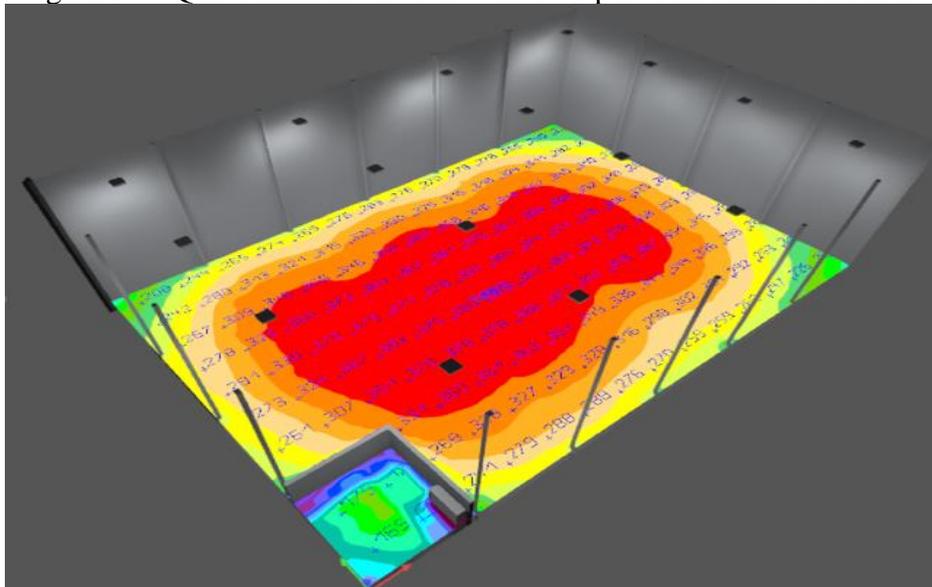
Figura 50 - Distanciamento das luminárias no setor forjaria II



Fonte: O autor, 2020.

A projeção da quantidade de lumens no ambiente é demonstrada na figura 52 com uma média de 313 lux no plano de trabalho atendendo o definido inicialmente, sendo possível verificar através da projeção a seguir na figura 51 com uma vista superior lateralmente através do software a concentração de lumens no ambiente.

Figura 51 - Quantidade de lumens médio no plano de trabalho do setor



Fonte: O autor, 2020.

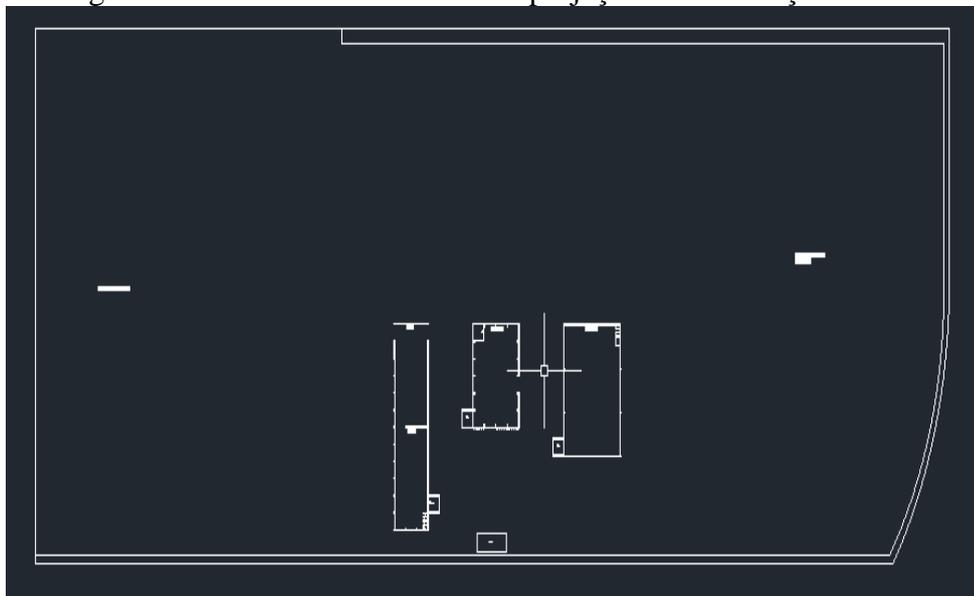
O relatório geral desenvolvido pelo software com mais algumas informações importantes relacionadas ao desenvolvimento do projeto luminotécnico encontra-se no final deste estudo.

3.1.1.4 Dados considerados no projeto luminotécnico para o ambiente externo

- Setor: Estoque de Matéria-Prima/Expedição
- Dimensões:
 - ✓ Comprimento: 187 metros;
 - ✓ Largura: 70 metros;
 - ✓ Pé direito livre: 9 metros;
 - Fator de Manutenção 80%;
 - Item da Norma Técnica NBR5101 6.2.13: 40 lumens considerado no projeto;
- Tipo de Luminária:
 - ✓ Modelo LED HDA – 01 150W MP STREET do fabricante HDA iluminação LED;
 - ✓ Modelo LED HDA – 02 150W MP STREET do fabricante HDA iluminação LED;

A Figura 52 demonstra o ambiente externo através de uma vista superior, aplicada para a projeção da iluminação do ambiente.

Figura 52 - Planta Base utilizada na projeção da iluminação externa

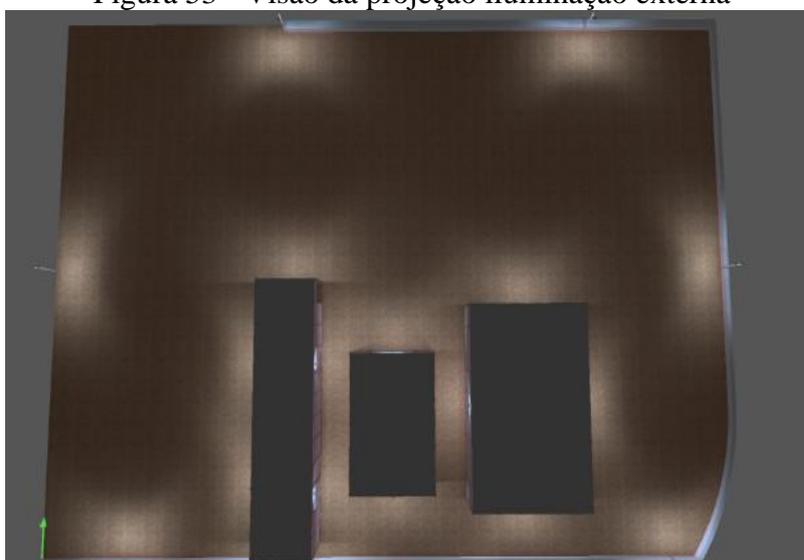


Fonte: O autor, 2020.

O modelo de luminária definida para o sistema de iluminação externo demonstrada e apresenta as suas características fornecidas pelo fabricante junto aos anexos deste trabalho.

Com o decorrer do desenvolvimento do sistema de iluminação do ambiente o software demonstra através de vista superior a projeção da iluminação externa. Através da figura 53 a seguir temos uma visão do ambiente incluindo disposição das luminárias nas laterais dos galpões com uma vista em 3D.

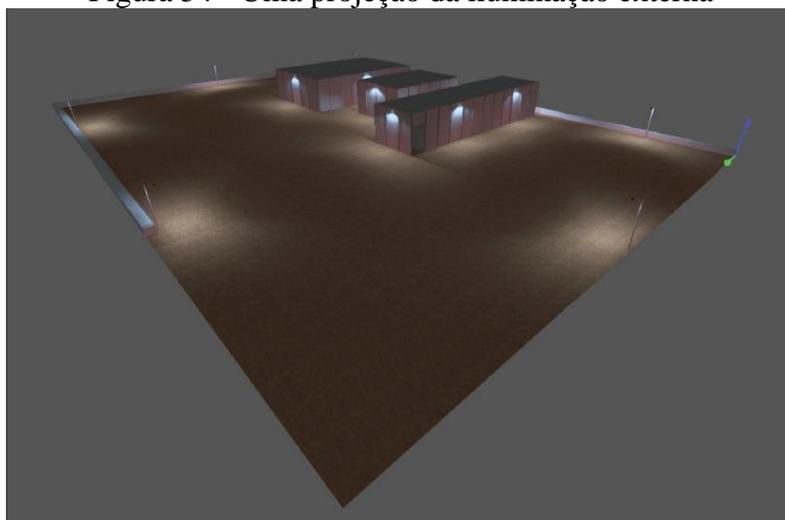
Figura 53 - Visão da projeção iluminação externa



Fonte: O autor, 2020.

Para que o sistema de iluminação atenda aos requisitos mínimos exigidos pela norma, o sistema de iluminação será composto de 6 luminárias de 150W distribuídas no contorno dos limites do terreno fixadas em poste há altura de pé direito de 9 metros. Nas laterais do galpão de corte/forjaria I será fixada 5 luminárias, nas laterais do galpão de forjaria II será fixado 4 luminárias e nas laterais do galpão da solda será fixada 4 luminárias, totalizando 13 luminárias de 150W. A Figura 54 demonstra uma perspectiva de ambiente externo com a iluminação instalada.

Figura 54 - Uma projeção da iluminação externa



Fonte: O autor, 2020.

3.2 DIMENSIONAMENTO DE CONDUTORES E EQUIPAMENTOS

Todos os dimensionamentos descritos neste trabalho, foram precedidos de uma análise dos tipos de cargas a ser suprida pelos ramais de alimentação do sistema, onde as variáveis foram consideradas:

- Potência Nominal;
- Tensão Nominal;
- Frequência Nominal;
- Fator de Potência Nominal;
- Tipo de Carga;
- Distancia da carga em relação a fonte de energia;
- Método de instalação dos condutores.

As seções nominais dos condutores que foram dimensionados estão de acordo com as exigências contidas na norma NBR-5410/2004, sendo que os condutores satisfazem os critérios abaixo:

- Capacidade de Condução de Corrente conforme item 6.2.5;
- Limite de queda de tensão conforme item 6.2.7;
- Seção mínima conforme item 6.2.6;
- Sobrecarga conforme item 5.3.3;
- Curto-circuito conforme item 5.3.5;
- Proteção contra choques elétricos conforme item 5.1.2.2.4 (quando aplicável).

3.2.1 Relação de Cargas do Projeto

A seguir as tabelas 15 a 20 abaixo apresenta as respectivas cargas de cada setor com seus dados técnicos:

Tabela 15 – Cargas do setor de corte
SETOR: CORTE

TAG	CV	Vn	IB (A)	FP (cos)	P (kW)
CO-100	15	380	22,3	0,82	11
CO-101	7,5	380	11,6	0,85	5,5
	2	380	3,54	0,78	1,5
CO-102	7,5	380	11,6	0,85	5,5
	2	380	3,72	0,76	1,5
CO-103	30	380	28,4	0,85	22,5
	4	380	6,25	0,82	3
CO-104	50	380	71,2	0,85	37
	50	380	71,2	0,85	37
	4	380	6,25	0,86	3
	2	380	3,72	0,82	1,5
Exaustores	1,5	380	2,38	0,86	1,1
	1,5	380	2,38	0,86	1,1
	5	380	7,38	0,86	3,75
Iluminação Interna	-	220	7,27273	0,96	1,6
Total			259,193	0,84333	136,55

Fonte: O autor, 2020

Tabela 16 – Cargas do setor forjaria 1
SETOR: FORJARIA 1

TAG	EQUIPAMENTO	P (CV)	TENSÃO (V)	In (A)	FP (COS)	P (kW)
FO-111	Trocador de Calor	2	380	3,14	0,87	1,5
	ESTEIRA TRANSP. 01	1	380	1,75	0,81	0,75
	ESTEIRA TRANSP. 02	1	380	1,75	0,82	0,75
	VENTILADOR_01	1	380	1,76	0,81	0,75
	VENTILADOR_02	1	380	1,76	0,81	0,75
	VENTILADOR_03	1	380	1,76	0,81	0,75

Tabela 16 Continuação

	MISTURADOR_01	1	380	1,76	0,81	0,75
	RESISTENCIA_01	-	380	14,45	1	9,5
	RESISTENCIA_02	-	380	14,45	1	9,5
	RESISTENCIA_03	-	380	14,45	1	9,5
	MOTOBOMBA_01	2	380	3,14	0,87	1,5
	AGITADOR_01	2	380	3,14	0,81	1,5
	MOTOBOMBA_02	2	380	3,14	0,87	1,5
	VENTILADOR TORRE DE RESFRIAMENTO	2	380	3,14	0,87	1,5
	MOTOBOMBA_03	5	380	7,39	0,87	3,7
	MOTOBOMBA_04	7,5	380	11,6	0,85	5,5
AUX_1	MOTOBOMBA_05	7,5	380	11,6	0,85	5,5
	MOTOBOMBA_06	5	380	7,39	0,87	3,7
	MOTOBOMBA_07	2	380	3,14	0,87	1,5
FO-114	FORNO MATRIZ		380	42,1	1	16
	VENTILADOR TORRE DE RESFRIAMENTO	3	380	5,4	0,72	2,2
AUX_2	MOTOBOMBA_08	7,5	380	10,9	0,87	5,5
	MOTOBOMBA_09	7,5	380	10,9	0,86	5,5
FO-106	PRENSA GUTMANN	50	380	70,6	0,89	37
FO-104	PRENSA MANKHE	40	380	58	0,82	30
FO-105	PRENSA JUNDIAI	20	380	31,1	0,8	15
FO-109	PRENSA RICETTI	40	380	60	0,85	30
FO-108	PRENSA RUSSA	40	380	60	0,85	30
FO-103	COMPRESSOR DE AR GA-160	150	380	273,49	0,87	150
FO-107	PRENSA JFMI	85	380	116	0,845	63
I.I	ILUMINAÇÃO INTERNA	-	220	8,181818	0,96	1,8
I.E	ILUMINAÇÃO EXTERNA	-	220	4,77	0,95	1,05
TOTAL				857,3818	0,865	447,45

Fonte: O autor, 2020.

Tabela 17 – Cargas especiais forjaria 1
SETOR: FORJARIA 1 FORNOS

TAG	EQUIPAMENTO	TENSÃO (V)	In (A)	FP (COS)	P (kW)
FO-101	FORNO INDUÇÃO RADYNE	460	628,29	0,8	400
FO-110	FORNO INDUÇÃO INDUCTOTHERM	460	1305	0,92	800

Fonte: O autor, 2020.

Tabela 18 – Cargas forjaria 2

SETOR: FORJARIA 2						
TAG	EQUIPAMENTO	P (CV)	TENSÃO (V)	IB (A)	FP (COS)	P (kW)
FO-202	PRENSA SMERAL	250	380	386	0,89	187,5
FO-203	PRENSA MAHNKE	50	380	74,4	0,89	37,5
FO-211	EST. TRANSP. 1	1	380	1,68	0,84	0,75
	EST. TRANSP. 2	1	380	1,75	0,84	0,75
	EST. TRANSP. 3	1,5	380	2,8	0,85	1,125
	EST. TRANSP. 4	1	380	1,68	0,84	0,75
	MOTOBOMBA RESF.	7,5	380	11,1	0,87	5,625
	MOTOBOMBA_1	5	380	7,38	0,86	3,75
	BOMBA_CHUV_1	2	380	3,14	0,87	1,5
	BOMBA_CHUV_2	2	380	3,14	0,87	1,5
	CHUVEIROS_TT	4	380	7,27	0,62	3
	VENT.TORRE RESFR.	4	380	7,27	0,77	3
FO-210	AG_TANQUE_TT_1	1	380	1,68	0,84	0,75
	ROTOJATO	15	380	24	0,84	11,25
	EXAUSTOR	3	380	5,56	0,74	2,25
FO-212	PRENSA HARLO	15	380	24	0,85	11,25
FO-209	PRENSA GERMAQ	40	380	56	0,85	30
FO-214	SISTEMA DE VENTILAÇÃO	4	380	7,27	0,85	3
FO-208	PRENSA SILME	50	380	71,2	0,85	37,5
FO-213	PRENSA SILME	25	380	42,5	0,74	18,75
FO-207	FORNO MATRIZ	-----	380	47,4	1	18
IL_INT	ILUMINAÇÃO INTERNA	-----	220	10,9	0,95	2,4
I.E.	ILUMINAÇÃO EXTERNA	-----	220	2,72	0,95	0,6
TOTAL				798	0,87	382,5

Fonte: O autor, 2020.

Tabela 19 – Cargas especiais forjaria 2

Setor: FORJARIA 2

TAG	EQUIPAMENTO	TENSÃO (V)	IB (A)	FP (COS)	P (kW)
FO-201	FORNO RADYNE	660	823	0,85	800

Fonte: O autor, 2020.

Tabela 20 – Cargas setor de solda

Setor: SOLDA

TAG	EQUIPAMENTO	P (CV)	TENSÃO (V)	IB (A)	FP (COS)	P (kW)
-----	-------------	--------	------------	--------	----------	--------

Tabela 19 Continuação

SA-310	ROBO SOLDA	-	380	19,73	0,85	7,5
SO-317	ESTUFA	-	220	13,63	1	3
SA-603	POLICORTE	7,5	380	14,47	0,87	5,5
SO-311	MAQUINA DE SOLDA SUMIG	-	380	50	0,85	19
SO-313	PRENSA HIMOPEL	10	380	19,73	0,85	7,5
SA-305	MAQUINA DE SOLDA SUMIG	-	380	50	0,85	19
SO-318	MAQUINA DE SOLDA SUMIG	-	380	50	0,85	19
SO-319	MAQUINA DE SOLDA SUMIG	-	380	50	0,85	19
SA-302	MAQUINA DE SOLDA BAMBOZZI	-	380	50	0,85	19
SO-303	MAQUINA DE SOLDA SUMIG	-	380	50	0,85	19
SO-314	MAQUINA DE SOLDA BAMBOZZI	-	380	78,94	0,85	30
SO-316	FORNO ELETRODOS	-	380	26,31	1	10
SO-308	PRENSA	15	380	11,25	0,89	11,25
PR-10	TALHA MONOVIA	2	380	3,94	0,89	1,5
QT-10	TALHA MONOVIA	1,5	380	2,96	0,86	1,125
SO-309	CALANDRA	7,5	380	14,8	0,87	5,625
SO-315	MAQUINA DE SOLDA BAMBOZZI	-	380	78,94	0,85	30
VENT_SOLDA	SISTEMA DE VENTILAÇÃO	10	380	19,73	0,88	7,5
IL_INT	ILUMINAÇÃO INTERNA	-	220	19,09	0,95	4,2
IL_EXT	ILUMINAÇÃO EXTERNA	-	220	5,45	0,95	1,2
SA-300	CORTE PLASMA	-	380	175	0,98	66,5
TOTAL				798,5	0,885	306,4

Fonte: O autor, 2020.

O dimensionamento dos respectivos condutores referentes para cada tipo de carga foi desenvolvido com o auxílio do software DCE 4.0 baixa tensão desenvolvido pela empresa Prysmian, especialista na fabricação de condutores elétricos de baixa e média tensão, além de condutores aplicados em telecomunicações, a empresa com sede na cidade Milão, Itália.

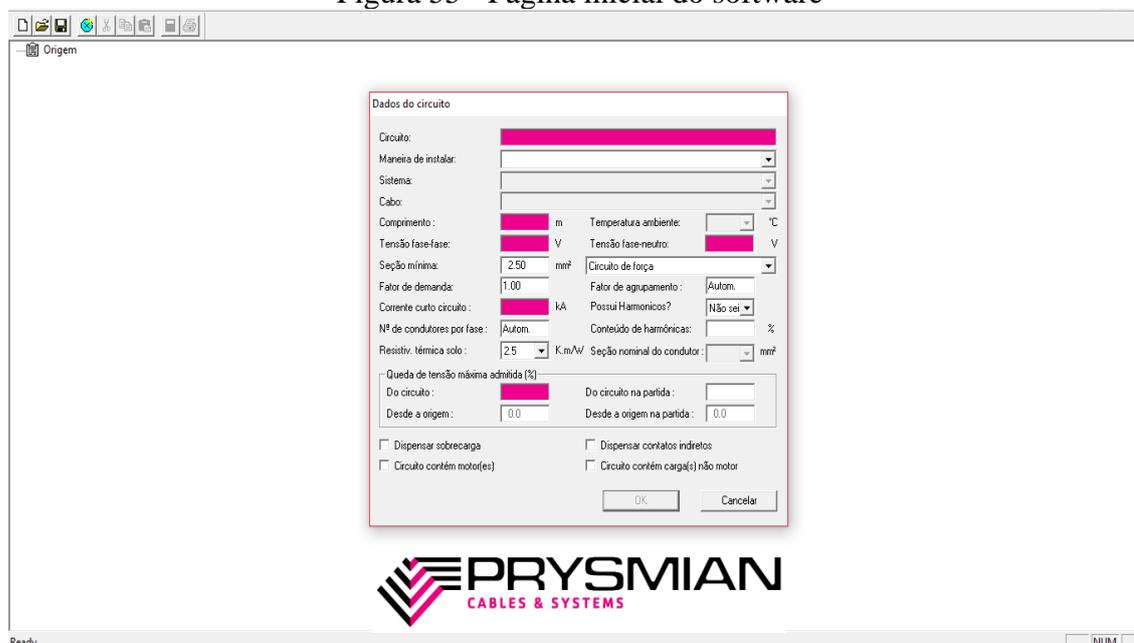
A versão disponível do DCE 4.0 Prysmian baixa tensão disponível no Brasil é gratuito, totalmente elaborado a partir da última versão disponível da NBR5410/2004 da ABNT. Podendo ser dimensionados circuitos tanto em corrente alternada como corrente contínua. A interface inicial do software, conforme demonstrada na Figura 55, guia o usuário de forma fácil passo a passo a inserir as informações necessárias para o dimensionamento correto dos condutores.

O tipo de condutor empregado neste trabalho foi o GSette Easy 0,6/1kV tendo suas características demonstradas a seguir:

- Construção em fios de cobre nu, temperado mole, classe 5 extra flexível;
- Isolação em composto termofixo em borracha tipo HEPR;

- Cobertura/Proteção mecânica em composto termoplástico de PVC;
- Temperaturas máximas do condutor em regime contínuo 90°C, condutor em sobrecarga 13°C e 250°C em curto-circuito.
- Normas Técnicas aplicáveis NBR7286 e NBR5410;

Figura 55 - Página inicial do software



Fonte: O autor, 2020.

As Figuras 56 e 57 mostram a seguir as cargas inseridas no software na página inicial, incluindo todas as informações necessárias para o dimensionamento do condutor necessário para suprir a demanda da carga.

Figura 56 - Página com cargas inseridas por setor e equipamento



Fonte: O autor, 2020.

Figura 57 - Pagina do software com cargas por setor



Fonte: O autor, 2020.

O relatório gerado pelo software demonstra todas as informações em duas páginas, conforme será demonstrado a seguir.

A primeira página gerada pelo software apresenta os dados inseridos para verificação se estão corretos com o projeto inicial e suas especificações, conforme a Figura 58.

Figura 58 - A primeira página gerada pelo software com dados inseridos pelo usuário

 DIMENSIONAMENTO DE CIRCUITOS ELÉTRICOS 4.0		Página:: 14/06/2
Projeto : DIMENSIONAMENTO_DE_SETORES		
Circuito : FORNO_FO-110_TR1		
Dados de entrada		
Maneira de instalar:		Canaleta fechada encaixada no piso ou no solo
Sistema:		Trifásico+Terra (3F+T)
Cabo:		Cabo GSETTE IRISTECH 0,6/1kV unipolar
Número de condutores por fase :		Automático
Seção nominal do condutor :		Automática
Seção mínima de cada condutor:		150 mm ²
Temperatura ambiente:		30 °C
Dispensada verificação contra contatos indiretos		
Dispensada verificação contra sobrecarga		
Comprimento do circuito		64.0 m
Queda de tensão máxima admitida :		7.00 %
Tensão fase/fase :		460 V
Fator de correção de agrupamento :		Automático
Corrente c.c. presumida (Ikmax):		20.0 kA
Número de circuitos ou de cabos multipolares		1
Disposição dos cabos		Trifólio
Corrente do circuito :		1600.0 A
Fator de potência do circuito :		0.92
Fator de demanda :		1.00

Fonte: O autor, 2020.

A página seguinte gerada pelo software apresenta os valores calculados considerando os dados inseridos inicialmente, conforme apresenta a Figura 59.

Figura 59 - Segunda página gerada pelo software com resultados

Valores calculados

Seção nominal dos condutores :	6 x 240 mm ²
Critério de dimensionamento:	Capacidade de corrente
Capacidade de condução de corrente :	6 x 274.2 A
Fator de correção de agrupamento :	0.57
Fator de correção de temperatura :	1.00
Resistência em CA de cada condutor :	0.1000 ohm/km
Reatância indutiva de cada condutor :	0.0977 ohm/km
Queda de tensão efetiva :	0.84 %
Icc presumida mínima ponto extremo (Ikmin) :	1.18e+004 A
I2t de cada condutor para Ikmax :	1.23e+009 A
I2t de cada condutor para Ikmin :	1.27e+009 A
Tempo máximo para atuação da proteção para Ikmax :	3.08e+000 s
Seção nominal do condutor de proteção :	720 mm ²
Dividir este valor pelo número de condutores	

Fonte: O autor, 2020.

Seguindo estes critérios já citados anteriormente, sendo demonstrados a forma que o software apresenta o relatório, as tabelas 21 a 26, a seguir apresentam os respectivos condutores dimensionados e sua proteção para cada carga:

- Setor: Corte
 - Critério aplicado: Capacidade de Corrente e Queda de Tensão.

Tabela 21 – Respective condutores e dispositivos de proteção das cargas do setor corte
Setor: CORTE

Cir.	TAG	Pot. (kW)	Vn (FF)	F.P.	In (A)	Comp. (m)	Condutor (mm ²)			Disp. Prot. (A)
							Fase	Neutro	Proteção	
1	CCM_QDFC	133,9	380	0,84	259	35	1x240	1x120	1x120	C-320
2	CO-100	11	380	0,82	20	10	1X10	1X10	1X10	C-50
3	CO-101	7	380	0,81	13	20	1x4	1x4	1x4	C-32
4	CO-102	7	380	0,8	13	20	1x4	1x4	1x4	C-32
5	CO-103	25,5	380	0,83	46	30	1x16	1x16	1x16	C-63
6	CO-104	78,5	380	0,84	152	10	1x95	1x50	1x50	C-200
7	Q_E_1	3,3	380	0,86	5,8	15	1x2,5	1x2,5	1x2,5	C-16
8	ILUMINAÇÃO	1,6	220	0,96	7,3	30	1x2,5	1x2,5	1x2,5	C-10

Fonte: O autor

- Setor: FORJARIA I
 - Critério aplicado: Capacidade de Corrente e Queda de Tensão.

Tabela 22 - Respective condutores e dispositivos de proteção das cargas do setor forjaria 1

Setor: FORJARIA 1

Cir.	TAG	Pot. (kW)	Vn (FF)	F.P.	In (A)	Comp. (m)	Condutor (mm ²)			Disp. Prot. (A)
							Fase	Neutro	Proteção	
1	TR3_CCM_FORJ_1	446,4	380	0,96	857	22	3#240	2#240	2#240	C-1000
2	FO-111	40,5	380	0,86	69,6	50	1#16	1#16	1#16	C-80
3	AUX_1	19,9	380	0,86	41,1	35	1#25	1#25	1#25	C-80
4	FO-114	16	380	1	42,1	65	1#10	1#10	1#10	C-50
5	AUX_2	13,2	380	0,81	27,2	75	1#16	1#16	1#16	C-50
6	FO-106	37	380	0,89	70,6	60	1#35	1#35	1#35	C-80
7	FO-104	30	380	0,82	58	50	1#35	1#35	1#35	C-80
8	FO-105	15	380	0,8	31,1	70	1#16	1#16	1#16	C-63
9	FO-109	30	380	0,85	60	30	1#16	1#16	1#16	C-63
10	FO-108	30	380	0,85	60	20	1#16	1#16	1#16	C-63
11	FO-103	150	380	0,87	274	40	1#120	1#70	1#70	C-320
12	FO-107	63	380	0,84	116	30	1#35	1#35	1#35	C-125
13	ILUMINAÇÃO	1,8	220	0,96	8,18	30	1#2,5	1#2,5	1#2,5	C-10

Fonte: O autor, 2020.

- Setor: Forjaria 1
 - Critério aplicado: Capacidade de Corrente e Queda de Tensão.

Tabela 23 – Respective condutores e dispositivos de proteção das cargas especiais forjaria 1

Setor: FORJARIA 1/FORNO

Cir.	TAG	Pot. (kW)	Vn (FF)	F.P.	In (A)	Comp. (m)	Condutor (mm ²)			Disp. Prot. (A)
							Fase	Neutro	Proteção	
1	FO-101	400	460	0,85	591	70	2#185	0	1#185	C-630
2	FO-110	800	460	0,92	1305	64	5#240	0	3#240	C-1600

Fonte: O autor, 2020.

- Setor: Forjaria 1
 - Critério aplicado: Capacidade de Corrente e Queda de Tensão.

Tabela 24 - Respective condutores e dispositivos de proteção das cargas do setor forjaria 2

Setor: Forjaria II

Cir.	TAG	Pot. (kW)	Vn (FF)	F.P.	In (A)	Comp. (m)	Condutor (mm ²)			Disp. Prot. (A)
							Fase	Neutro	Proteção	
1	FO-202	187,5	380	0,89	386	60	2#240	2#120	2#120	C-400
2	FO-203	37,5	380	0,89	74	60	1#95	1#50	1#50	C-80
3	FO-211	22,5	380	0,81	49	50	1#70	1#35	1#35	C-63
4	FO-210	13,5	380	0,8	30	40	1#25	1#25	1#25	C-50
5	FO-212	11,25	380	0,85	24	35	1#25	1#25	1#25	C-40
6	FO-209	30	380	0,85	56	35	1#25	1#25	1#25	C-63
7	FO-214	3	380	0,85	7,3	25	1#4	1#4	1#4	C-16
8	FO-208	37,5	380	0,85	71	30	1#35	1#25	1#25	C-80
9	FO-213	18,75	380	0,74	43	20	1#16	1#16	1#16	C-50
10	FO-207	18	380	1	47	40	1#10	1#10	1#10	C-50
11	ILUM.	2,4	220	0,96	11	30	1#1,5	1#1,5	1#1,5	C-16

Fonte: O autor, 2020.

- Setor: Forjaria 1

- Critério aplicado: Capacidade de Corrente e Queda de Tensão

Tabela 25 - Respetivos condutores e dispositivos de proteção das cargas especiais forjaria 2
Setor: FORJARIA 2 FORNO

Cir.	TAG	Pot. (kW)	Vn (FF)	F.P.	In (A)	Comp. (m)	Condutor (mm ²)			Disp. Prot. (A)
							Fase	Neutro	Proteção	
1	FO-201	800	660	0,85	823		4#240	-----	2#240	C-1000

Fonte: O autor, 2020.

- Setor: Solda

- Critério aplicado: Capacidade de Corrente e Queda de Tensão.

Tabela 26 – Respetivos condutores e proteção das cargas do setor solda
Setor: Solda

Cir.	TAG	Pot. (kW)	Vn (FF)	F.P.	In (A)	Comp. (m)	Condutor (mm ²)			Disp. Prot. (A)
							Fase	Neutro	Proteção	
1	SA-310	7,5	380	0,85	19,73	30	1#4	1#4	1#4	C-25
2	SO-317	3	380	1	13,63	20	1#2,5	1#2,5	1#2,5	C-20
3	SA-603	5,5	380	0,87	14,74	10	1#2,5	1#2,5	1#2,5	C-20
4	SO-311	19	380	0,85	50	15	1#10	1#10	1#10	C-50
5	SO-313	7,5	380	0,85	19,73	23	1#2,5	1#2,5	1#2,5	C-20
6	SA-305	19	380	0,85	50	25	1#10	1#10	1#10	C-50
7	SO-318	19	380	0,85	50	30	1#10	1#10	1#10	C-50
8	SO-319	19	380	0,85	50	30	1#10	1#10	1#10	C-50
9	SA-302	19	380	0,85	50	30	1#10	1#10	1#10	C-50
10	SO-303	19	380	0,85	50	30	1#10	1#10	1#10	C-50
11	SO-314	30	380	0,85	78,94	38	1#25	1#25	1#25	C-80
12	SO-316	10	380	1	26,31	42	1#4	1#4	1#4	C-32
13	SO-308	11, 25	380	0,89	11, 25	45	1#2,5	1#2,5	1#2,5	C-20
14	PR-10	1,5	380	0,89	3,94	17	1#2,5	1#2,5	1#2,5	C-10
15	QT-10	1,125	380	0,86	2,96	40	1#2,5	1#2,5	1#2,5	C-10
16	SO-309	5,625	380	0,87	14,8	45	1#2,5	1#2,5	1#2,5	C-20
17	SO-315	30	380	0,85	78,94	43	1#25	1#25	1#25	C-80
18	VENT_SOLDA	7,5	380	0,88	19,73	34	1#16	1#16	1#16	C-40
19	IL_INT	4, 2	220	0,92	19,091	45	1#2,5	1#2,5	1#2,5	C-20
21	SA-300	66,5	380	0,98	175	50	1#95	1#50	1#50	C-200
22	QGBT_CCM	305, 2	380	0,96	798,58	40	2#240	4#120	1#240	C-800

Fonte: O autor, 2020.

Transformadores

Os transformadores de força destinados a suprir o nível de tensão adequado a cada tipo de carga instalada no interior da indústria são apresentados na Tabela 27.

Tabela 27 – Capacidade nominal do transformador de cada tipo de carga

Setor	Potência Nominal
Corte/Forjaria I	750 kVA
Forjaria II	750 kVA
Solda	750 kVA
Forno FO-110	1000 kVA
Forno FO-101	500kVa
Forno FO-201	1000 kVA

Fonte: O autor, 2020.

Os dados técnicos relativos às especificações técnicas dos transformadores definidos para cada tipo de carga, são apresentados nas tabelas 28 a 31 logo a seguir:

Tabela 28 - Equipamento: Cargas Gerais em tensão nominal 220/380V

Dados Técnicos	
Potência nominal	750 kVA
Tensão Nominal AT	13,8kV
Tensão Nominal BT	0,38kV
Forma Construtiva	Tanque corrugado
NBI (AT)	95,0kV,
Norma Técnica	NBR5356
Frequência Nominal	60Hz
Fase	Trifásico
Instalação	Ao tempo
Altitude Máxima	1000m
Atmosfera	Não agressiva
Temperatura Ambiente	40.0°C
Fator K	K1
Tipo de Comutação	CST
Tap's	-4 x 0,6kV
Classe Térmica material Isolante	E (120°C)
Refrigeração	ONAN
Material dos condutores AT/BT	AL/AL
Elevação temperatura dos enrolamentos média	65°C
Elevação temperatura dos enrolamentos no ponto mais quente	80°C
Impedância	4,50%
Perdas a vazio	1,1 kW
Perdas totais	9,8 kW
Corrente de excitação	1,80%
Nível de Ruído	56,0 dB
Descargas Parciais	300.0pc

Fonte: Catalogo Weg – Transformadores, 2020.

Tabela 29 – Características do transformador da carga especial forjaria 1

- Equipamento: Forno FO-101

Dados Técnicos	
Potência nominal	500 kVA
Tensão Nominal AT	13,8kV
Tensão Nominal BT	0,46kV
Forma Construtiva	Tanque corrugado
NBI (AT)	95,0kV,
Norma Técnica	NBR5356
Frequência Nominal	60Hz
Fase	Trifásico
Instalação	Ao tempo
Altitude Máxima	1000m
Atmosfera	Não agressiva
Temperatura Ambiente	40.0°C
Fator K	K1
Tipo de Comutação	CST
Tap's	-4 x 0,6kV
Classe Térmica material Isolante	E (120°C)
Refrigeração	ONAN
Material dos condutores AT/BT	AL/AL
Elevação temperatura dos enrolamentos média	65°C
Elevação temperatura dos enrolamentos no ponto mais quente	80°C
Impedância	4,50%
Perdas a vazio	1,1 kW
Perdas totais	9,8 kW
Corrente de excitação	1,80%
Nível de Ruído	56,0 dB
Descargas Parciais	300.0pc

Fonte: Catálogo Weg – Transformadores, 2020.

Tabela 30 - Características do transformador da carga especial forjaria 1

- Equipamento: Forno FO-110

Dados Técnicos	
Potência nominal	1000 kVA
Tensão Nominal AT	13,8kV
Tensão Nominal BT	0,46kV
Forma Construtiva	Tanque corrugado
NBI (AT)	95,0kV,
Norma Técnica	NBR5356

Tabela 30 - Continuação
Frequência Nominal

	60Hz
Fase	Trifásico
Instalação	Ao tempo
Altitude Máxima	1000m
Atmosfera	Não agressiva
Temperatura Ambiente	40.0°C
Fator K	K1
Tipo de Comutação	CST
Tap's	-4x0,6kV
Classe Térmica material Isolante	E (120°C)
Refrigeração	ONAN
Material dos condutores AT/BT	AL/AL
Elevação temperatura dos enrolamentos média	65°C
Elevação temperatura dos enrolamentos no ponto mais quente	80°C
Impedância	4,50%
Perdas a vazio	1,1 kW
Perdas totais	9,8 kW
Corrente de excitação	1,80%
Nível de Ruído	56,0 dB
Descargas Parciais	300.0pc

Fonte: Catálogo Weg– Transformadores, 2020.

Tabela 31 – Características do transformador da carga especial forjaria 1

- Equipamento: Forno FO-201

Dados Técnicos

Potência nominal	1000 kVA
Tensão Nominal AT	13,8kV
Tensão Nominal BT	0,66kV
Forma Construtiva	Tanque corrugado
NBI (AT)	95,0kV,
Norma Técnica	NBR5356
Frequência Nominal	60Hz
Fase	Trifásico
Instalação	Ao tempo
Altitude Máxima	1000m
Atmosfera	Não agressiva
Temperatura Ambiente	40.0°C
Fator K	K1
Tipo de Comutação	CST
Tap's	4 x 0,6kV

Tabela 31 - continuação

Classe Térmica material Isolante	E (120°C)
Refrigeração	ONAN
Material dos condutores AT/BT	AL/AL
Elevação temperatura dos enrolamentos média	65°C
Elevação temperatura dos enrolamentos no ponto mais quente	80°C
Impedância	4,50%
Perdas a vazio	1,1 kW
Perdas totais	9,8 kW
Corrente de excitação	1,80%
Nível de Ruído	56,0 dB
Descargas Parciais	300.0pc

Fonte: Catálogo Weg – Transformadores, 2020.

3.3 CORREÇÃO DE FATOR DE POTÊNCIA

Para realizar a correção de fator de potência em uma determinada instalação existem várias alternativas para o modo de instalação de capacitores, cada uma delas apresentando suas vantagens e desvantagens.

Nesse sentido a maneira encontrada para chegar ao valor mínimo de correção do fator de potência determinada pela resolução vigente, será realizada através:

- Através banco de capacitores com controle automáticos aplicados nos transformadores de tensão secundária 220/380V;
- Através de capacitores com valor pré-determinado pelo fabricante dos transformadores para correção do F.P. para o valor mínimo em períodos em que o transformador esteja operando a vazio, sendo acionado através de comando associado a carga.
- Fator de Potência mínimo definido para o nível de tensão 220/380V em 0,96.

Nessa etapa do desenvolvimento deste projeto, foram consideradas as cargas que compõe a estrutura de produção do parque fabril para determinar o fator de potência predominante da instalação de cada setor, através da Equação 2.30.

Equação 2. 30 - Equação fator de potência F.P.

$$F. P = \frac{\sum P}{\sqrt{(\sum P)^2 + (\sum Q)^2}} \quad (2.30)$$

3.3.1 Fator de Potência dos Setores

3.3.1.1 Setor: Corte/Forjaria 1

Na Tabela 32 apresenta-se os valores de potências do respectivo setor citado acima:

Tabela 32 – Potências nominais dos setores corte/forjaria 1

Potência Instalada (kW)	Potência Aparente (kVA)	Potência Reativa	Cos (θ)
584	676,54	327,81	0,87

Fonte: O autor, 2020.

Fator de Potência correspondente ao setor citado, acima através da equação 2.31.

Equação 2.31 - Fator de potência do setor de corte/forjaria 1

$$F. P = \frac{584}{\sqrt{(584)^2 + (327,81)^2}} = 0,87 \quad (2.31)$$

3.3.1.2 Setor: Forjaria 2

Na Tabela 32 apresenta-se os valores de potências do respectivo setor.

Tabela 33 - Potências nominais do setor forjaria 2

Potência Instalada (kW)	Potência Aparente (kVA)	Potência Reativa	Cos (θ)
382,5	440	209,6	0,87

Fonte: O autor, 2020.

Fator de Potência correspondente ao setor citado acima através da Equação 2.32

Equação 2.32 - Fator de potência F.P. do setor forjaria 2

$$F. P = \frac{382,5}{\sqrt{(382,5)^2 + (209,6)^2}} = 0,87 \quad (2.32)$$

3.3.1.3 Setor: Solda

Na Tabela 34 apresenta-se os valores de potências do respectivo setor citado.

Tabela 34 - Potências nominais do setor de solda

Potência Instalada (kW)	Potência Aparente (kVA)	Potência Reativa	Cos (θ)
305, 2	345	150	0,89

Fonte: O autor, 2020.

Fator de Potência correspondente ao setor citado acima através da Equação

2.33.

Equação 2.33 - Fator de potência do setor de solda

$$F. P = \frac{305,2}{\sqrt{(305,2)^2 + (150)^2}} = 0,89 \quad (2.33)$$

3.3.2 Determinação do Banco de Capacitores dos Setores

Para determinar a potência nominal reativa capacitiva dos bancos de capacitores necessários nos setores foi utilizado o método de fator multiplicador aplicando os valores de fator de potência atual e desejado no quadro 1.

Quadro 1 - Fator de multiplicação

FP Atual	Fator de Potência Desejado																				
	0.80	0.81	0.82	0.83	0.84	0.85	0.86	0.87	0.88	0.89	0.90	0.91	0.92	0.93	0.94	0.95	0.96	0.97	0.98	0.99	1.00
0.50	0.982	1.008	1.034	1.060	1.086	1.112	1.139	1.165	1.192	1.220	1.248	1.276	1.306	1.337	1.369	1.403	1.440	1.481	1.529	1.589	1.732
0.51	0.937	0.962	0.989	1.015	1.041	1.067	1.094	1.120	1.147	1.175	1.203	1.231	1.261	1.292	1.324	1.358	1.395	1.436	1.484	1.544	1.687
0.52	0.893	0.919	0.945	0.971	0.997	1.023	1.050	1.076	1.103	1.131	1.159	1.187	1.217	1.248	1.280	1.314	1.351	1.392	1.440	1.500	1.643
0.53	0.850	0.876	0.902	0.928	0.954	0.980	1.007	1.033	1.060	1.088	1.116	1.144	1.174	1.205	1.237	1.271	1.308	1.349	1.397	1.457	1.600
0.54	0.809	0.835	0.861	0.887	0.913	0.939	0.966	0.992	1.019	1.047	1.075	1.103	1.133	1.164	1.196	1.230	1.267	1.308	1.356	1.416	1.559
0.55	0.769	0.795	0.821	0.847	0.873	0.899	0.926	0.952	0.979	1.007	1.035	1.063	1.093	1.124	1.156	1.190	1.227	1.268	1.316	1.376	1.519
0.56	0.730	0.756	0.782	0.808	0.834	0.860	0.887	0.913	0.940	0.968	0.996	1.024	1.054	1.085	1.117	1.151	1.188	1.229	1.277	1.337	1.480
0.57	0.692	0.718	0.744	0.770	0.796	0.822	0.849	0.875	0.902	0.930	0.958	0.986	1.016	1.047	1.079	1.113	1.150	1.191	1.239	1.299	1.442
0.58	0.655	0.681	0.707	0.733	0.759	0.785	0.812	0.838	0.865	0.893	0.921	0.949	0.979	1.010	1.042	1.076	1.113	1.154	1.202	1.262	1.405
0.59	0.619	0.645	0.671	0.697	0.723	0.749	0.776	0.802	0.829	0.857	0.885	0.913	0.943	0.974	1.006	1.040	1.077	1.118	1.166	1.226	1.369
0.60	0.583	0.609	0.635	0.661	0.687	0.713	0.740	0.766	0.793	0.821	0.849	0.877	0.907	0.938	0.970	1.004	1.041	1.082	1.130	1.190	1.333
0.61	0.549	0.575	0.601	0.624	0.653	0.679	0.706	0.732	0.759	0.787	0.815	0.843	0.873	0.904	0.936	0.970	1.007	1.048	1.096	1.156	1.299
0.62	0.516	0.542	0.568	0.594	0.620	0.646	0.673	0.699	0.726	0.754	0.782	0.810	0.840	0.871	0.903	0.937	0.974	1.015	1.063	1.123	1.266
0.63	0.483	0.509	0.535	0.561	0.587	0.613	0.640	0.666	0.693	0.710	0.749	0.777	0.807	0.838	0.870	0.904	0.941	0.982	1.030	1.090	1.233
0.64	0.451	0.474	0.503	0.529	0.555	0.581	0.608	0.634	0.661	0.689	0.717	0.745	0.775	0.806	0.838	0.872	0.909	0.950	0.998	1.068	1.201
0.65	0.419	0.445	0.471	0.497	0.523	0.549	0.576	0.602	0.629	0.657	0.685	0.713	0.743	0.774	0.806	0.840	0.877	0.918	0.966	1.026	1.169
0.66	0.388	0.414	0.440	0.466	0.492	0.518	0.545	0.571	0.598	0.626	0.654	0.682	0.712	0.743	0.775	0.809	0.846	0.887	0.935	0.995	1.138
0.67	0.358	0.384	0.410	0.436	0.462	0.488	0.515	0.541	0.568	0.596	0.624	0.652	0.682	0.713	0.745	0.779	0.816	0.857	0.905	0.965	1.108
0.68	0.328	0.354	0.380	0.406	0.432	0.458	0.485	0.511	0.538	0.566	0.594	0.622	0.652	0.683	0.715	0.749	0.786	0.827	0.875	0.935	1.049
0.69	0.299	0.325	0.351	0.377	0.403	0.429	0.456	0.482	0.509	0.537	0.565	0.593	0.623	0.654	0.686	0.720	0.757	0.798	0.846	0.906	1.049
0.70	0.270	0.296	0.322	0.348	0.374	0.400	0.427	0.453	0.480	0.508	0.536	0.564	0.594	0.625	0.657	0.691	0.728	0.769	0.817	0.877	1.020
0.71	0.242	0.268	0.294	0.320	0.346	0.372	0.399	0.425	0.452	0.480	0.508	0.536	0.566	0.597	0.629	0.663	0.700	0.741	0.789	0.849	0.992
0.72	0.214	0.240	0.266	0.292	0.318	0.344	0.371	0.397	0.424	0.452	0.480	0.508	0.538	0.569	0.601	0.635	0.672	0.713	0.761	0.821	0.964
0.73	0.186	0.212	0.238	0.264	0.290	0.316	0.343	0.369	0.396	0.424	0.452	0.480	0.510	0.541	0.573	0.607	0.644	0.685	0.733	0.793	0.936
0.74	0.159	0.185	0.211	0.237	0.263	0.289	0.316	0.342	0.369	0.397	0.425	0.453	0.483	0.514	0.546	0.580	0.617	0.658	0.706	0.766	0.909
0.75	0.132	0.158	0.184	0.210	0.236	0.262	0.289	0.315	0.342	0.370	0.398	0.426	0.456	0.487	0.519	0.553	0.590	0.631	0.679	0.739	0.882
0.76	0.105	0.131	0.157	0.183	0.209	0.235	0.262	0.288	0.315	0.343	0.371	0.399	0.429	0.460	0.492	0.526	0.563	0.604	0.652	0.712	0.855
0.77	0.079	0.105	0.131	0.157	0.183	0.209	0.236	0.262	0.289	0.317	0.345	0.373	0.403	0.434	0.466	0.500	0.537	0.578	0.626	0.685	0.829
0.78	0.052	0.078	0.104	0.130	0.156	0.182	0.209	0.235	0.262	0.290	0.318	0.346	0.376	0.407	0.439	0.473	0.510	0.551	0.599	0.659	0.802
0.79	0.026	0.052	0.078	0.104	0.130	0.156	0.183	0.209	0.236	0.264	0.292	0.320	0.350	0.381	0.413	0.447	0.484	0.525	0.573	0.633	0.776
0.80		0.026	0.052	0.078	0.104	0.130	0.157	0.183	0.210	0.238	0.266	0.294	0.324	0.355	0.387	0.421	0.458	0.499	0.547	0.609	0.750

0.81			0.026	0.052	0.078	0.104	0.131	0.157	0.184	0.212	0.240	0.268	0.298	0.329	0.361	0.395	0.432	0.473	0.521	0.581	0.724
0.82				0.026	0.052	0.078	0.105	0.131	0.158	0.186	0.214	0.242	0.272	0.303	0.335	0.369	0.406	0.447	0.495	0.555	0.698
0.83					0.026	0.052	0.079	0.105	0.132	0.160	0.188	0.216	0.246	0.277	0.309	0.343	0.380	0.421	0.469	0.529	0.672
0.84						0.026	0.053	0.079	0.106	0.134	0.162	0.190	0.220	0.251	0.283	0.317	0.354	0.395	0.443	0.503	0.646
0.85							0.027	0.053	0.080	0.108	0.136	0.164	0.194	0.225	0.257	0.291	0.328	0.369	0.417	0.477	0.620
0.86								0.026	0.053	0.081	0.109	0.137	0.167	0.198	0.230	0.264	0.301	0.342	0.390	0.450	0.593
0.87									0.027	0.055	0.083	0.111	0.141	0.173	0.204	0.238	0.275	0.316	0.364	0.424	0.567
0.88										0.028	0.056	0.084	0.114	0.145	0.177	0.211	0.248	0.289	0.337	0.397	0.540
0.89											0.028	0.056	0.086	0.117	0.149	0.183	0.220	0.261	0.309	0.369	0.512
0.90												0.028	0.058	0.089	0.121	0.155	0.192	0.233	0.281	0.341	0.484
0.91													0.030	0.061	0.093	0.127	0.164	0.205	0.253	0.313	0.456
0.92														0.031	0.063	0.097	0.134	0.175	0.223	0.283	0.426
0.93															0.032	0.066	0.103	0.144	0.192	0.252	0.395
0.94																0.034	0.071	0.112	0.160	0.221	0.363
0.95																	0.037	0.079	0.126	0.186	0.329
0.96																		0.041	0.089	0.149	0.292
0.97																			0.048	0.108	0.251
0.98																				0.060	0.203
0.99																					0.143

Fonte: WEG, 2009.

3.3.2.1 Setor: Corte/Forjaria 1

- Fator de Potência atual: 0,87;
- Fator de Potência desejado: 0,96;
- Potência Nominal: 584 kW.

Aplicando os valores de fator de potência atual e desejado no quadro 1 encontra-se valores encontra-se o valor de 0, 275 de fator multiplicador este valor sendo multiplicado pela potência ativa (kW) da instalação, para que se obtenha a correção de 0,87 para 0,96, como demonstrado abaixo.

Equação 2.34 - Equação para determinar banco de capacitores

$$Q_{\text{banco}} = \text{kW} \cdot \text{FM} \quad (2.34)$$

Onde:

Q_{banco} é a quantidade de carga reativa necessária no banco;

kW é a potência ativa da instalação;

FM é o fator Multiplicador encontrado no quadro 1.

Aplicando os valores encontrados na equação 2.34.

Equação 2. 35 - Banco de capacitores do setor corte/forjaria 1 em 380V

$$Q_{\text{banco}} = 584 \cdot 0, 275 \quad (2.35)$$

$$Q_{\text{banco}} = 160,6 \text{ kVAr}$$

O valor do banco de capacitor nominal dimensionado anteriormente, concebeu-se de forma que o seu funcionamento esteja em frequências fundamentais. Entretanto em sistemas elétricos industriais normalmente há a presença de harmônicos com valores anormais em relação aos fundamentais para o funcionamento correto do capacitor, prejudicando a vida útil do mesmo, com o acréscimo de valores de tensão, corrente, potência

introduzidos com este fenômeno. Assim, na etapa de projeto e dimensionamento dos bancos se torna inevitável considera estas influencias na rede, desse modo recalcula-se o banco de capacitores através da equação 2.36 a seguir:

Equação 2.36 - Banco de capacitores em tensão 380V com presenças de harmônicas

$$Q_{c1} = \omega \cdot c_f \cdot V_1^2 \quad (2.36)$$

Para determinar o banco de capacitores necessário em uma rede industrial com harmônicas aplica-se a equação 2.37 anterior, logo abaixo:

Equação 2. 37 - Banco de capacitores em tensão 440V para suportar a presença de harmônicas

$$Q_{c2} = \omega \cdot c_f \cdot V_2^2 \quad (2.37)$$

Assim, substituindo a equação 2.36 na equação 2.37, obtemos a equação 2.38:

Equação 2. 38 - Determinação da potência nominal do banco de capacitores em 440V

$$\frac{Q_{c1}}{Q_{c2}} = \left(\frac{V_1}{V_2}\right)^2 \quad (2.38)$$

Aplicando a equação 2.38, no cálculo do banco de capacitores do setor:

Equação 2. 39 - Potência nominal do banco com células em 440V do setor

$$\begin{aligned} \frac{Q_{c1}}{Q_{c2}} = \left(\frac{V_1}{V_2}\right)^2 \rightarrow \frac{160,6}{Q_{c2}} = \left(\frac{380}{440}\right)^2 \rightarrow Q_{c2} = 160,6 \cdot \left(\frac{440}{380}\right)^2 \\ \rightarrow Q_{c2} = 215,31kvar \end{aligned} \quad (2.39)$$

O controle de acionamento das células capacitivas será realizado através de um controlador de fator de potência trifásico de 12 estágios, comutados via relés, a característica da escolha de saídas comutadas a relés do controlador foi a partir que o projeto utilizará contadores para acionamento das células capacitivas trifásicas. A potência nominal capacitiva em cada estágio estará disposta conforme a Tabela 35, sendo que está sendo adicionado 60 kVAr de reserva para caso haja ampliação das cargas do setor.

Tabela 35 – Estágios controlador F.P. Corte/Forjaria 1

Estágio	Potência nominal (kVAr)
1	1
2	2,5
3	5
4	10
5	15
6	20
7	25
8	30

9	30
10	40
11	40
12	60

Fonte: O autor, 2020.

3.3.2.2 Setor: Forjaria 2

- Fator de Potência atual: 0,87;
- Fator de Potência desejado: 0,96;
- Potência Nominal: 382,5 kW.

Aplicando os valores de fator de potência atual e desejado no quadro 1 encontra-se valores encontra-se o valor de 0,275 este valor sendo multiplicado pela potência ativa (kW) da instalação, para que se obtenha a correção de 0,87 para 0,96.

Aplicando os valores encontrados na equação 2.34.

Equação 2.40 - Banco de capacitores do setor forjaria 2 em 380V

$$Q_{\text{banco}} = 382,5 \cdot 0,275 \quad (2.40)$$

$$Q_{\text{banco}} = 105,18 \text{ kVAr}$$

O valor do banco de capacitor nominal dimensionado anteriormente, concebeu-se de forma que o seu funcionamento esteja em frequências fundamentais. Entretanto em sistemas elétricos industriais normalmente há a presença de harmônicos com valores anormais em relação aos fundamentais para o funcionamento correto do capacitor, prejudicando a vida útil do mesmo, com o acréscimo de valores de tensão, corrente, potência introduzidos com este fenômeno. Assim, na etapa de projeto e dimensionamento dos bancos se torna inevitável considera estas influencias na rede, desse modo recalcula-se o banco de capacitores através da equação 2.38 a seguir:

Aplicando a Equação 2.38, no cálculo do banco de capacitores do setor através da Equação 2.41.

Equação 2.41 - Potência nominal do banco com células em 440V do setor

$$\frac{Q_{c1}}{Q_{c2}} = \left(\frac{V_1}{V_2}\right)^2 \rightarrow \frac{105,18}{Q_{c2}} = \left(\frac{380}{440}\right)^2 \rightarrow Q_{c2} = 105,18 \cdot \left(\frac{440}{380}\right)^2 \quad (2.41)$$

$$\rightarrow Q_{c2} = 141,01 \text{ kvar}$$

O controle de acionamento das células capacitivas será realizado através de um controlador de fator de potência trifásico de 12 estágios, comutados via relés, a característica da escolha de saídas comutadas a relés do controlador foi a partir que o projeto utilizará contadores para acionamento das células capacitivas trifásicas. A potência nominal

capacitiva em cada estágio estará disposta conforme a Tabela 36, sendo que está sendo adicionado 50 kVAr de reserva para caso haja ampliação das cargas do setor.

Tabela 36 - Estágios controlador F.P. forjaria 2

Estágio	Potência Nominal (kVAr)
1	3
2	3
3	5
4	10
5	10
6	20
7	20
8	20
9	20
10	25
11	25
12	30

Fonte: O autor, 2020.

3.3.2.3 Setor: Solda

- Fator de Potência atual: 0,89;
- Fator de Potência desejado: 0,96;
- Potência Nominal: 305, 2 kW.

Aplicando os valores de fator de potência atual e desejado no quadro 1 encontra-se valores encontra-se o valor de 0, 220 este valor sendo multiplicado pela potência ativa (kW) da instalação, para que se obtenha a correção de 0,89 para 0,96.

Aplicando os valores encontrados na equação 2.34.

Equação 2.42 - Banco de capacitores do setor solda em 380V

$$Q_{\text{banco}} = 305,2 \cdot 0,220 \quad (2.42)$$

$$Q_{\text{banco}} = 67,14 \text{ kVAr}$$

O valor do banco de capacitor nominal dimensionado anteriormente, concebeu-se de forma que o seu funcionamento esteja em frequências fundamentais. Entretanto em sistemas elétricos industriais normalmente há a presença de harmônicos com valores anormais em relação aos fundamentais para o funcionamento correto do capacitor, prejudicando a vida útil do mesmo, com o acréscimo de valores de tensão, corrente, potência introduzidos com este fenômeno. Assim, na etapa de projeto e dimensionamento dos bancos se torna inevitável considera estas influencias na rede, desse modo recalcula-se o banco de capacitores através da equação 2.38, no cálculo do banco de capacitores do setor.

Equação 2. 43 - Banco de capacitores do setor solda em 440V

$$\frac{Q_{c1}}{Q_{c2}} = \left(\frac{V_1}{V_2}\right)^2 \rightarrow \frac{67,14}{Q_{c2}} = \left(\frac{380}{440}\right)^2 \rightarrow Q_{c2} = 67,14 \cdot \left(\frac{440}{380}\right)^2 \quad (2.43)$$

$$Q_{c2} = 90,01 \text{ kvar}$$

O controle de acionamento das células capacitivas será realizado através de um controlador de fator de potência trifásico de 6 estágios, comutados via relés, a característica da escolha de saídas comutadas a relés do controlador foi a partir que o projeto utilizará contadores para acionamento das células capacitivas trifásicas. A potência nominal capacitiva em cada estágio estará disposta conforme a tabela 37, sendo que está sendo adicionado 30 kVAr de reserva para caso haja ampliação das cargas do setor.

Tabela 37 - Estágios controlador F.P. solda

Estágio	Potência Nominal (kVAr)
1	5
2	10
3	15
4	20
5	30
6	40

Fonte: O autor, 2020.

3.3.2.4 Fornos

O dimensionamento do capacitor para correção de fator de potência dos transformadores empregados em cargas não indutivas e transformadores operando a vazio, como se torna o caso de fornos de indução onde se usa toda a potência nominal ou parcialmente do transformador se faz de modo a corrigir a energia reativa gerada pelas bobinas do mesmo. De acordo com o fabricante do transformador aplicados neste trabalho, a potência nominal do capacitor para a correção do núcleo, segue abaixo na tabela 38 a seguir:

Tabela 38 - Potência nominal de capacitores de acordo com o transformador

Classe (kV)	Potência Nominal (kVa)	Potência Nominal Capacitor (kVAr)
25	15	0,75
	30	1,25
	45	1,75
	75	2,5
	112,5	3,5
	150	4

225	5
300	7,5
500	7,5
750	10
1000	12,5
1500	15

Fonte: WEG, 2009.

3.3.2.5 Correção de Fator de Potência em transformadores a vazio

Sendo que as potências nominais dos transformadores já foram dimensionadas anteriormente, sendo encontrados na tabela 27, o capacitor aplicado na correção dos transformadores operando a vazio segue abaixo na tabela 39 abaixo:

Tabela 39 - Correção de F.P. do transformador a vazio para cada setor/equipamento

TAG	Potência Nominal transformador (kVa)	Potência Nominal Capacitor (kVAr)
FO-201	1000	12,5
FO-110	1000	12,5
FO-101	500	7,5
Corte/Forjaria	750	10
Forjaria 2	750	10
Solda	750	10

Fonte: O autor, 2020.

3.3.3 Dimensionamento dos Equipamentos

Para dimensionar os equipamentos de manobra e proteção é determinante conhecer a corrente nominal de cada capacitor. Desta forma, aplicando a Equação 2.44 abaixo demonstra a corrente nominal em cada capacitor do banco de cada setor.

Equação 2.44 - Corrente nominal da célula capacitiva

$$I_{cap} = \frac{Q_{cap} * 1000}{\sqrt{3} * V_{FF}} \quad (2.44)$$

Aplicando a equação 2.44 acima nas tabelas 40 a 42, obtêm-se as respectivas correntes de cada capacitor por setor, bem como a corrente nominal do banco:

3.3.3.1 Setor: Corte/Forjaria 1

As correntes nominais dos capacitores projetados para o setor de corte/forjaria 1 estão apresentados na Tabela 40.

Tabela 40 - Correntes nominais dos capacitores banco de F.P do corte/forjaria 1

Potência Nominal (kVAr)	Tensão Nominal (Vff)	In capacitor (A)
1	380	1,51

Tabela 40 -		Continuação
2,5	380	3,79
5	380	7,59
10	380	15,19
15	380	22,79
20	380	30,38
25	380	37,98
30	380	45,58
30	380	45,58
40	380	60,77
40	380	60,77
60	380	91,16
278,5	380	423,13

Fonte: O autor, 2020.

3.3.3.2 Setor: Forjaria 2

As correntes nominais dos capacitores projetados para o setor de forjaria 2 estão apresentados na Tabela 41.

Tabela 41 - Correntes nominais dos capacitores banco de F.P da forjaria 2

Potência Nominal (kVAr)	Tensão Nominal (Vff)	In capacitor (A)
3	380	4,55
3	380	4,55
5	380	7,59
10	380	15,19
10	380	15,19
20	380	30,38
20	380	30,38
20	380	30,38
20	380	30,38
25	380	37,98
25	380	37,98
30	380	45,58
191	380	290,19

Fonte: O autor, 2020.

3.3.3.3 Setor: Solda

As correntes nominais dos capacitores projetados para o setor de forjaria 2 estão apresentados na Tabela 42.

Tabela 42 - Correntes nominais dos capacitores do banco de F.P da solda

Potência Nominal (kVAr)	Tensão Nominal (Vff)	In capacitor (A)
Tabela 42 -		Continuação
5	380	7,59

10	380	15,19
15	380	22,79
20	380	30,38
30	380	45,58
40	380	60,77
120	380	182,32

Fonte: O autor, 2020.

3.3.4 Dimensionamento Proteção e Acionamento

Os equipamentos de manobra, controle e proteção, e as ligações devem ser projetados para que suportem permanentemente uma corrente igual ou superior a 1,3 vezes a corrente dada para a tensão senoidal eficaz, na frequência nominal.

O acionamento e proteção em cada célula capacitiva é efetuado de forma unitária, considerando isso o dimensionamento dos equipamentos responsáveis por tais funções de ser realizado levando em consideração a ocorrência de um pico de corrente na energização do capacitor que pode ser entre 1,65 a 1,80 para cada capacitor instalado junto ao banco nominal.

O condutor do circuito de alimentação do banco de capacitor deve ser capaz de suportar 1,35 vezes a corrente nominal do banco, devendo seguir os critérios de capacidade contidos na NBR5410.

Nesse contexto dimensionando com as informações apresentadas, as tabelas 43 a 45 abaixo apresentam as seguintes informações:

- Condutor Nominal;
- Corrente nominal do contator;
- Corrente Nominal da proteção.

Tabela 43 – Proteção e acionamento dos capacitores do setor Corte/Forjaria 1

Potência Nominal (kVAr)	Tensão Nominal (Vff)	In capacitor (A)	Corrente Nominal Contator (A)	Corrente Nominal Proteção (A)	Condutor Nominal (mm ²)	Condutor de Proteção (mm ²)
1	380	1,51	2,50	3	2,5	2,5
2,5	380	3,79	6,26	10	2,5	2,5
5	380	7,59	12,53	16	2,5	2,5
10	380	15,19	25,06	32	10	10
15	380	22,79	37,60	50	10	20
20	380	30,38	50,13	63	16	16

Tabela 43 Continuação

25	380	37,98	62,67	80	16	16
30	380	45,58	75, 20	100	25	25
30	380	45,58	75, 20	100	25	25
40	380	60,77	100, 27	125	35	25
40	380	60,77	100, 27	125	35	35
60	380	91,16	150,41	185	70	35
278,5	380	423,13	-----	500	2#150	1#95

Fonte: O autor, 2020.

Tabela 44 - Proteção e acionamento dos capacitores do setor forjaria 2

Potência Nominal (kVAr)	Tensão Nominal (Vff)	In capacitor (A)	Corrente Nominal Contator (A)	Corrente Nominal Proteção (A)	Condutor Nominal (mm ²)	Condutor de Proteção (mm ²)
3	380	4,55	7,52	10	2,5	2,5
3	380	4,55	7,52	10	2,5	2,5
5	380	7,59	12,53	16	2,5	2,5
10	380	15,19	25,06	32	10	10
10	380	15,19	25,06	32	10	10
20	380	30,38	50,13	63	16	16
20	380	30,38	50,13	63	16	16
20	380	30,38	50,13	63	16	16
20	380	30,38	50,13	63	16	16
25	380	37,98	62,67	80	25	25
25	380	37,98	62,67	80	25	25
30	380	45,58	75, 20	185	70	35
191	380	290,19	-----	320	1#185	95

Fonte: O autor, 2020.

Tabela 45 - Proteção e acionamento dos capacitores do setor solda

Potência Nominal (kVAr)	Tensão Nominal (Vff)	In capacitor (A)	Corrente Nominal Contator (A)	Corrente Nominal Proteção (A)	Condutor Nominal (mm ²)	Condutor de Proteção (mm ²)
5	380	7,596714	18	10	2,5	2,5
10	380	15,19343	25	20	2,5	2,5
15	380	22,79014	32	25	4	4
20	380	30,38686	32	32	10	10
30	380	45,58028	50	50	10	10
40	380	60,77371	80	63	16	16
120	380	182,3211	-----	200	1#95	50

Fonte: O autor, 2020.

3.4 Aterramento

No projeto de um sistema de aterramento é fundamental conhecer as características do solo onde será projetado o aterramento para que se possa obter um bom resultado final do sistema. Resultado este do aterramento que possa ser possível conectar as massas dos equipamentos junto a estruturas de apoio e proteção, sendo realmente prover um caminho seguro para a corrente de falha até a terra.

A NBR5410 determina que o valor de resistência de aterramento seja menor que 10Ω .

Neste trabalho será considerado este valor determinado pela norma para verificar se a malha de aterramento calculada atenderá.

3.4.1 Estratificação do Solo

Para dimensionar a malha de aterramento primeiramente é preciso realizar medições no local onde se deseja aplicar o aterramento utilizando método de Werner demonstrado na figura 22 deste trabalho.

O manual da concessionária de energia CELESC I-313.0007 indica que sejam realizadas pelos menos cinco medições em diferentes pontos do local. Considerando essa recomendação realizou-se medições de resistência do solo no local, podendo assim gerar a Tabela 46.

Tabela 46 - Valores de resistência do solo

Espaçamento	A	B	C	D	E	Valor médio
2	14	17	14	24	11	16
4	13	10	11	8	9	11
8	7	10	6	8	9	8
16	6	5	4	5	8	6

Fonte: O autor, 2020.

O respectivo manual citado acima ainda admite um valor de desvio de 50% nas medições relacionados a média aritmética dos valores encontrados para cada distância. Assim a Tabela 47 apresenta os valores de desvio.

Tabela 47 – Desvios de valores medidos de resistência de aterramento

Espaçamento	A	B	C	D	E
2	12,91	5,76	12,91	49,3	31,57
4	27,13	2,21	7,57	21,77	11,99

Tabela 47 - Continuação

8	16,69	24,73	25,16	0,22	12,26
16	7,14	10,72	28,58	10,72	42,85

Fonte: O autor, 2020.

Encontrados os valores podemos determinar os valores de resistividade com a aplicação da equação 2.24. Os resultados encontram-se na Tabela 48.

Tabela 48 - Valores de resistividade do solo $\Omega.m$

Espaçamento	A	B	C	D	E	Valor médio
2	176	214	176	301	138	201
4	326	251	276	202	226	257
8	352	503	302	402	453	403
16	603	503	402	503	804	563

Fonte: O autor, 2020.

3.4.2 Dimensionamento da Malha.

A NBR 15.751 determina no item 6.1 que o condutor mínimo para uma malha de aterramento, considerando os esforços mecânicos e eletromagnéticos ao qual o condutor poderá ser exposto, jamais poderá ter sua seção menor que 50mm² de cobre.

A geometria inicial da malha de aterramento será me forma retangular de 20x15m.

3.4.2.1 Setor: Corte/Forjaria 1

As respectivas dimensões do galpão encontram-se na tabela 13 deste trabalho.

3.4.2.2 Resistência do condutor aplicado na malha

A resistência do condutor pode ser definida através da equação 2.45.

Equação 2.45 - Resistência do condutor aplicado na malha

$$R_c = \frac{R_{condutor}}{C_{condutor}} * 1000 \quad (2.45)$$

Onde:

- R_c é a resistência do condutor aplicado na malha;
- $R_{condutor}$ é a resistência total do condutor aplicado, em Ω/km conforme cada fabricante;
- $C_{condutor}$ é o comprimento do condutor em metros.
- 1000 é o valor de 1km em metros.

Substituindo valores na equação 2.45 acima determina-se:

Equação 2.46 - Valor calculado de resistência do condutor

$$R_c = \frac{0,464}{225} * 1000 \quad (2.46)$$

$$R_c = 0,104\Omega$$

3.4.2.3 Resistência de aterramento de um condutor enterrado na horizontal

A resistência de aterramento do condutor na horizontal pode ser definida através da Equação 2.47.

Equação 2.47 - Resistência de aterramento de um condutor enterrado na horizontal

$$R_{ch} = \frac{\rho}{2 \cdot \pi \cdot L} * \left(\ln \frac{4 \cdot L}{D} + \ln \frac{2 \cdot L}{h} - 2 \right) \quad (2.47)$$

Onde:

- R_{ch} é o valor de resistência do condutor enterrado na horizontal;
- ρ é a resistividade do solo;
- L é o tamanho dos cabos em metros;
- D é o diâmetro do cabo;
- h é a profundidade do condutor enterrado no solo;

A NBR15.751 recomenda uma profundidade da malha enterrado entre 0,25m a 2,5m para cálculo preliminar.

Substituindo os valores na equação 2.48.

Equação 2.48 – Valor calculado de resistência de um condutor enterrado na horizontal

$$R_{ch} = \frac{201}{2 \cdot \pi \cdot 225} * \left(\ln \frac{4 \cdot 225}{0,01} + \ln \frac{2 \cdot 225}{0,5} - 2 \right) \quad (2.48)$$

$$R_{ch} = 2,34\Omega$$

3.4.2.4 Resistência de Paralelismo de condutores horizontais enterrados

A resistência de paralelismo do condutor na horizontal enterrado pode ser definida através da Equação 2.49.

Equação 2.49- Valor da resistência dos condutores em paralelismo

$$R_a = \frac{\rho}{\pi \cdot L} \cdot \left(\ln \frac{2 \cdot L}{\sqrt{D \cdot h}} + K1 * \frac{L}{\sqrt{A}} - K2 \right) \quad (2.49)$$

Equação 2.50 - Determina o valor de K1

$$K1 = 1,4125 - 0,0425y \quad (2.50)$$

Onde:

- y é a divisão do comprimento da malha pela largura;

Equação 2.51 - Determinar o valor de K2

$$K2 = 5,49 - 0,1443y \quad (2.51)$$

Onde:

- Ra é a resistência de paralelismo dos condutores;
- ρ é a resistividade do solo;
- L é o tamanho dos cabos em metros;
- D é o diâmetro do cabo;
- h é a profundidade do condutor enterrado no solo;
- A área da malha em m².

Substituindo os valores na Equação 2.49.

Equação 2.49 – Valor da resistência dos condutores em paralelismo

$$Ra = \frac{201}{\pi \cdot 225} \cdot \left(\ln \frac{2.225}{\sqrt{0,01.0,5}} + 0,9725 * \frac{225}{\sqrt{900}} - 4,9128 \right)$$

$$Ra = 4,31\Omega$$

3.4.2.5 Resistência das hastes em alinhamento reto

A resistência das hastes em alinhamento reto pode ser definida através da Equação 2.52, abaixo:

Equação 2.52 – Valor de resistência das hastes em alinhamento reto

$$Rh = \frac{\rho}{2 \cdot \pi \cdot N \cdot L} \cdot \left(\ln \left(\frac{8 \cdot L}{D} - 1 + \frac{2 \cdot L}{S} \cdot \ln(0,656 \cdot N) \right) \right) \quad (2.52)$$

Onde:

- ρ é a resistividade do solo;
- N é o número de hastes;
- L é o tamanho dos cabos em metros;
- D é o diâmetro da haste;
- S espaçamento entre as hastes.

Substituindo os valores na Equação 2.52, encontra-se o valor de resistência das hastes em alinhamento.

$$Rh = \frac{201}{2 \cdot \pi \cdot 10 \cdot 225} \cdot \left(\ln \left(\frac{8 \cdot 225}{0,019} - 1 + \frac{2 \cdot 225}{15} \cdot \ln(0,656 \cdot 10) \right) \right)$$

$$Rh = 8,73\Omega$$

3.4.2.6 Resistencia Mutua da malha e hastes

A resistência mutua da malha e hastes pode ser definida através da Equação 2.53.

Equação 2.53 - Resistência mutua e hastes

$$Rm = \frac{\rho}{\pi \cdot L} \cdot \left(\ln \frac{2 \cdot L}{Lh} + K1 \frac{L}{\sqrt{A}} - K2 + 1 \right) \quad (2.53)$$

Onde:

- ρ é a resistividade do solo;
- L é o tamanho dos cabos em metros;
- Lh é o comprimento da haste em metros;
- A é o tamanho da área em metros quadrados;
- K1 é encontrado através da Equação 2.50;
- K2 é encontrado através da Equação 2.51.

Substituindo os valores na Equação 2.53, encontra-se o valor de resistência mutua da malha e hastes.

$$Rm = \frac{201}{\pi \cdot 225} \cdot \left(\ln \frac{2 \cdot 225}{2,4} + 0,9725 \frac{225}{\sqrt{900}} - 4,9128 + 1 \right)$$

$$Rm = 2,48\Omega$$

3.4.2.7 Resistencia total da malha de aterramento

A resistência total da malha pode ser obtida através da equação 2.54.

Equação 2.54- Resistência total da malha

$$Rt = \frac{Ra \cdot Rh - Rm^2}{Ra + Rh - Rm^2} \quad (2.54)$$

Onde:

- Rm é a resistência mutua da malha e hastes;
- Rh é a resistência das hastes em alinhamento reto;
- Ra é a resistência de paralelismo de condutores horizontais enterrados.

Substituindo os valores das equações 2.49, 2.52 e 2.53 encontra-se o valor de resistência total da malha de aterramento.

E Valor definido da resistência da malha

$$Rt = \frac{4,31 \cdot 8,73 - (2,48)^2}{4,31 + 8,73 - (2,48)^2}$$

$$Rt = 4,56\Omega$$

A partir do valor de resistência total da malha de aterramento calculado através de Equação 2.54, pode-se verificar que a malha de aterramento inicial definida atende a exigência da NBR5410 que é de valor nominal de resistência de aterramento da malha menor que 10 Ω .

A mesma metodologia exemplifica nos itens anteriores foram aplicados para verificar o valor de resistência da malha de aterramento aplicadas nos outros dois galpões encontrando os valores abaixo:

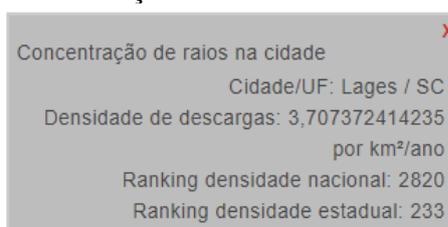
- Forjaria 2
 - $R_t = 7,73\Omega$
- Solda
 - $R_t = 3,59\Omega$

3.5 SISTEMA DE PROTEÇÃO CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICA

Para verificar se há necessidade de instalação de SPDA, é necessário calcular o Risco Total RT para cada edificação. No caso, é necessário calcular os componentes de risco RA e RB, que são determinados da seguinte forma:

Definição da densidade de descargas atmosféricas (N_g): através do Grupo de Eletricidade Atmosférica do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (ELAT/INPE), obtém-se para a cidade de Lages, o valor de 3,7 conforme mostra a Figura 60.

Figura 59 - Concentração de Raio na cidade de Lages



Fonte: ELAT/INPE, 2020.

• Definição de valores, de parâmetros e cálculo de risco para cada edificação:

- Setor: Forjaria
 - ✓ Medidas da estrutura: $L = 60$ m; $W = 15$ m e $H = 8$ m (constantes da Tabela 14, onde: L é o comprimento da estrutura; W é a largura da estrutura; H é a altura estrutura;
 - ✓ Área de exposição equivalente de uma estrutura isolada (equação A.2 da Norma NBR 5419 parte 2):

$$\begin{aligned} \text{Equação 2.55 – Área de exposição da estrutura} \\ AD &= (60 \times 15 + 2(3 \times 8) \times (60 + 15) + \pi(3 \times 8)^2) \\ AD &= 6309,55m^2. \end{aligned} \quad (2.55)$$

✓ Fator de localização da estrutura encontrado na tabela A.1 da NBR5419-2, para estrutura cercada por objetos da mesma altura ou mais baixos: $CD = 0,5$.

✓ Número de eventos perigosos para a estrutura (equação A.4 da Norma NBR 5419 parte 2):

$$\text{Equação 2.56 – Número de eventos perigosos a estrutura}$$

$$ND = 3,7 \times 6309,55 \times 0,5 \times 10^{-6} = 0,001167 \quad (2.56)$$

- ✓ Fator de redução em função do tipo da superfície do solo ou piso (Tabela C.3 da Norma NBR 5419 parte 2): $R_t = 10^{-2}$ (concreto);
- ✓ Valor típico de perda para danos D1 (ferimentos) (Tabela C.2 da Norma NBR 5419 parte 2): $LT = 10^{-2}$ (todos os tipos);
- ✓ Número de usuários servidos pela zona: $n_z = 5$;
- ✓ Número de usuários total: $n_t = 5$;
- ✓ Horas por ano de presença de pessoas na zona: $t_z = 5840$;
- ✓ Perda relacionada aos ferimentos a seres vivos por choque elétrico (descargas atmosféricas à estrutura) (equação C.1 da Norma NBR 5419 parte 2):

Equação 2.57 – Perda relacionada aos ferimentos a seres vivos por choque elétrico

$$LA = \frac{10^{-2} \times 10^{-2} \times 5}{5 \times 5840} \quad (2.57)$$

$$LA = 1,95 \cdot 10^{-12}$$

- ✓ Fator redutor de perda devido às precauções contra incêndio (Tabela C.4 da Norma NBR 5419 parte 2): $r_p = 1$ (nenhuma providência);
- ✓ Perda em uma estrutura relacionada a danos físicos (descargas atmosféricas à estrutura) (equação C.3 da Norma NBR 5419 parte 2):

Equação 2.58 – Perda em estrutura relacionada a danos físicos

$$LB = \frac{1 \times 10^{-2} \times 10^{-2} \times 5}{5 \times 5840}$$

$$LB = 1,95 \cdot 10^{-12} \quad (2.58)$$

- ✓ Probabilidade de uma descarga atmosférica em uma estrutura causar choque a seres vivos devido a tensões de toque e de passo perigosas (Tabela B.1 da Norma NBR 5419 parte 2): $PTA = 1$
- ✓ Probabilidade de uma descarga atmosférica em uma estrutura causar danos físicos (Tabela B.2 da Norma NBR 5419 parte 2): $PTB = 1$ (estrutura não protegida por SPDA)

- ✓ Probabilidade de ferimentos de seres vivos por choque elétrico (descargas atmosféricas à estrutura) (Equação B.1 da Norma NBR 5419 parte 2):

Equação 2.59 – Probabilidade de ferimentos a seres vivos

$$PA = PTA \times PTB \quad (2.59)$$

$$PA = 1 \times 1$$

$$PA = 1$$

✓ Componente de risco (ferimentos a seres vivos – descarga atmosférica na estrutura) (Equação 6 da Norma NBR 5419 parte 2):

Equação 2.60 – Componente relacionado a ferimentos a seres vivos por choque elétrico

$$RA = ND \times PA \times LA \quad (2.60)$$

$$RA = 0,001167 \times 1 \times 1,95 \cdot 10^{-12}$$

$$RA = 2,27565 \cdot 10^{-15}$$

✓ Componente de risco (danos físicos na estrutura – descarga atmosférica na estrutura) (Equação 7 da Norma NBR 5419 parte 2):

Equação 2.61- Componente relacionado a danos físicos

$$RB = ND \times PB \times LB \quad (2.61)$$

$$RB = 0,001167 \times 1 \times 1,95 \cdot 10^{-12}$$

$$RB = 2,27565 \cdot 10^{-15}$$

✓ Risco Total (somatória de todos os componentes de risco):

Equação 2.62 – Risco Tolerável

$$RT = RA + RB \quad (2.62)$$

$$RT = 4,5513 \cdot 10^{-15}$$

✓ Risco Tolerável (Tabela 4 da Norma NBR 5419 parte 2):

$$RT = 10^{-3}$$

✓ Como Risco Total é inferior ao Risco Tolerável não há necessidade de instalação de SPDA.

4 CONCLUSÃO

No período de desenvolvimento deste trabalho, foi possível sanar algumas incertezas que ainda existiam em relação a projetos elétricos, e de maneira simples expor uma metodologia de passo a passo nos respectivos assuntos dentro deste âmbito, sendo que alguns obstáculos acabaram sendo importantes para a buscar a fonte de onde encontrar as respostas necessárias para esses apuros. Da mesma forma essas buscas realizadas ao longo do trabalho contribuíram em muito para a evolução na maneira de pensar e realizar as atividades.

Nos objetivos propostos inicialmente foram alcançados quase que totalmente com uma certa dificuldade em um assunto ou outro, mas de certa maneira esta era o foco inicial na escolha do tema. Com estas adversidades encontradas possibilitou agregar conhecimento em questões que em minha vida profissional se tornaram rotineiras após concluído o curso.

Ainda neste estudo possibilitou demonstrar que as instalações elétricas industriais de metalúrgicas principalmente as do setor de forjaria são as que mais concentram cargas com valores altos de potência instalada, sendo assim necessitam de qualidade juntamente com segurança em suas linhas elétricas, viabilizando assim um aumento em sua vida útil, bem como a redução de desperdícios oriundos de más instalações.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 15751: Sistemas de aterramento de subestações — Requisitos**. Rio de Janeiro. 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **Proteção De Estruturas Contra Descargas Atmosféricas – NBR 5419-1**, Rio de Janeiro, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **Proteção De Estruturas Contra Descargas Atmosféricas – NBR 5419-2**, Rio de Janeiro, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **Proteção De Estruturas Contra Descargas Atmosféricas – NBR 5419-3**, Rio de Janeiro, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **Proteção De Estruturas Contra Descargas Atmosféricas – NBR 5419-4**, Rio de Janeiro, 2015.

BLOG ILUMINIM. **História das Lâmpadas: Entenda a sua Criação e Evolução**. 2018. Disponível em: <<https://blog.iluminim.com.br/historia-das-lampadas-entenda-a-sua-criacao-e-evolucao/>> acessado em 31/03/2020.

BONAFÉ', Gabriel; MOTOKI, Edison. **Revisão de instalações elétricas reduz consumo de energia**. Revista **AECWEB**, São Paulo, p. 1-1, 10 ago. 2010. Mensal. Disponível em: <https://www.aecweb.com.br/revista/materias/revisao-de-instalacoes-eletricas-reduz-consumo-de-energia/11252>. Acesso em: 12 maio 2020.

BRASIL – ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica **Resolução Normativa Nº 479**. 03 de abril de 2012 – Aneel

BRASIL – ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica. **Resolução Normativa Nº 414**. 09 de setembro de 2010.

BRASIL - Ministério do Trabalho. **NR 17 – Norma Regulamentadora 17, Ergonomia**. Diário Oficial da República do Brasil. Brasília, 1978.

CELESC. **Manual de procedimentos. Medição da resistividade do solo - i-313.0007**. Santa Catarina. 2003.

CELESC. **Tarifas e Taxas de Energia**. Disponível em: <1>. Acessado em 30/03/2020

COTRIM, A. A. M. B. **Instalações elétricas**. 5 ed. São Paulo: Pearson Education do Brasil, 2008. 496 p.

CREDER, Hélio. **Instalações Elétricas**. Rio de Janeiro: Editora LTC, 16. ed. 2016.

FISCHER, L. **A História da Iluminação**. Disponível em: < <http://lionel-fischer.blogspot.com/2009/06/historia-da-iluminacao.html>>. Acesso em 25/03/20

FLEURY, N. B.; GUEDES, L. G. de R. **Aplicações de Aterramento e Proteção de Sistemas**. Goiânia: London7, 2015. 250 p.

GHISI, E. **Desenvolvimento de uma Metodologia para Retrofit em Sistemas de Iluminação**. 1997. 245 f. Monografia (Especialização) - Curso de Engenharia Civil, Pós-

Graduação, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1997. Cap. 3. Disponível em: http://www.labee.ufsc.br/sites/default/files/publicacoes/dissertacoes/DISSERTACAO_E_nedir_Ghisi.pdf. Acesso em: 15 abr. 2020.

HDA. **Iluminação LED**. Disponível em: <<https://www.hda.ind.br/produtos>>. Acessado em: 15/05/2020

INPE, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **Infográfico – Mortes por ano**. [<Http://www.inpe.br/webelat/homepage/menu/infor/infografico.-.mortes.por.raios.php>]. Acessado em 24/05/2020

ISONI, M. **Arranjos de Sistemas de Distribuição Elétrica para Instalações de Médio e Grande Porte**. Engenpar Engenharia Ltda., 2015.

KAWASAKI, J. I. **Métodos de cálculo Luminotécnico: método ponto a ponto. Método ponto a ponto**. O Setor Elétrico, São Paulo, p. 36-42, 10 mar. 2012. Mensal. Acessado em 16/04/2020.

LABORATÓRIO DE ILUMINAÇÃO. **LED - o que é, e como funciona**. 2012, disponível em: <https://hosting.iar.unicamp.br/lab/luz/dicasemail/led/dica36.htm> Acesso em: 09/04/2020

MAMEDE, J. F. **Instalações Elétricas Industriais**. Rio de Janeiro: Editora LTC, 9ª ed., 2017.

Markus, M. **Circuitos Elétricos Corrente Contínua e Corrente Alternada**. 9º ed. São Paulo, 2004.

Novicki, J. M.; Martinez. **LED Para Iluminação Pública** – Universidade Federal do Paraná – Curitiba, 2008.

OSRAM. **Manual Luminotécnico Prático**. São Paulo: Osram, 2000. 28 p.

SIEMENS (org.). **Conceitos e definições para correção do fator de potência através de carga capacitiva**. São Paulo: Siemens, 2002. 19 p.

WEG – **Guia de Especificações de Motores Elétricos**. Jaraguá do Sul, 2020

WEG AUTOMAÇÃO S.A. **Manual para Correção de fator de Potência**. Jaraguá do Sul (SC): Weg, 2009.

ANEXO I

LED HDA
002 MPILUMINAÇÃO
GERAL

A família **HDA 002** é composta por produtos com corpo em alumínio, que em conjunto com um amplo mix de potências e lentes, atende às mais diversas aplicações, com eficiência elevada e vida útil prolongada, proporcionando economia e durabilidade.

-  **Quadras poliesportivas**
-  **Aerportos**
-  **Fachadas**
-  **Igrejas**
-  **Portos**

 Fabricado no Brasil

 Eficiência nominal de 170 lm/W

 Fácil instalação

 Vida útil de 92.000 horas à L70

 Índice de proteção IP 66

 GTMO: Exclusivo sistema de Gerenciamento Térmico Garante maior eficiência e proteção ao equipamento

 Projetos personalizados com mix de lentes e potências, visando maior eficiência energética e conforto visual



 @hdailluminacaoled

 hda@hda.ind.br

 /hdailluminacaoled

 54 3298 2100

 www.hda.ind.br

 Rua Padre Amador, 425, Centro
Nova Petrópolis | RS

A ILUMINAÇÃO CERTA
PARA O SEU NEGÓCIO.

HDA
ILUMINAÇÃO LED

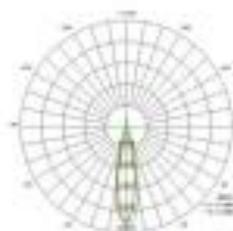
LED HDA 002 MP

HDA
ILUMINAÇÃO LED

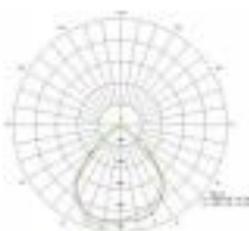
Potência (W)	40	50	80	100	120	150	160	200	240	300	320	400
Fluxo Luminoso (Φ_v)=25°C (lm)	4.550	8.500	12.100	17.000	19.650	25.500	26.200	34.000	39.300	51.000	52.400	68.000
Fluxo Luminoso Eficaz (lm)*	5.520	4.500	11.040	13.000	16.560	19.500	22.080	26.000	33.120	39.000	44.160	52.000
Dimensões (CxLxA) mm	85x240x180		190x240x180		270x325x250		360x325x250		270x665x250		360x665x250	
Peso (Kg)	1,8		2,8		4,2		5,0		9,8		11,5	
Temperatura de Cor	5.000K (branca) e 5.700K (branco frio)											
Temperatura de Operação	- 40°C a 55°C											
IRC	> 70											
Tensão de Entrada	120 a 277 Vac											
Fator de Potência	> 0,95											
Proteção Contra Surto	ANSI C62.41 Categoria B 6kV											
Frequência	50-60 Hz											
harmônica (THD)	< 10%											
Resistência Mecânica	IK 08 (corpo) e IK 05 (bloco óptico)											
Suporte	Alça 90° - furação 9mm											
Diminuição	10 a 100% (opcional)											
Composição	Em alumínio e inox com acabamento em pó eletrolítico, protegendo o produto de oxidação em ambientes hostis											
Garantia	5 anos											
Sistema DALI	OPCIONAL											

Obs.: 1. Valores com tolerância \pm 10% em temperatura ambiente de 25°C. 2. Valores à 220 Vac. 3. As informações podem sofrer alterações visando melhorias nos produtos, sem aviso prévio.

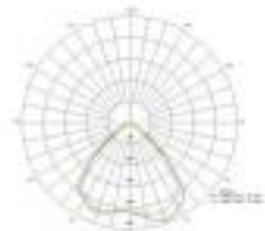
Fotometria disponível:



High-Bay 30 MP

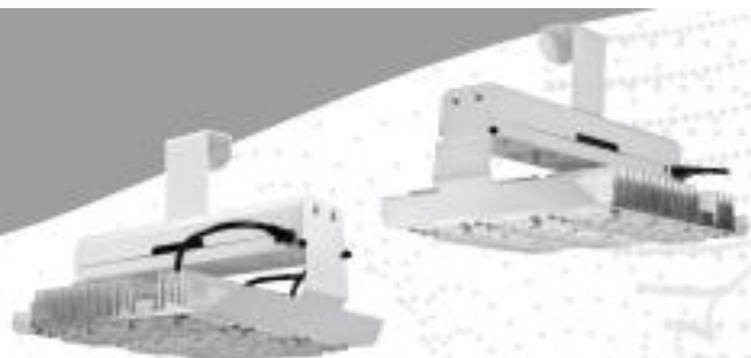


High-Bay 60 MP



High-Bay 90 MP

ANEXO II

LED HDA
003 MPILUMINAÇÃO
INDUSTRIAL

A família **HDA 003** é composta por produtos com corpo em alumínio, que em conjunto com um amplo mix de potências e lentes, atende as mais diversas aplicações, com eficiência elevada e vida útil prolongada, proporcionando economia e durabilidade, além de ser compatível com a Indústria 4.0.

Através do gerenciador térmico do bloco óptico e do protetor contra superaquecimento, o sistema proporciona segurança ao seu investimento e ambiente.



Centros de distribuição



Indústrias



Fabricado no Brasil



Eficiência nominal de 170 lm/W



Fácil instalação



Vida útil de 92.000 horas à L70



Índice de proteção IP 66



PCS: Proteção Contra Superaquecimento (opcional)

GTMO: Exclusivo sistema de Gerenciamento Térmico
Garante maior eficiência e proteção ao equipamento
 @hdailuminacaoled

 hda@hda.ind.br

 /hdailuminacaoled

 54 3298 2100

 www.hda.ind.br

 Rua Padre Amstad, 425, Centro
Nova Petrópolis | RS

A ELIMINAÇÃO CERTA
PARA O SEU NEGÓCIO.

HDA
ILUMINAÇÃO LED

LED HDA 003 MP

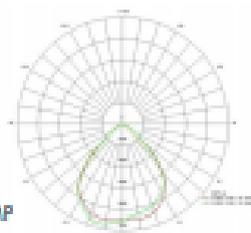
HDA
ILUMINAÇÃO LED

Potência (W)	40	50	80	100	120	150	160	200
Fluxo Luminoso @T _a =25°C (lm)	6.550	8.500	13.100	17.000	19.650	25.500	26.200	34.000
Fluxo Luminoso Efetivo (lm)*	5.520	6.500	11.040	13.000	16.560	19.500	22.080	26.000
Dimensões (CxLxA) mm	85x220x225		190x220x225		270x310x220		360x310x220	
Peso (Kg)	1,5		2,6		4,2		5,0	
Temperatura de Cor	5.000K (branca) e 5.700K (branco frio)							
Temperatura de Operação	- 40°C a 55°C							
IRC	> 70							
Tensão de Entrada	120 a 277 Vac							
Fator de Potência	> 0,95							
Proteção Contra Surto	ANSI C62.41 Categoria B 6kV							
Frequência	50-60 Hz							
Harmônica (THD)	< 10%							
Resistência Mecânica	IK 08 (carpa) e IK 05 (bloco óptico)							
Suporte	Gancho para perfilado 38x38 mm ou parafuso (furação 9mm)							
Dimerização	10 a 100% (opcional)							
Composição	Em alumínio e inox com acabamento em pó, protegendo o produto de oxidação em ambientes hostis.							
Garantia	5 anos							
Sistema DALI	OPCIONAL							

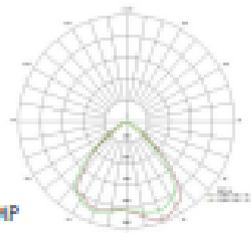
OBS: 1. Valores com tolerância \pm 10% em temperatura ambiente de 25°C 2. Valores à 220 Vac
3. As informações podem sofrer alterações visando melhorias nos produtos, sem aviso prévio

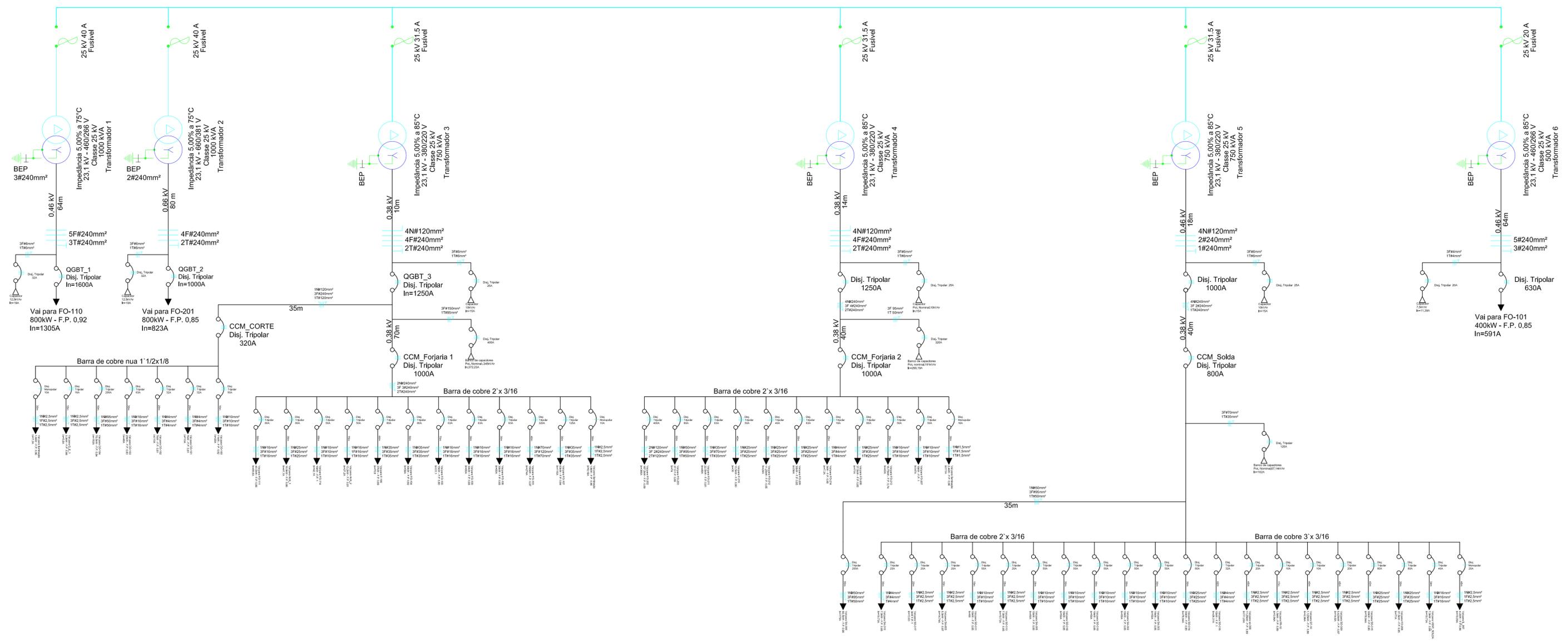
Fotometria disponível:

High-Bay 60 MP



High-Bay 90 MP





ELETROKVA ENGENHARIA

TÍTULO: Diagrama Unifilar Baixa Tensão	
RESPONSÁVEL TÉCNICO: Everson André Mix	
CLIENTE: Msc. Sílvio Moraes de Oliveira	
ASSUNTO: Trabalho de Conclusão de Curso	
REVISOR: Msc. Sílvio Moraes de Oliveira	DATA: 20/05/2020
FOLHA: 01 ESCALA: Sem Escala	