



Universidade Federal  
do Rio de Janeiro  

---

Escola Politécnica

## **ESTUDO E REDUÇÃO DE ENERGIA INCIDENTE POR ARCO ELÉTRICO EM UM SISTEMA INDUSTRIAL**

Blenda Macedo Moreira

Projeto de Graduação apresentado ao Curso de Engenharia Elétrica da Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Engenheiro Eletricista.

Orientador: Jorge Nemésio Sousa, M. Sc.

Rio de Janeiro  
Novembro de 2018

**ESTUDO E REDUÇÃO DE ENERGIA INCIDENTE POR  
ARCO ELÉTRICO EM UM SISTEMA INDUSTRIAL**

Blenda Macedo Moreira

PROJETO SUBMETIDO AO CORPO DOCENTE DO DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA DA ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE ENGENHEIRA ELETRICISTA.

Examinado por:

---

Prof. Jorge Nemésio Sousa, M. Sc.

---

Profa. Tatiana Mariano Lessa de Assis, D.Sc

---

Prof. Antonio Carlos Siqueira de Lima, D.Sc

RIO DE JANEIRO, RJ – BRASIL

NOVEMBRO DE 2018

Moreira, Blenda Macedo

Estudo e redução de energia incidente por arco elétrico em um sistema industrial/ Blenda Macedo Moreira - Rio de Janeiro: UFRJ/ ESCOLA POLITÉCNICA, 2018.

70 f.

Orientador: Jorge Nemésio Sousa.

Trabalho de conclusão de curso (graduação) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola Politécnica, Bacharel em Engenharia Elétrica, 2018.

1. Arco elétrico. 2. Energia incidente. 3. Mitigação de riscos. 4. Proteção. 5. Sistemas industriais. I. Nemésio Sousa, Jorge, orient. II. Título.

**Resumo do Projeto de Graduação apresentado à Escola Politécnica da UFRJ como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Engenharia Eletricista.**

ESTUDO E REDUÇÃO DE ENERGIA INCIDENTE POR  
ARCO ELÉTRICO EM UM SISTEMA INDUSTRIAL

Blenda Macedo Moreira

Novembro de 2018

Orientador: Jorge Nemésio Sousa, M. Sc.

Departamento de Engenharia Elétrica.

Sistemas elétricos industriais são fontes de vários riscos para a segurança do trabalhador, entre eles, o de queimadura por energia incidente por arco elétrico, que é uma fonte de calor de alta intensidade.

O fenômeno do arco elétrico pode causar muitos danos à instalação industrial e também aos trabalhadores que, ocasionalmente, possam entrar em contato com a energia incidente liberada no momento da explosão do arco. Alguns fatores influenciam essa energia, e existem formas de reduzi-la e aumentar a segurança do operador ou mantenedor.

Esse projeto de graduação visa fazer um estudo do sistema elétrico de um *site* industrial de beneficiamento de milho localizada em Formosa-GO, analisando os equipamentos de proteção, barramentos, transformadores, motores e os demais componentes calculando as correntes de curto-circuito trifásicas para cada barramento, traduzindo essas correntes em correntes de arco para obter, em conjunto com informações sobre o tempo de atuação dos dispositivos de proteção, a energia incidente em cada painel elétrico.

Com a visão geral dos níveis de energia existentes no sistema, são feitas análises dos piores casos e são apresentadas proposições de soluções para redução dessas energias, através de alterações no sistema elétrico.

**Palavras-chave:** arco elétrico, energia incidente, mitigação de riscos, proteção, sistemas industriais.

**Summary of graduation project presented at UFRJ as part of the necessary requirements to get the degree as electrical Engineer**

ARC FLASH ENERGY HAZARD STUDY AND  
REDUCTION FOR AN INDUSTRIAL SITE

Blenda Macedo Moreira

November, 2018

Advisor: Jorge Nemésio Sousa, M. Sc.

Electrical Engineering Department

Industrial electrical systems are the source of some risks to worker safety, among them is the risk of burning by arc flash incident energy, which is a source of high intensity heat.

The phenomena of the arch flash may cause much damage to the industrial installation and to the workers who can occasionally be in contact with the incident energy released now of the arc explosion. Some factors influence such energy, and there are ways to reduce it and increase operator safety.

This graduation project aims to make a study of the electrical system of an industrial site that belongs to the company DuPont Pioneer Division, located in Formosa-GO. By analyzing the protection equipment, buses, transformers, motors and other components, calculating the three-phase short circuit current for each bus, and translating these currents into arc currents to obtain, with the information about the protect devices operation time, the incident energy at each electrical panel is calculated.

With an overview of the energy levels in the system, some analysis of the worst cases are done and solutions to reduce energy, through changes in the electrical system, are presented.

**Key words:** arc flash hazard, incident energy, risk reduction, protection, industrial systems.

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus, por não deixar as coisas perderem sentido. Por me dar amparo e motivo para continuar, e por me abençoar em absolutamente todos os dias da minha vida.

Ao universo, por sempre me mostrar o quanto sou capaz. Por me colocar em situações desafiadoras que me fizeram confiar em mim mesma e adquirir capacidade de abrir portas. E por me retornar tudo aquilo em que coloquei energia para conseguir.

Ao meu pai, Antonio, por ser minha base. Por ser amor, carinho. Por me ensinar sobre honestidade, dedicação, esforço e merecimento. Por me amar de tal forma que eu duvide que mereça, e por ter dedicado a vida ao meu desenvolvimento e educação.

À minha mãe, Dilma, por ter me dado força. Por não ter me deixado fraquejar, por me mostrar que a vida é boa, e por ter me feito uma mulher corajosa. Por cada dia em que me amou e pro resto da minha vida, que eu sei que é o quanto ainda vai me amar.

À minha irmã, Thaís, por ser minha alma gêmea. Por ser minha sorte, meu conforto, meu lar. Por sempre saber o que dizer, por sempre estar por perto e por me entender de forma profunda e completa.

Ao Tauã, por ser meu companheiro, meu parceiro, por ter caminhado lado a lado comigo nessa trajetória e me ensinado sobre otimismo, admiração e plena felicidade. Pela paciência e ajuda na construção deste e de tantos outros trabalhos. Por me enxergar da forma como eu me esforço para me ver todos os dias, por ter me acompanhado em dias difíceis, por não ter desistido.

Aos amigos que a UFRJ me deu e que tiveram importante e decisivo papel em algum momento dessa minha caminhada.

Por fim, a todo corpo docente do departamento de Engenharia Elétrica da UFRJ, a quem tenho enorme gratidão e admiração, e em especial ao meu orientador, Jorge Nemésio Sousa, primeiramente por ter sido um excelente Professor, e por ter me orientado com uma dedicação e atenção extraordinárias. Por ter vestido a camisa, entendido minha dor e me orientado, como um excelente Educador.

# SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	14
1.1.	APRESENTAÇÃO .....	14
1.2.	PROPOSTA.....	16
1.3.	MOTIVAÇÃO .....	16
1.4.	OBJETIVOS DO ESTUDO.....	17
1.4.1	<b>Objetivo Principal</b> .....	<b>17</b>
1.4.2	<b>Objetivos Secundários</b> .....	<b>17</b>
1.5.	RELEVÂNCIA - IMPORTÂNCIA DO ESTUDO .....	17
1.6	LIMITAÇÕES DO ESTUDO .....	20
1.7	ORGANIZAÇÃO - DESCRIÇÃO DO TRABALHO .....	21
1.8	METODOLOGIA DA PESQUISA .....	21
1.8.1	<b>Classificações de pesquisa</b> .....	<b>22</b>
1.9	CLASSIFICAÇÃO DA PRESENTE PESQUISA .....	24
<b>2</b>	<b>FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b> .....	<b>25</b>
2.1	O ARCO ELÉTRICO.....	26
2.1.1	<b>Determinação da Corrente de Arco</b> .....	<b>30</b>
2.1.2	<b>Determinação da Duração do Arco</b> .....	<b>31</b>
2.1.3	<b>Determinação da Energia Incidente</b> .....	<b>32</b>
2.1.4	<b>Determinação da Fronteira de Risco de Arco Elétrico</b> .....	<b>34</b>
2.2	CURTO-CIRCUITO EM UM SISTEMA ELÉTRICO.....	35
2.2.1	<b>Método - ANSI - American National Standards Institute</b> .....	<b>39</b>
2.2.2	<b>Método - IEC - International Electrotechnical Commission</b> .....	<b>40</b>
2.3	PROTEÇÃO DE SISTEMAS ELÉTRICOS.....	40
2.3.1	<b>Fusíveis</b> .....	<b>42</b>
2.3.2	<b>Relés e Disjuntores</b> .....	<b>42</b>
2.4	CORRENTE INRUSH .....	44
<b>3</b>	<b>DESENVOLVIMENTO DO PROJETO</b> .....	<b>46</b>
3.1	NORMAS TÉCNICAS .....	46
3.2	ESTUDO DE CASO .....	47
3.2.1	<b>Descrição do Sistema</b> .....	<b>47</b>
3.2.2	<b>Cenários</b> .....	<b>49</b>
3.2.3	<b>Levantamento de dados</b> .....	<b>51</b>
3.2.4	<b>Software PTW</b> .....	<b>52</b>
<b>4</b>	<b>ANÁLISE DOS RESULTADOS E MITIGAÇÃO DE RISCOS</b> .....	<b>65</b>

4.1	PAINÉIS DE BT: LV-GDSW-02 e LV-GDSW-02.2 .....	66
4.2	PAINÉIS DE BT: LV-GDSW-03.2 e LV-GDSW-03.3 .....	74
4.3	PAINÉIS DE BT: LV-GDSW-04.2 e LV-GDSW-04.3 .....	79
4.4	PAINEL DE BT LV-GDSW-QTA e QUADRO DE TRANSFERÊNCIA AUTOMÁTICA (QTA).....	82
<b>5</b>	<b>CONCLUSÕES</b> .....	<b>91</b>
5.1	CONCLUSÕES GERAIS .....	91
5.2	SUGESTÃO PARA TRABALHOS FUTUROS.....	92
	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	<b>93</b>
	<b>ANEXOS</b> .....	<b>97</b>
	<b>ANEXO A – RESULTADO DO ESTUDO DE ARCO ANTES DA ANÁLISE</b> .....	<b>97</b>
	<b>ANEXO B – RESULTADO DO ESTUDO DE ARCO DEPOIS DA ANÁLISE</b> .....	<b>105</b>
	<b>ANEXO C – DIAGRAMA UNIFILAR GERAL</b> .....	<b>113</b>
	ANEXO C1 – CABINE DE ENTRADA .....	113
	ANEXO C2 – SUBESTAÇÃO 01 .....	114
	ANEXO C3 – SUBESTAÇÃO 02 .....	115
	ANEXO C4 –SUBESTAÇÃO 03 .....	116
	ANEXO C5 –SUBESTAÇÃO 04 .....	117



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1- Relatório de Estatísticas de Acidentes do Setor Elétrico Brasileiro .....	15
Figura 1.2 - Taxas de acidentes entre as décadas de 1970 e 2010.....	19
Figura 2.1 - Linha do tempo referente à evolução no conhecimento do arco elétrico e métodos de gerenciamento de risco .....	25
Figura 2.2 - Transferência de energia em forma de calor da fonte para o objeto receptor a uma distância $r$ .....	29
Figura 2.3 - Sequências positiva, negativa e zero. Componentes simétricas .....	36
Figura 2.4 - Sistema exemplo para cálculo de corrente de curto-circuito trifásico. ..	37
Figura 2.5 - Diagrama de reatâncias .....	38
Figura 2.6 - Exemplo de seletividade .....	41
Figura 2.7 - Esquema de ligação de transformador de corrente, relé e disjuntor .....	43
Figura 2.8 - Diferentes tipos de curva de um relé de sobrecorrente .....	44
Figura 3.1 - Diagrama unifilar da cabine de entrada e subestações .....	49
Figura 3.2 - Unifilar do cenário 'SE-01 Sem Paralelismo'.....	50
Figura 3.3 - Inserindo um gerador conectado a um barramento no programa PTW da SKM. ....	53
Figura 3.4 - Editando componentes no projeto .....	54
Figura 3.5 - Configurações dos dispositivos.....	55
Figura 3.6 - Criação de novos cenários.....	56
Figura 3.7 - Diagrama unifilar - Cenário 'Gerador' .....	57
Figura 3.8 - Diagrama unifilar - Cenário 'SE-01 Sem Paralelismo'.....	58
Figura 3.9 - Executar o estudo de arco .....	59
Figura 3.10 - Configurações do estudo de arco .....	59
Figura 3.11 - Configurações de cenários para estudo de arco.....	61
Figura 3.12 - Especificação de norma utilizada.....	62
Figura 4.1 - Obtenção do valor da corrente de carga.....	67
Figura 4.2 - Conexões entre equipamentos e dispositivos de proteção na média tensão da Subestação 02.....	68
Figura 4.3 - Curvas de tempo x corrente.....	69
Figura 4.4 - Curvas de tempo x corrente ajustadas .....	70
Figura 4.5 - Primeira tentativa de ajuste da curva do fusível.....	71
Figura 4.6 - Alteração dos ajustes do relé.....	72
Figura 4.7 - Cubículo de média da subestação 03.....	75
Figura 4.8 - Curvas tempo x corrente para análise do painel LV-GDSW-03.2 .....	76
Figura 4.9 - Ajuste proposto para o relé R-SW-03 .....	77
Figura 4.10 - Novo ajuste do relé R-SW-03 .....	78
Figura 4.11 - Curvas tempo x corrente para análise do painel LV-GDSW-04.2 .....	80
Figura 4.12 - Ajuste proposto para o relé R-SW-04 .....	81
Figura 4.13 - Conexões entre equipamentos e dispositivos de proteção nos painéis LV-GDSW-QTA e QTA.....	83

Figura 4.14 - Curvas tempo x corrente dos disjuntores DJ:1.1-1000A e DJ:1.2-1000A .....	84
Figura 4.15 - Ajuste proposto para o disjuntor DJ:1.1-1000A.....	85
Figura 4.16 - Curva tempo x corrente com novos ajustes dos disjuntores DJ:1.1-1000A e DJ: 1.2-1000A.....	86
Figura 4.17 - Etiqueta de risco de arco e choque elétrico, a ser fixada nos painéis elétricos.....	89

## LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 - Classe dos equipamentos e distância típica entre barramentos .....	30
Tabela 2.2 - Classe dos equipamentos e distância de trabalho típica .....	32
Tabela 2.3 - Fatores de distância 'x' por tipo de equipamento .....	34
Tabela 3.1 - Painéis elétricos que apresentaram energia incidente elevada .....	64
Tabela 4.1 - Ajustes do relé R-SW-02 (Merlin Gerin Sepam S20. TC 40/5 A) antes e depois.....	73
Tabela 4.2 - Ajustes do relé R-SW-03 (Merlin Gerin Sepam S20. TC 40 / 5 A) antes e depois.....	78
Tabela 4.3 - Ajustes do relé R-SW-04 (Merlin Gerin Sepam S20. TC 40 / 5 A) antes e depois.....	81
Tabela 4.4 - Ajustes do Disjuntor DJ:1.1-1000A (Merlin Gerin Schneider) NW10H187	
Tabela 4.5 - Ajustes do Disjuntor DJ:1.2-1000A (Merlin Gerin Schneider) NW10H187	
Tabela 4.6 - Tabela corporativa usada para seleção de EPI.....	88

## **SIGLAS E ABREVIATURAS**

*ANSI- American National Standards Institute.* Organização que tem como objetivo facilitar a padronização dos trabalhos dos seus membros, garantindo a segurança e saúde dos consumidores e a proteção do meio ambiente.

*ATPV - Arc Thermal Performance Value*

BT - Baixa Tensão - compreende tensões abaixo de 1 kV

CAT - Comunicação de Acidente do Trabalho

CCM - Centro de Controle de Motores

CLT- Consolidação das Leis de Trabalho

COGE - Comitê de Gestão Empresarial, entidade cuja missão é prover conhecimento e soluções de gestão empresarial que agreguem valor à cultura técnica das organizações, priorizando o setor energético.

EPI - Equipamentos de Proteção Individual

EPR - Borracha Etileno Propileno, usada para fazer isolamento de cabos.

*IEC - International Electrotechnical Commission*, fundada em 1906, a IEC é a organização líder mundial para preparação e publicação de Normas Internacionais para todas as tecnologias elétricas, eletrônicas e relacionadas.

MT - Média tensão - compreende tensões entre 1 e 36,2 kV

MTE - Ministério do Trabalho e Emprego

*NFPA- National Fire Protection Association* (Associação Nacional de Proteção Contra Incêndios) é uma associação comercial dos Estados Unidos, que cria e mantém normas e códigos privados, com direitos autorais, para uso e adoção pelos governos locais

NR - Normas Reguladoras do MTE, relativas à segurança e medicina do trabalho, de observância obrigatória pelas empresas privadas e públicas e pelos órgãos públicos da administração direta e indireta, bem como pelos órgãos dos Poderes Legislativo e Judiciário, que possuam empregados regidos pela CLT.

NR-10 - Segurança em Instalações e Serviços em Eletricidade, norma que estabelece os requisitos e condições mínimas objetivando a implementação de medidas de controle e sistemas preventivos, de forma a garantir a segurança e a saúde dos trabalhadores que, direta ou indiretamente, interajam em instalações elétricas e serviços com eletricidade.

*OSHA - Occupational Safety and Health Administration* (Administração de Segurança e Saúde Ocupacional) agência americana cuja missão é impedir acidentes do trabalho, doenças ocupacionais e acidentes fatais através da emissão e aplicação de normas de segurança e saúde no trabalho.

PE - Polietileno, termoplástico (polímero artificial - plástico) que, a uma dada temperatura, apresenta alta viscosidade podendo ser conformado e moldado, muito usado para fazer isolamento de cabos elétricos.

PTW - *PowerTools for Windows* - software da empresa SKM

PVC - Sigla inglesa de *polyvinyl chloride* que em português significa policloreto de vinil, popularmente conhecido como PVC, um termoplástico usado para fazer isolamento de cabos elétricos.

SKM - *SKM Systems Analysis, Inc.*, empresa de software. O nome SKM vem dos três engenheiros fundadores: Harry Sieling, Gene Knight e Bud Mancier

TC- Transformador de corrente

TCC - *Time Current Curve*, curva de tempo e corrente.

XLPE - Polietileno reticulado, composto termofixo, é uma forma de polietileno com ligações cruzadas, que possui propriedades que o distinguem pela sua superioridade em comparação com o (PE).

# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1. APRESENTAÇÃO

Instalações industriais de baixa e média tensão estão sujeitas a falhas tais como curtos-circuitos em vários pontos do sistema: barramentos, alimentadores, entrada de alimentação e até mesmo na saída das cargas. Tais falhas provocam situações de risco para os equipamentos da instalação e também para trabalhadores que, ocasionalmente, podem estar no local no momento da falha e próximos dos equipamentos o suficiente para que sofram danos. O choque elétrico é um assunto amplamente estudado e discutido no ambiente industrial, e ele pode ser uma das implicações das falhas do sistema elétrico em questão. Entretanto, outra consequência que pode advir de situações anormais de operação é a ocorrência de arco elétrico.

Conforme QUEIROZ e SENGER (2012), o arco elétrico é definido como a passagem de corrente elétrica de forma significativa por um meio normalmente não condutivo (como por exemplo, o ar). Isso pode ocorrer quando há uma grande diferença de potencial elétrico entre dois pontos separados por um intervalo em um condutor (LEE, 1982). O fenômeno causa a liberação de grandes quantidades de energia em forma de calor intenso, podendo causar queimaduras e até levar uma pessoa que a ele seja exposta a óbito.

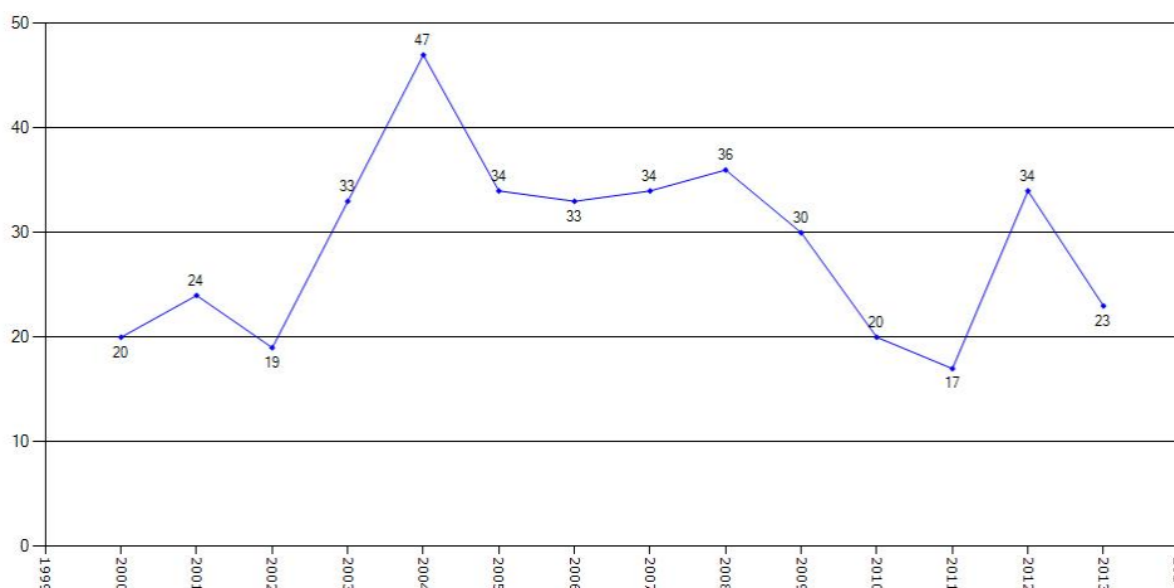
LEE publicou um artigo onde dissertou sobre o fenômeno do arco elétrico e propôs, pela primeira vez, uma modelagem matemática para o cálculo da energia incidente por arco elétrico. Segundo LEE, o arco elétrico pode atingir quatro vezes a temperatura da superfície solar. Queimaduras graves podem ocorrer a uma pessoa, mesmo que ela esteja a mais de 3 metros de distância do ponto de ocorrência desse tipo de arco.

Segundo a SHARP (2006), um acidente por queimaduras causadas por arco elétrico no trabalho pode ter muitas consequências, não apenas para o funcionário acidentado, mas também para a empresa, devido à influência na sua produtividade pós-acidente. Além da dor física experimentada pela vítima, ela ainda pode sofrer de ansiedade, depressão e outros sintomas psicológicos, dificultando seu retorno às atividades laborais e, conseqüentemente, afetando a produtividade da empresa.

Estudos realizados por FISCHER (2004) mostraram que 50% das vítimas em unidades de tratamento de queimaduras sofreram acidentes por arco elétrico e a cada cinco acidentados, um ou dois não sobrevivem.

Conforme a SHARP, no estado de Washington (WA) nos Estados Unidos, entre setembro de 2000 a dezembro de 2005, 350 trabalhadores sofreram queimaduras no trabalho. Desse total, 9% ocorreram por explosões de arco elétrico. Apenas associado a esse percentual (30 trabalhadores), foram gastos mais de US\$ 1,3 milhões.

A Fundação COGE - Fundação Comitê de Gestão Empresarial, divulga relatórios anuais com dados estatísticos de acidentes no setor elétrico brasileiro, o Relatório de Estatísticas de Acidentes no Setor Elétrico Brasileiro. Conforme RESENDE (2016), no relatório de 2013 da COGE, mostrado na Figura 1.1, foram apresentados números elevados de acidentes por ano envolvendo arco elétrico no Brasil, alcançando um máximo de 47 acidentes em 2004.



**Figura 1.1- Relatório de Estatísticas de Acidentes do Setor Elétrico Brasileiro**  
Fonte: COGE

De acordo com o DIEESE (2010), em 2008, ano em que houve 36 acidentes envolvendo arco elétrico, a Fundação COGE registrou, em seu Relatório de Estatísticas, um total de 75 acidentes fatais no setor elétrico.

Dessa forma, é perceptível a importância do estudo e análise de energia incidente por arco elétrico e das maneiras para sua redução, evitando potenciais acidentes que

geram queimaduras e podem ser fatais, conscientizando a sociedade para os riscos associados a esse fenômeno.

## 1.2. PROPOSTA

A proposta deste trabalho é apresentar o fenômeno do arco elétrico e suas causas, bem como um método de cálculo de energia incidente por arco elétrico, expor a influência que os sistemas de proteção industriais exercem sobre a energia incidente, fazer um estudo de caso, em que a análise de arco elétrico será feita para uma instalação industrial e, a partir dos resultados, propor modificações no sistema para a redução da energia incidente e mitigação de riscos.

## 1.3. MOTIVAÇÃO

Em vista dos muitos acidentes de trabalho causados por queimaduras que são consequência da exposição à energia liberada na formação de arco elétrico, em confronto com o pouco que as indústrias em geral se dedicam à análise e, conseqüentemente, reconhecimento de relevância da questão, muitas vezes se detendo a analisar outros acidentes envolvendo energia elétrica, como choque elétrico, foi notada a necessidade de estudar e expor os riscos decorrentes do fenômeno do arco elétrico.

A empresa responsável pela indústria que será analisada no estudo de caso do presente trabalho - DuPont - é uma empresa referência mundial em segurança e o trabalho no ambiente da companhia também incentivou um estudo que visa aumentar a segurança no trabalho em ambiente industrial.

O método pioneiro para o cálculo de energia incidente foi proposto por LEE (1982), considerado o 'padrinho do estudo de arco elétrico', conforme DeSHAW (2018).

O artigo de LEE se tornou a fundação para todos os estudos de arco elétrico. O seu objetivo, ao publicar este artigo, foi reduzir os acidentes relacionados ao arco elétrico, promovendo ambientes de trabalho mais seguros através da disseminação do conhecimento de tal fenômeno.



## 1.4. OBJETIVOS DO ESTUDO

### 1.4.1 Objetivo Principal

O objetivo principal desse estudo é fazer uma análise de energia incidente por arco elétrico em um *site* industrial e propor mudanças no seu sistema elétrico para mitigar os riscos de acidentes devidos à exposição a essa energia.

### 1.4.2 Objetivos Secundários

- Fazer uma apresentação do fenômeno do arco elétrico, citando causas e consequências.
- Apresentar um método de cálculo de energia incidente por arco elétrico.
- Apresentar a relação entre os sistemas de proteção e a energia incidente por arco elétrico.
- Analisar todos os possíveis cenários de operação do sistema, para que não haja nenhum caso, seja qual for o regime de operação, em que a energia incidente de algum painel elétrico, na ocorrência de arco, possua valor inseguro.
- Apresentar o curto-circuito e sua relação com a corrente de arco elétrico.
- Analisar o uso adequado de EPI - Equipamentos de Proteção Individual para as energias incidentes calculadas.

## 1.5. RELEVÂNCIA - IMPORTÂNCIA DO ESTUDO

O fenômeno do arco elétrico pode causar muitos danos à instalação industrial e também aos trabalhadores que ocasionalmente possam entrarem contato com a energia incidente liberada no momento da explosão do arco, podendo causar graves acidentes envolvendo queimaduras corporais e, possivelmente levando o indivíduo a óbito. Entretanto, além do risco citado e dos dados que mostram as ocorrências e suas consequências, apresentados na Seção 1.1, um fator que agrega relevância ao

presente estudo são as normas nacionais e internacionais que normatizam a segurança no ambiente de trabalho.

De acordo com RESENDE (2016), nos Estados Unidos, a *OSHA - Occupational Safety and Health Administration* é responsável por estabelecer as normas de segurança do país. As normas estabelecidas pela *OSHA* se aplicam a qualquer trabalhador que pode ser exposto a algum equipamento elétrico energizado. Segundo FUHR (2012), o não cumprimento aos requisitos estabelecidos pela *OSHA* pode levar a penalidades, multas e processos judiciais, sendo um grande inconveniente para o empregador.

Devido a uma solicitação da *OSHA*, a *NFPA - National Fire Protection Association*, desenvolveu padrões de segurança para ambientes de trabalho, criando a *NFPA 70E - Electrical Safety in the Workplace* (Padrão para Segurança Elétrica no Local de Trabalho), que é um documento que cobre os requisitos de segurança elétrica para os funcionários de uma empresa, aprovada pela *ANSI - American National Standards Institute*.

Segundo RESENDE, a *NFPA 70E*, é uma norma que auxilia a evitar acidentes e mortes devido a choque, eletrocussão, arco elétrico e explosão em decorrência de arco.

Nessa norma são abordadas algumas questões, como a avaliação dos riscos causados pelo arco elétrico e quando esta deve ser feita, a estimativa de probabilidade de ocorrência de acidentes por arco elétrico, adoção de medidas adicionais de proteção, limite de arco elétrico, análise de energia incidente, entre outras.

Existem muitas regulações americanas que se referem aos perigos decorrentes do fenômeno de arco elétrico, dentre as quais podem ser citadas a *NFPA 70E 2018-Standard for Electrical Safety in the Workplace* e as normas *OSHA*, parte 1910, subparte S (*electrical*).

Conforme RESENDE (2016), as NR - Normas Regulamentadoras do MTE - Ministério do Trabalho e Emprego, ainda não possuem parte referente especificamente aos riscos envolvendo a energia incidente por arco elétrico. A NR-10 trata sobre Segurança em Instalações e Serviços em Eletricidade e sofreu atualização em 2003 devido a pressões advindas de trabalhadores e da sociedade.

Segundo o MTE, o número de registros de acidentes de trabalho reduziu significativamente após a criação das Normas, reduzindo de 1,4 milhão para 600 mil acidentes nos dias atuais.

Conforme o MTE (2018), as normas têm sido fundamentais para proteger o trabalhador contra acidentes de trabalho e para preservar sua saúde. Em suas palavras:

“A atividade de normatização em Saúde e Segurança do Trabalho é uma das principais atribuições da Secretaria de Inspeção do Trabalho pela sua grande contribuição em manter o ambiente laboral saudável e seguro, colaborando inclusive para a redução dos gastos da previdência social”

A Figura 1.2 expressa a influência das Normas Regulamentadoras na taxa de acidentes de trabalho entre as décadas de 1970 e 2010.



Figura 1.2 - Taxas de acidentes entre as décadas de 1970 e 2010

Fonte: MTE

Pode-se perceber, portanto, que a tendência das NR é se ajustar às necessidades e demandas da sociedade como um todo. A NR-10, analogamente, tenderá a sofrer atualizações em conformidade com a identificação de riscos em instalações elétricas. Assim, estudos como este irão fornecer dados para que a população e, mais especificamente, os empregadores e empregados de ambientes de trabalho

industriais se tornem cientes dos riscos abordados, identificando assim a necessidade de regulamentação mais específica para o caso em questão, a exemplo de outros países. Com isso, as normas estarão provendo maior segurança nas instalações elétricas industriais.

## 1.6 LIMITAÇÕES DO ESTUDO

O desenvolvimento do estudo será feito a partir da norma IEEE 1584, que é um guia para a performance de estudos desse tipo. O *software* utilizado será o *PTW - PowerTools for Windows* da empresa *SKM Systems Analysis, Inc.* que tem sua modelagem baseada no guia em questão. Entretanto, os modelos que estão no guia são baseados em dados de energia incidente por arco elétrico em situações específicas de teste e trabalho teórico. As reais exposições ao arco elétrico devido às falhas testadas durante o estudo podem ser mais ou menos severas que os resultados apresentados.

O presente trabalho irá se limitar à análise do risco devido à exposição à energia incidente de arco elétrico, não se expandindo ao estudo dos outros riscos associados ao arco elétrico, como, por exemplo, a onda de pressão que é gerada quando o fenômeno ocorre. Os defeitos considerados no estudo serão trifásicos.

Conforme SKM, o *software* utilizado (PTW), possui algumas limitações em sua plataforma de estudo de arco elétrico.

- Dispositivos de proteção de falta para a terra não são incluídos no estudo.
- Para dispositivos de proteção multifunção, apenas a primeira função é levada em consideração para a determinação do tempo de atuação.
- Os dispositivos de interrupção são ajustados para a corrente de curto-circuito disponível, ou seja, não é levado em consideração nenhum dano nos equipamentos.

Os cálculos deste estudo levarão em consideração apenas a ocorrência de faltas trifásicas, devido a limitações no modelo para cálculo de energia incidente por arco elétrico utilizado, o proposto no guia IEEE 1584.

## 1.7 ORGANIZAÇÃO - DESCRIÇÃO DO TRABALHO

O trabalho será dividido em 5 Capítulos, cujos conteúdos se encontram descritos a seguir.

1. **Introdução:** neste Capítulo uma apresentação geral do trabalho é feita, assim como apresentação de proposta do trabalho, motivação, objetivos primários e secundários do trabalho, relevância do estudo, limitações e finalmente, a descrição e a organização dos Capítulos do TCC.

2. **Fundamentação teórica:** será feita uma revisão teórica dos conceitos envolvidos no trabalho, tais como: o fenômeno do arco elétrico, suas causas e efeitos, faltas trifásicas e conceitos de proteção de sistemas elétricos, como relés, curvas tempo x corrente, disjuntores, fusíveis etc.

3. **Desenvolvimento do projeto:** abordagem sobre as normas técnicas nacionais e internacionais aplicáveis ao projeto; descrição do estudo de caso, desde a coleta de dados em campo até a implementação no *software*. Este Capítulo gerará produtos para posterior análise.

4. **Análise de resultados e mitigação de riscos:** será realizada uma análise do estudo feito no Capítulo 4 e, a partir dos resultados, serão propostas mudanças no sistema elétrico em questão para que haja mitigação dos riscos.

5. **Conclusão:** os produtos do trabalho serão solidificados e resumidos, concluindo o estudo. Será apresentada a etiqueta com aviso de risco por arco elétrico, a ser colocada nos painéis.

Por fim, é apresentada a relação das referências bibliográficas utilizadas neste estudo e os anexos.

## 1.8 METODOLOGIA DA PESQUISA

Neste Capítulo será apresentada a metodologia de pesquisa usada para o desenvolvimento do estudo. Para isso, será apresentado o delineamento da presente pesquisa, seguido de um breve resumo sobre as classificações das pesquisas em geral e fechando com a definição do tipo de pesquisa aqui abordado.

Esse trabalho tem como objetivo a análise dos níveis de energia incidente por arco elétrico em painéis elétricos industriais. Dessa forma, previamente ao estudo, alguns conceitos demandaram pesquisa, tais como a definição de arco elétrico, o que influencia o valor da energia incidente, as normas aplicáveis, os riscos envolvidos e maneiras de evitá-los. Assim, uma revisão bibliográfica referente às classificações de pesquisa foi feita com esse objetivo.

### 1.8.1 Classificações de pesquisa

Pesquisa, segundo SILVA e MENEZES (2005) é procurar respostas para indagações propostas. Para GIL (1991), pesquisa é um projeto racional e sistemático com objetivo de proporcionar respostas aos problemas que são propostos, através da utilização cuidadosa de métodos, técnicas e outros procedimentos científicos até a satisfatória apresentação dos resultados.

Dessa forma, a Pesquisa pode ser classificada de algumas formas. Aqui serão expostas a maneira clássica de classificá-las, segundo SILVA E MENEZES.

Esse modo clássico classifica a pesquisa em quatro aspectos: do ponto de vista da sua **natureza**, da forma de **abordagem**, dos seus **objetivos** e do ponto de vista dos **procedimentos técnicos**. Nas Seções 1.8.1.1 a 1.8.1.4 cada uma dessas classificações será explicada.

#### 1.8.1.1 Classificação Quanto à Natureza da Pesquisa

Do ponto de vista da sua **natureza**, a pesquisa pode ser Básica ou Aplicada. A pesquisa Básica visa o avanço da ciência e envolve verdades universais, não focando na aplicação prática. A pesquisa Aplicada, por sua vez, é voltada à aplicação prática dos conhecimentos gerados.

#### 1.8.1.2 Classificação Quanto à Forma de Abordagem do Problema

Do ponto de vista da forma de abordagem, a pesquisa pode ser **Quantitativa** ou **Qualitativa**. A pesquisa Quantitativa traduz em números os dados para analisá-los. Considera que tudo pode ser quantificável. A pesquisa Qualitativa considera que

há um vínculo entre o mundo objetivo e a subjetividade do sujeito e por isso, algumas informações não podem ser analisadas através do uso de números. A interpretação dos fenômenos e a atribuição de resultados são básicas nesse tipo de pesquisa.

#### 1.8.1.3 Classificação Quanto aos Objetivos

Segundo GIL (2002), do ponto de vista dos objetivos da pesquisa, ela pode ser: **(1) Exploratória**, que tem como objetivo proporcionar uma maior familiaridade com o problema, torná-lo mais explícito ou construir hipóteses; **(2) Descritiva**, quando ela descreve as características de determinados fenômenos e estabelece relações entre variáveis, determinando a natureza dessas relações; ou **(3) Explicativa**, na qual o foco é identificar os fatores que determinam ou que contribuem para a ocorrência dos fenômenos, aprofundando o conhecimento da realidade ao explicar o porquê das coisas.

#### 1.8.1.4 Classificação Quanto aos Procedimentos Técnicos

Do ponto de vista dos procedimentos técnicos (GIL, 1991), a pesquisa pode ser classificada em:

- **Pesquisa Bibliográfica:** realizada a partir de material publicado, constituído por livros, artigos de periódicos e material disponibilizado na Internet.
- **Pesquisa Documental:** elaborada a partir de materiais que não receberam tratamento analítico.
- **Pesquisa Experimental:** realizada a partir da determinação de um objeto de estudo, seleção das variáveis que seriam capazes de influenciá-lo, definição das formas de controle e observação dos efeitos que as variáveis produzem no objeto de estudo.
- **Levantamento:** é quando a pesquisa envolve interação direta com as pessoas cujo comportamento se deseja conhecer.
- **Estudo de caso:** envolve estudo detalhado de um ou poucos objetos com o objetivo de obter seu amplo conhecimento.
- **Pesquisa *ex-post facto*:** o estudo é realizado após o acontecimento dos fatos.

- **Pesquisa-Ação:** possui estreita associação com uma ação coletiva. Os pesquisadores e participantes da pesquisa estão envolvidos de forma cooperativa.
- **Pesquisa Participante:** quando há interação entre pesquisadores e membros do fato investigado.

## 1.9 CLASSIFICAÇÃO DA PRESENTE PESQUISA

Uma vez expostas as classificações clássicas e mais usuais de pesquisa, pode-se definir qual linha de pesquisa será desenvolvida no presente trabalho.

A pesquisa será **Aplicada**, uma vez que visa a aplicação dos conhecimentos sobre fatores que impactam na energia incidente por arco elétrico na redução dessa energia em painéis elétricos industriais reais, e o estudo gerará etiquetas para serem coladas a esses painéis, indicando o valor da energia incidente e o EPI adequado.

Será **Quantitativa**, uma vez que utiliza números como parâmetros para definições de grau de risco e necessidades de correção.

Quanto à forma de abordagem, será **Descritiva**, já que envolve a descrição do fenômeno do arco elétrico busca estabelecer relações entre parâmetros que influenciam direta ou indiretamente a energia incidente.

Por fim, a pesquisa será **Experimental**, pois é definido o objeto de estudo, que é a energia incidente por arco elétrico, e suas variáveis de influência e as formas de controle e de observação dos efeitos que essas variáveis produzem no objeto.



## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

O estudo feito neste trabalho envolve alguns conceitos e teorias cuja compreensão do conteúdo é imprescindível para o desenvolvimento do projeto. As Seções desse Capítulo fazem a fundamentação teórica desses pontos. Além disso, o Capítulo apresenta a evolução de estudos e normatizações relacionados ao tema com o passar do tempo, assim como a situação atual dos mesmos, nacional e internacionalmente.

A Figura 2.1 mostra os marcos no processo de criação de normas sobre o assunto em questão, através da exposição da evolução no conhecimento sobre o arco elétrico.

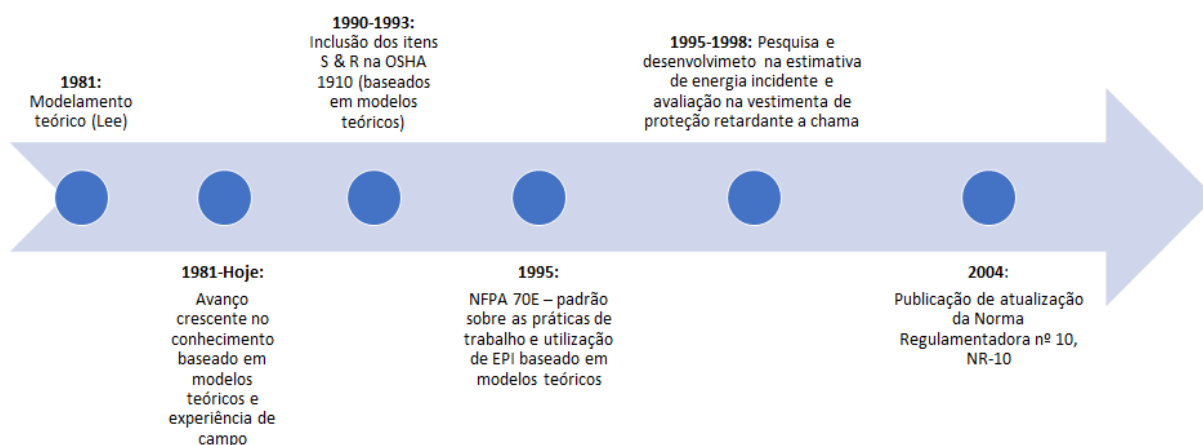


Figura 2.1 - Linha do tempo referente à evolução no conhecimento do arco elétrico e métodos de gerenciamento de risco

Fonte: adaptado de DOUGHTY, NEAL e FLOYD

Com a aprovação da lei *Occupational Safety and Health Act (OSH Act)*, que teve como intuito de garantir condições seguras e saudáveis para trabalhadores em 1970, o congresso americano criou a *OSHA - Occupational Safety and Health Administration*, que define e aplica padrões e fornece treinamento, extensão, educação e assistência para garantir segurança no trabalho.

Como mostrado na Figura 2.1, no início dos anos 1990 os itens que se referem às indústrias especiais (incluindo geração, transmissão e distribuição de energia

elétrica) e requisitos de segurança elétrica, foram incorporados à OSHA 1910, norma que estabelece os padrões de saúde e segurança ocupacional.

Ainda seguindo a linha do tempo, em 1995 foi criada a NFPA 70E, após solicitação da OSHA. Aprovada pela *ANSI - American National Standards Institute*, a norma NFPA 70E tem o propósito de prover uma área de trabalho segura e prática para os funcionários, em relação aos riscos decorrentes do uso da eletricidade.

Segundo RESENDE, essa norma ajuda empresas e trabalhadores a evitar acidentes e mortes devido a choque, eletrocussão, arco elétrico e explosão em decorrência de arco.

No Brasil, os documentos que regulamentam o capítulo da CLT - Consolidação das Leis de Trabalho e tratam das condições de saúde e segurança no trabalho são as Normas Regulamentadoras do MTE. Elas foram criadas em 08 de junho de 1978, data em que foram aprovadas 28 normas, hoje elas somam 36 Normas Regulamentadoras publicadas. As NR preveem medidas de preservação da saúde e segurança do trabalhador brasileiro. O Capítulo 3 deste trabalho discorrerá mais sobre as NR e como elas se relacionam com o tema apresentado.

## 2.1 O ARCO ELÉTRICO

Conforme MOGEL (2017), o arco elétrico é o resultado de uma falta ou curto-circuito que ocorre quando há um caminho de baixa impedância entre o condutor e a terra, ou entre duas fases de um sistema elétrico, permitindo a passagem de corrente por este caminho.

Segundo MARGOLIN (2017), ele ocorre quando a corrente elétrica, devido a condições de falta ou curto-circuito se torna descontrolada, de forma a vencer a propriedade dielétrica do ar, passando de um condutor para outro através do mesmo. Esse descontrole pode ser causado por alguns fatores. Um incidente muito comum que pode gerar um arco-elétrico é quando um trabalhador operando próximo a um equipamento energizado, deixa cair uma ferramenta condutora no seu invólucro. Essa ferramenta pode interromper o fluxo de corrente elétrica, causando um arco elétrico. A corrosão ou deterioração dos equipamentos também pode ser um agente para a ocorrência do fenômeno.

O ar, como sabemos, não é o meio condutor pelo qual a corrente passa a fluir quando o arco é gerado. Segundo LEE, ele passa pelo vapor gerado pelo material

existente no terminal do arco elétrico, que está sendo consumido. Ou seja, o descontrole de corrente faz o material gerar esse vapor no qual uma corrente será estabelecida. Por sua vez, a resistência desse novo caminho de corrente estabelecido, diminui à medida que a temperatura do arco aumenta, fazendo mais corrente passar por ali. Segundo MARGOLIN (2017a), essa corrente alimenta ainda mais o arco, que é extinguido quando alguma parte do sistema derrete, evapora, promove de alguma forma uma distância suficiente para parar o fluxo de corrente e interromper o arco, ou quando algum dispositivo de proteção do sistema opera, desenergizando o sistema e interrompendo a corrente do mesmo.

Num sistema trifásico, as forças magnéticas de atração e repulsão adicionam força à corrente que flui da fonte ao local onde o arco irá se iniciar: as pontas dos condutores que, posteriormente, serão consumidas pelo calor e gerarão vapor para criar o caminho por onde o arco passará. Na incidência da falta, a fase onde ela se dá, apresentará corrente fluindo em direção oposta às correntes que fluem nas outras fases, gerando as forças eletromagnéticas citadas. O comportamento da falta por arco elétrico nesse tipo de sistema é pouco previsível e muito irregular, dificultando o cálculo de alguns parâmetros envolvidos no fenômeno, como por exemplo a sua impedância. Conforme LANG e NEAL (2012), fatores como jatos de plasma, forças eletromagnéticas, extinção e reignição de arco contribuem para esse comportamento caótico. O arco elétrico é uma fonte de calor de alta intensidade. De acordo com LEE, a temperatura do metal em seus terminais pode atingir 19.000°C. Por sua vez, a parte do meio do arco, onde há a presença de plasma pode atingir 12.000°C. Para efeitos de comparação, na superfície do sol a temperatura é de aproximadamente 5.504°C.

Devido a esse calor intenso, a explosão de arco elétrico libera uma alta energia associada, que é chamada de energia incidente. Segundo a IEEE 1584 (2011), energia incidente é o montante de energia impressa em uma superfície, a uma definida distância da fonte, gerada durante um evento de arco elétrico. Essa energia é fundamental para medir a magnitude e relevância de um arco elétrico, e definir os riscos de arco associados a cada painel/barramento/quadro de um sistema elétrico. A determinação da roupa adequada para a proteção do trabalhador, em cada ponto do sistema elétrico com risco de arco, também é dada a partir da energia incidente calculada, que neste trabalho será expressa em cal/cm<sup>2</sup>.

O fenômeno do arco elétrico tem uma complexidade muito maior que a aqui apresentada. Nem toda a energia liberada por ele irá incidir sobre um corpo nas suas

proximidades. Entretanto, como o presente estudo é voltado para a segurança de pessoas e custos para a empresa, será considerada uma abordagem mais simplificada e conservativa, que assume que toda energia liberada incide sobre corpos ao redor do arco. A explicação fisicamente mais completa e real do fenômeno não influi sobre o objetivo principal do trabalho, que é alcançado levando em consideração o fenômeno como descrito neste Capítulo.

A metodologia aqui adotada para o cálculo da energia incidente é a sugerida por LEE. Segundo ele, a transferência de calor de um objeto quente para um objeto mais frio é função da diferença entre a exponencial quarta das temperaturas absolutas de cada corpo, conforme

$$h = C \times 3,68 (T_e^4 - T_a^4) \times 10^{-11} \quad (2.1)$$

Onde: h - Transferência de calor, em W/in<sup>2</sup>, C - Coeficiente de absorção da superfície receptora de calor, T<sub>e</sub> - Temperatura absoluta da superfície emissora de calor, em Kelvin, T<sub>a</sub> - Temperatura absoluta da superfície receptora, em Kelvin.

Essa relação, entretanto, é útil quando os dois corpos são extensos e estão relativamente próximos um do outro. Para o presente estudo, entretanto, é mais útil considerar os dois seguintes elementos:

1. O calor total emitido pela fonte.
2. A proporção desse calor absorvida por unidade de área do objeto receptor de calor. Isso é inversamente proporcional ao quadrado da distância de separação.

O calor gerado por uma fonte por unidade de área de superfície é dado pela equação (2.2).

$$h = 3,68 \times T^4 \times 10^{-11} \quad (2.2)$$

Onde T – Temperatura da superfície.

Para encontrar o calor recebido por um objeto, por unidade de área, é preciso conhecer:

Q<sub>s</sub> - Calor emitido pela fonte, por unidade de área;

$A_s$  - Área total de superfície da fonte;

$r$  - Distância entre o centro da fonte até o objeto;

$A_o$  - Área de superfície do objeto projetada sobre um plano normal à direção fonte-objeto;

$Q_o$  - Calor absorvido pela superfície projetada do objeto.

Assim, a seguinte equação é obtida (2.3).

$$Q_o = \frac{Q_s \times A_s}{4\pi r^2} \times A_o W \quad (2.3)$$

A Figura 2.2 ilustra a transferência da energia que provém da fonte do arco e incide sobre um objeto esférico a uma distância  $r$ .

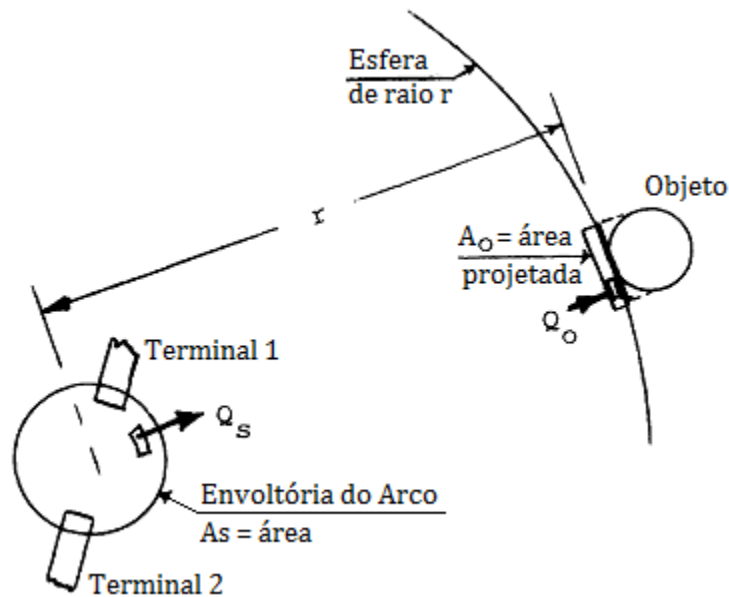


Figura 2.2 - Transferência de energia em forma de calor da fonte para o objeto receptor a uma distância  $r$ .

Fonte: RESENDE

Segundo o padrão IEEE 1584, para que a energia incidente seja estimada, é preciso que alguns dados do sistema elétrico estudado sejam coletados, como nível de curto-circuito, tensão do painel/barramento, características dos dispositivos de proteção do sistema, classe dos equipamentos e todos os dados de instalação do sistema.

### 2.1.1 Determinação da Corrente de Arco

Alguns fatores influenciam o valor da corrente de arco, tais como a configuração do barramento, o valor da corrente de curto-circuito e a distância entre os barramentos. A Tabela 2.1 mostra a distância típica entre barramentos considerada.

Tabela 2.1 - Classe dos equipamentos e distância típica entre barramentos

Classe dos equipamentos	Distância típica entre barramentos (mm)
Barramento de 15 kV	152
Barramento de 5 kV	104
Barramento de baixa tensão	32
CCM de baixa tensão	25
Cabos	13
Outros	Não requerido

Fonte: adaptado de IEEE 1584

A norma aqui adotada divide o método de cálculo dessa corrente em níveis de tensão. Para tensão do sistema menor que 1.000 Volts, o guia IEEE 1584 propõe a equação (2.4).

$$\text{Log } I_a = K + 0,662 \text{ Log } I_{bf} + 0,0966 V + 0,000526 G + 0,5588 V \text{ Log } I_{bf} - 0,00304 \text{ Log } I_{bf} \quad (2.4)$$

Onde: Log - Logaritmo na base 10,  $I_a$  - Corrente do arco elétrico (kA),  $K$  - (-0,153) para configuração aberta (sem invólucro), (-0,097) para configuração em caixa fechada,  $I_{bf}$  - Corrente presumida de curto-circuito sólido trifásico simétrico valor r.m.s<sup>1</sup> (kA),  $V$  - Tensão do sistema (kV),  $G$  - Distância dos condutores (mm).

<sup>1</sup> Em matemática, a raiz do valor quadrático médio ou *RMS* - *Root Mean Square*, ou valor eficaz, é uma medida estatística da magnitude de uma quantidade variável. Em eletricidade, o valor eficaz de uma onda periódica de corrente (ou tensão) está relacionado com o calor dissipado em uma resistência e representa o valor de uma corrente (ou tensão) contínua que produz a mesma dissipação de potência que a corrente (ou tensão) periódica. No caso comum da corrente alternada senoidal, o valor RMS é obtido pela raiz quadrada do valor máximo da corrente ou tensão ( $I_{ef} = I_m / \sqrt{2}$ ).

Para tensão do sistema entre 1.000 e 15.000 Volts, o guia IEEE 1584 propõe as equações (2.5) e (2.6).

$$\text{Log } I_a = 0,00402 + 0,983 \text{ Log } I_{bf} \quad (2.5)$$

$$I_a = 10^{\text{Log } I_a} \quad (2.6)$$

No caso de altas tensões, não há distinção entre configurações aberta e fechada dos barramentos, ou seja, o encapsulamento do barramento não tem influência sobre sua energia incidente.

### 2.1.2 Determinação da Duração do Arco

A determinação da duração do arco deve ser realizada a partir do tempo de atuação das proteções do sistema, sempre considerando o equipamento de proteção existente à montante<sup>2</sup> que interromperá a corrente de arco no caso da falta.

O tempo de interrupção da corrente de arco é a soma do tempo de sensibilização da proteção com o tempo de abertura física do equipamento, nesse caso, um disjuntor. Muitas vezes é necessário consultar o manual do seu fabricante, ou é admissível usar valores típicos na falta de literatura específica.

No caso de fusíveis ou disjuntores de BT - Baixa Tensão, com tempos diretos de atuação, a análise se restringe às curvas de coordenação, que relacionam a corrente percebida pelo dispositivo com o tempo em que ele irá atuar.

De acordo com o padrão IEEE 1584b (2011), a distância de trabalho é a soma da distância entre o eletricitista, ou responsável por operar o painel/barramento elétrico, parado de frente para o equipamento e a distância da frente do equipamento à potencial fonte de arco dentro dele. Sua determinação depende de análise de campo e deve ser efetuada junto ao pessoal operacional do sistema de modo a identificar corretamente a situação em que as interferências são efetuadas.

---

<sup>2</sup> Em um sistema elétrico onde a alimentação é feita apenas por uma extremidade, um equipamento a montante de outro é aquele que está mais próximo da fonte de alimentação elétrica, quando comparado com o outro.

Neste trabalho, foram utilizados valores típicos sugeridos no padrão IEEE 1584b, mostrados na Tabela 2.2. Uma das soluções para reduzir a energia do arco, por exemplo, pode ser aumentar a distância de trabalho fazendo uso de bastão para manobras.

Tabela 2.2 - Classe dos equipamentos e distância de trabalho típica

<b>Classe do equipamento</b>	<b>Distância de trabalho típica (mm)</b>
Barramento de 15 kV	910
Barramento de 5 kV	910
Barramento de baixa tensão	610
CCM de baixa tensão	455
Cabos	455
Outros	A ser determinado em campo

Fonte: adaptado de IEEE 1584b

### 2.1.3 Determinação da Energia Incidente

O objetivo principal desse estudo é a determinação da energia incidente de cada equipamento, para várias situações distintas de curto-circuito. Com os dados gerados nesse passo, a especificação de EPI adequados ou a necessidade de medidas de proteção ou controle para redução dos valores de energia encontrados se tornam possíveis.

O método adotado propõe que seja calculado primeiro o logaritmo na base 10 (Log) de uma variável, chamada energia incidente normalizada, e depois esse valor é convertido para a energia incidente, em J/cm<sup>2</sup>.

As equações (2.7) e (2.8) são usadas para o cálculo da energia incidente normalizada.

$$\text{Log } E_n = K_1 + K_2 + 1,081 \text{ Log } I_a + 0,0011 G \quad (2.7)$$

$$E_n = 10^{\text{Log } E_n} \quad (2.8)$$



Onde:  $E_n$  - Energia incidente ( $\text{cal}/\text{cm}^2$ ) para tempo de 200 ms e distância de 610 mm,  $K_1$  - (-0,792) para configuração aberta (sem invólucro), (- 0,555) para configuração em caixa fechada,  $K_2$  - 0 para sistema isolado e aterrado por alta resistência, (-0,113) para sistema solidamente aterrado,  $G$ - Distância dos condutores em mm (barramento)<sup>3</sup>

Com esse valor pode-se, finalmente, calcular a energia incidente, pela equação (2.9).

$$E = 4,184 C_f E_n \frac{t}{0,2} \frac{610^x}{D^x} \quad (2.9)$$

Onde:  $E$  - Energia incidente ( $\text{J}/\text{cm}^2$ ),  $C_f$  - Fator de cálculo - 1,5 para tensão igual ou menor do que 1 kV, 1,0 para tensão acima de 1 kV,  $E_n$  - Energia incidente normalizada ( $\text{J}/\text{cm}^2$ ),  $t$  - Tempo do arco (segundos),  $D$  - Distância do ponto do arco (mm),  $x$  - Expoente de distância.

A Tabela 2.3 mostra as recomendações do padrão IEEE 1584b, de onde podem ser extraídos os valores de  $x$ .

---

<sup>3</sup>Distâncias dos condutores verificadas em campo. Foram utilizados os valores típicos (Tabela 2.1) e, nos casos onde foi constatada variação perceptível, foram utilizados valores estimados em campo através de inspeção visual.

Tabela 2.3 - Fatores de distância 'x' por tipo de equipamento

Tensão do sistema (kV)	Tipo de equipamento	Distância típica entre barramentos (mm)	Expoente de distância
0,208 – 1	Ar livre	10-40	2,000
	Quadro de distribuição	32	1,473
	CCM e painéis	25	1,641
	Cabo	13	2,000
>1 - 5	Ar livre	102	2,000
	Quadro de distribuição	13-102	0,973
	Cabo	13	2,000
>5 - 15	Ar livre	13-153	2,000
	Quadro de distribuição	153	0,973
	Cabo	13	2,000

Fonte: adaptado de IEEE 1584b

#### 2.1.4 Determinação da Fronteira de Risco de Arco Elétrico

Outro fator que deve ser calculado para o estudo é a distância do ponto de arco onde a energia passa a ser inferior àquela energia suficiente para causar queimaduras de segundo grau na pele humana, que vale 1,2 cal/cm<sup>2</sup>.

Esse resultado é útil, uma vez que é necessário delimitar um espaço de circulação, mesmo que restrito, sem a necessidade do uso de EPI anti-chamas.

A equação (2.10) é utilizada para calcular essa fronteira.

$$D_B = \left[ 4,184 C_f E_n \frac{t}{0,2} \frac{610^x}{EB} \right]^{\frac{1}{x}} \quad (2.10)$$

Onde: D<sub>B</sub>- Distância de aproximação em mm, C<sub>f</sub> - Fator de cálculo: 1,5 para tensão igual ou menor do que 1 kV e 1,0 para tensão acima de 1 kV, E<sub>n</sub>- Energia incidente normalizada (J/cm<sup>2</sup>), EB - Energia incidente (J/cm<sup>2</sup>), t - Tempo do arco (segundos), x - Expoente de distância.

## 2.2 CURTO-CIRCUITO EM UM SISTEMA ELÉTRICO

Segundo GRAINGER e STEVENSON (1994), falta em um circuito é qualquer falha que interfere o fluxo normal de corrente. Em alta tensão, como por exemplo em linhas de transmissão, as faltas trifásicas são, em sua maioria, causadas por descargas atmosféricas na linha. A alta tensão entre um condutor e a torre de transmissão causa ionização, provendo um caminho para a carga induzida pela descarga atmosférica. Quando esse caminho é estabelecido, a corrente elétrica do circuito de potência passa a circular pelo novo caminho até a terra, e pela terra até o neutro aterrado de algum equipamento do sistema (gerador, transformador etc.), fechando assim o circuito.

Por sua vez, os dispositivos de proteção desse circuito irão atuar para isolar a parte defeituosa do sistema, extinguindo o curto-circuito. Entretanto, em sistemas industriais, curtos-circuitos são geralmente causados por fatores como falha no isolamento dos cabos de fases do sistema, queda de algum instrumento condutor da mão de um operador no invólucro do equipamento energizado.

Existem três tipos de falta que podem ocorrer em um sistema elétrico industrial: trifásica, bifásica ou monofásica. Conforme SANTOS (2009), os três tipos causam transitórios meio-rápidos na rede, ou seja, transitórios causados por mudanças estruturais abruptas (chamadas de curto-circuito) no sistema. Essa corrente transitória, causada por um curto-circuito, introduz um estado de descontrole de corrente no sistema, podendo acarretar alguns problemas, entre eles o arco elétrico.

As faltas bifásica e trifásica podem ou não envolver a terra e falta monofásica ocorre entre uma fase a terra.

Em geral, na maioria dos casos, a falta trifásica é a mais severa para o sistema, apresentando altas correntes de curto-circuito, e o seu cálculo é, entretanto, mais simples que o das demais. Faltas monofásicas e bifásicas são comumente chamadas de faltas assimétricas, uma vez que introduzem um desequilíbrio no sistema. Dessa forma, as correntes e tensões envolvidas devem ser calculadas através da teoria de componentes simétricas.

Em 1918, FORTESCUE publicou o Teorema de Fortescue: “Um sistema desequilibrado de  $n$  fasores relacionados, pode ser convertido em  $n$  sistemas equilibrados de fasores, chamados componentes simétricas dos fasores originais. Os

n fasores de cada conjunto de componentes, são iguais em amplitude e os ângulos entre fasores adjacentes de cada conjunto, são iguais”.

Esse teorema, aplicado a um sistema elétrico trifásico desequilibrado, permite que ele seja decomposto em três sistemas equilibrados compostos por três fasores balanceados: as componentes simétricas de sequência positiva, negativa e zero, facilitando o cálculo dos parâmetros do sistema estudado. A Figura 2.3 ilustra esta decomposição.

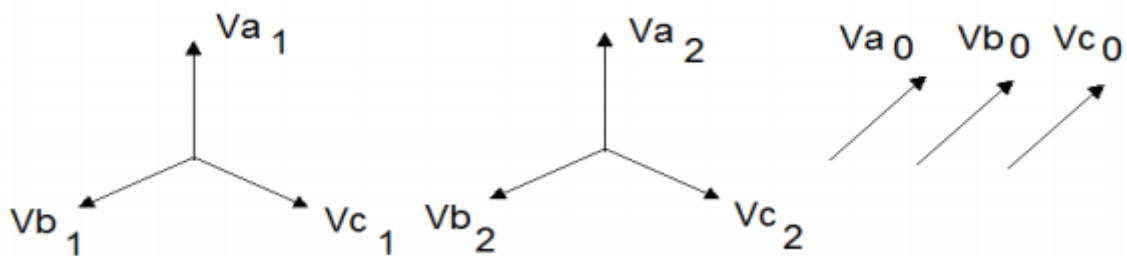


Figura 2.3 - Sequências positiva, negativa e zero. Componentes simétricas

Fonte: FORTESCUE

O presente estudo, entretanto, leva em consideração faltas trifásicas que ocorrem em sistemas industriais causando arcos elétricos. O *software* utilizado também leva em consideração tais faltas, que são em geral as mais severas. Dessa forma, foge do presente escopo o detalhamento do cálculo de componentes simétricas e corrente de curto-circuito assimétrico.

Para o cálculo de curto-circuito simétrico, existem vários métodos, alguns listados e explicados a seguir.

Algumas premissas são adotadas para dar início ao cálculo: os motores contribuem com corrente para alimentar a falta, mas cargas estáticas, bancos de capacitores e reatores são desprezados e os transformadores operam com *tap*<sup>4</sup> nominal.

As reatâncias dos geradores, motores, linhas e transformadores são consideradas no cálculo da reatância equivalente, que será a reatância de Thévenin<sup>5</sup>

<sup>4</sup> Transformadores podem operar com todo o seu enrolamento (*tap* nominal) ou com uma parte deles. Nesse último caso, com uma parcela menor da relação de transformação de placa.

<sup>5</sup> Léon Charles Thévenin (30 de março de 1857 - Paris, 21 de setembro de 1926) foi um engenheiro francês que estendeu a Lei de Ohm à análise de circuitos elétricos complexos. Reatância de Thévenin pode ser definida como a reatância equivalente do circuito vista pelo ponto de interesse.

vista do ponto da falta. Após a obtenção da impedância equivalente, a tensão no ponto de falta é usada para o cálculo da corrente de falta.

O exemplo escolhido foi retirado do livro J. Grainger, W. D. Stevenson Jr., *Power System Analysis*.

No exemplo, o sistema mostrado na Figura 2.4, é formado por dois geradores, um transformador e dois barramentos. Ele opera sem carga e sem corrente circulando entre os geradores. A tensão interna dos geradores vale 13,2 kV. O objetivo é o cálculo da corrente subtransitória de falta total e a contribuição de cada gerador quando um curto-circuito trifásico ocorre no barramento de número 2.

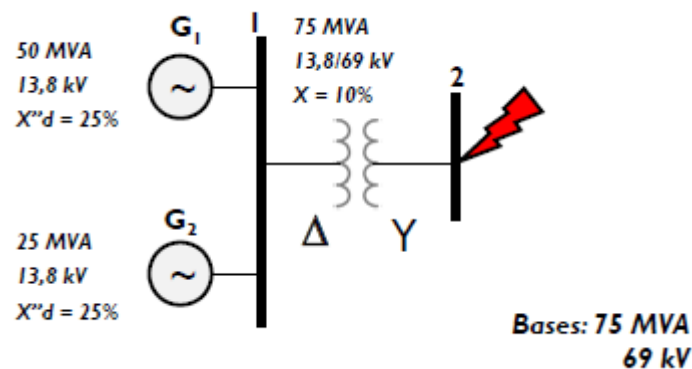


Figura 2.4 - Sistema exemplo para cálculo de corrente de curto-circuito trifásico.

Fonte: ASSIS

As bases adotadas para o sistema serão de 75 MVA para potência e 69 kV para tensão no lado de alta. Temos, assim:

Para o gerador 1:

$$X''_d = 0,25 \times \frac{75}{50} = 0,375 \text{ pu}$$

$$E_{G1} = \frac{13,2}{13,8} = 0,957 \text{ pu}$$

Para o gerador 2:

$$X''_d = 0,25 \times \frac{75}{25} = 0,750 \text{ pu}$$

$$E_{G2} = \frac{13,2}{13,8} = 0,957 \text{ pu}$$

Onde:

$X''_d$  - Reatância subtransitória direta do gerador;

$E_{G1}$  - Tensão interna do gerador 1;

$E_{G2}$  - Tensão interna do gerador 2.

Para o cálculo da reatância equivalente ( $X''_{eq}$ ), monta-se o diagrama de reatâncias, como mostrado na Figura 2.5.

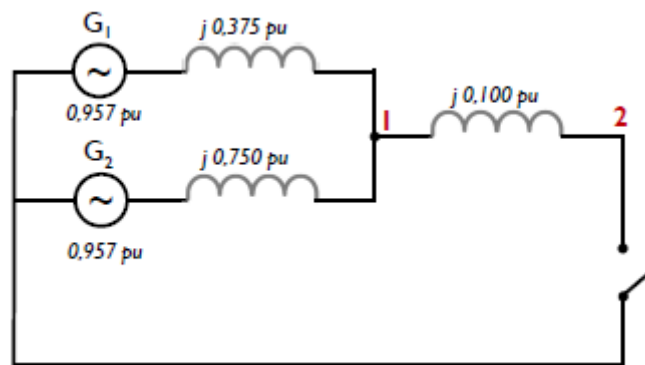


Figura 2.5 - Diagrama de reatâncias

Fonte: ASSIS

Já que as tensões internas dos dois geradores são idênticas e não há circulação de corrente entre eles, as máquinas podem ser consideradas em paralelo.

#### Cálculo da reatância subtransitória equivalente:

$$X''_{eq} = \frac{0,375 \times 0,750}{0,375 + 0,750} = 0,250 \text{ pu}$$

Para o cálculo da corrente subtransitória ( $I''$ ), a tensão no ponto de falta é dividida pela reatância equivalente total do sistema, vista do ponto de falta.

$$I'' = \frac{0,957}{j0,250 + j0,100} = -j2,734 \text{ pu}$$

### **Cálculo da tensão no barramento 1:**

$$V_1 = (-j2,734) \times (j0,100) = 0,273 \text{ pu}$$

Assim, as contribuições de cada gerador são calculadas.

$$I''_{G1} = \frac{0,957 - 0,273}{j0,375} = -j1,824 \text{ pu}$$

$$I''_{G2} = \frac{0,957 - 0,273}{j0,750} = -j0,912 \text{ pu}$$

Onde:  $I''_{G1}$  - Corrente subtransitória proveniente do gerador 1,  $I''_{G2}$  - Corrente subtransitória proveniente do gerador 2.

#### **2.2.1 Método - ANSI - American National Standards Institute**

Entre suas normas e padronizações, a *ANSI* também possui normas para cálculo de correntes de curto-circuito para determinar padrões para dimensionamento de equipamentos elétricos: ANSI/IEEE Std C37.13-2015, que se aplica para sistemas com tensões inferiores a 1.000 V, e a ANSI/IEEE Std C37.010-2016, para tensões acima de 1.000 V.

Essas padronizações baseiam-se principalmente no cálculo de reatâncias subtransitórias utilizando fatores de correção, sendo conhecidas como normas baseadas em cálculo de impedâncias.

De acordo SANKAR e IQBAL (2015), os cálculos de corrente de curto-circuito baseados nas padronizações *ANSI* são feitos em três redes diferentes: 0,5 ciclo, 1,5 a 4 ciclos e 30 ciclos. Na primeira rede, a reatância subtransitória dos componentes da rede é usada para calcular a corrente de falta e a rede correspondente é chamada

de rede subtransitória. A corrente de curto-circuito momentânea é calculada após meio ciclo da ocorrência da falta. Na segunda rede, a reatância transitória dos componentes da rede é usada e a rede correspondente é chamada de rede transitória. A corrente de interrupção de curto-circuito é calculada depois de 4 ciclos da ocorrência da falta. Na terceira, a reatância de estado permanente dos componentes é usada para calcular a corrente de falta.

### **2.2.2 Método - IEC - International Electrotechnical Commission**

Ainda de acordo com o artigo do *IEEE* publicado por SANKAR e IQBAL para o cálculo de correntes de curto-circuito em sistemas elétricos, a *IEC* publicou as normas IEC 60909 e IEC 61363-1. Na norma IEC 60909, a corrente inicial simétrica ( $I''_k$ ) é obtida através do uso da tensão nominal e a impedância equivalente no ponto da falta  $Z_k$ . Já a corrente de pico  $I_p$  é obtida usando a corrente inicial simétrica calculada e é função do parâmetro  $\frac{R}{X}$  do sistema no local da falta,  $k$ .

## **2.3 PROTEÇÃO DE SISTEMAS ELÉTRICOS**

Os conceitos de Sistemas de Proteção elétrica aqui apresentados foram estudados através do livro de C. R. Mason, *The Art and Science of Protective Relaying*.

Sistemas elétricos estão sujeitos a falhas a qualquer momento. É possível reduzir essa ocorrência através de manutenção apropriada, treinamento, práticas adequadas de comissionamento e operação, uso de equipamentos bem projetados e de bons materiais, entretanto, não há nada que um profissional da área possa fazer para garantir que essas falhas nunca ocorram.

Dessa forma, o que os engenheiros podem fazer para evitar que esses incidentes, muitas vezes inevitáveis, ofereçam grande prejuízo aos equipamentos e pessoas envolvidas é projetar um bom sistema de proteção.

Um sistema de proteção, é definido como os equipamentos necessários para medir, localizar e iniciar a remoção de uma falta ou condição anormal do sistema elétrico. Segundo a norma IEC (1995), proteção são “provisões para detectar falhas



ou outras condições anormais em um sistema de energia, para habilitar a eliminação de falhas, para terminar condições anormais e para iniciar sinais ou indicações”.

O sistema de proteção de uma rede elétrica visa encontrar a forma mais rápida e eficaz de isolar um defeito que ocorra em algum ponto, de forma que esse isolamento afete o mínimo de equipamentos/cargas possível.

Um bom sistema de proteção é confiável, sensível, seletivo e rápido.

Um sistema **confiável** é aquele que atua sempre que há um defeito dentro da sua zona de proteção, e não deve atuar em condições normais de operação. Para que isso ocorra, os sistemas de proteção devem passar por manutenções e ensaios periódicos, dado que alguns dispositivos ficam muito tempo sem precisar atuar.

Um sistema **sensível** é aquele que consegue detectar o defeito ou condição anormal.

A **seletividade** é a qualidade de o sistema desligar apenas o elemento defeituoso, impactando o mínimo possível no sistema global. A Figura 2.6 ilustra esse conceito. Para a falta indicada em vermelho, a proteção de número 2 deve atuar antes da de número 1, que seria a proteção de retaguarda. Com isso, a alimentação da falta é interrompida e a corrente de curto-circuito é cessada, sem afetar partes do sistema que não estão sob defeito. Caso o dispositivo de proteção de número 2 não seja sensível a essa falta, e o de número 1 venha a atuar para eliminar o defeito, a carga L na ilustração perderia sua alimentação, gerando mais impacto no sistema.

Observa-se que a corrente de falta também seria interrompida com a atuação do disjuntor de número 1, mas com a atuação seletiva, nesse caso representada pela atuação do disjuntor de número 2, menos componentes do sistema são desligados para que isso ocorra.

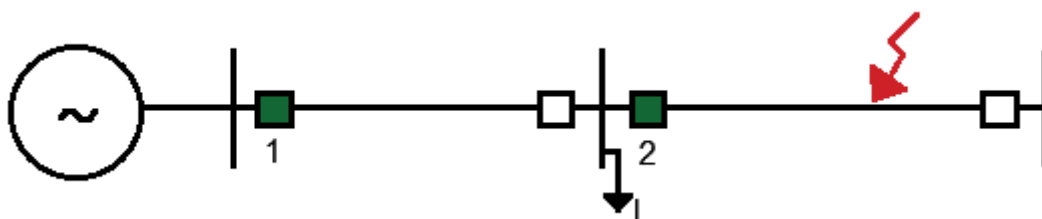


Figura 2.6 - Exemplo de seletividade

Fonte: a autora

Por último, o sistema de proteção precisa ser o mais **rápido** possível para evitar ou reduzir danos aos equipamentos.

Muitas vezes, combinar esses 4 requisitos é um desafio. Um sistema muito **rápido e sensível** pode não ser muito **seletivo**, por exemplo. É preciso analisar cada caso e encontrar tempos de atuação que atendam a vários requisitos, da melhor forma possível. Além disso, a escolha certa deles pode ajudar na melhoria da atuação do sistema de proteção. Os dispositivos mais utilizados em sistemas industriais para proteção são fusíveis e relés com disjuntores.

Uma introdução ao princípio de funcionamento de cada um segue nas próximas Seções.

### **2.3.1 Fusíveis**

Segundo ANDRADE (2018), fusíveis são dispositivos de proteção contra curto-circuito e sobrecarga de longa duração. Eles são constituídos por um condutor de seção reduzida em relação aos condutores da instalação, montados em uma base de material isolante.

Por possuírem uma seção reduzida em relação aos condutores, eles têm um ponto de fusão mais baixo, ou seja, suportam uma corrente menor. Assim, eles são projetados para que se fundam a uma dada corrente, menor que a corrente que causaria danos ao equipamento protegido, impedindo que a corrente proveniente de uma situação anormal alcance o equipamento.

Os fusíveis possuem uma curva tempo x corrente característica, que irá determinar em quanto tempo o fusível irá atuar para cada valor de corrente no sistema.

Uma vantagem do uso dos fusíveis é o seu baixo custo quando comparado a outros equipamentos de proteção. Uma desvantagem, porém, é que uma vez que ele opera, não é reversível. Ou seja, quando um fusível interrompe um circuito, ele deve ser trocado. Sua aplicação industrial é ampla e a escolha e dimensionamento deve ser cuidadosamente avaliada pelo engenheiro responsável.

### **2.3.2 Relés e Disjuntores**

Relé é o dispositivo que irá detectar o defeito ou a condição anormal de operação. Ele pode acionar ou permitir o acionamento da abertura de um disjuntor ou fornecer um alarme. Sua ação provoca o fechamento ou abertura de contatos elétricos nos circuitos de comando a eles associados.

Conforme a ENGEPOWER (2018), existem várias classificações que se podem dar aos relés, quanto a grandeza de atuação (corrente, tensão etc.), forma de conectar ao circuito (primário, secundário), forma construtiva (eletromecânicos, mecânicos, estáticos etc.), temporização (temporizados ou instantâneos), quanto à função (sobrecorrente, direcional, diferencial etc.) e quanto à característica de atuação (normal inverso, muito inverso, extremamente inverso).

A alimentação de corrente para leitura do relé é feita através de equipamentos chamados de TC - Transformadores de Corrente, usados para proteção.

TC é um equipamento monofásico que possui dois enrolamentos, um denominado primário e outro, secundário, sendo isolados eletricamente um do outro, porém, acoplados magneticamente.

Ele é ligado em série com o circuito a ser protegido e leva uma corrente de menor magnitude para o relé, que compara com a corrente para a qual foi configurado e a partir da comparação atua ou não o disjuntor.

A Figura 2.7 ilustra, de forma simplificada, o esquema de ligação entre transformador de corrente, relé e disjuntor.

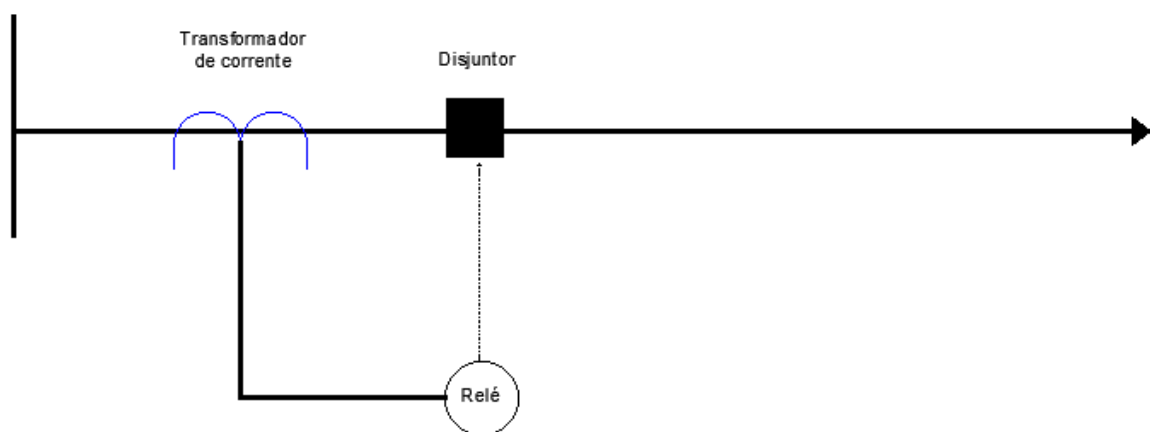


Figura 2.7 - Esquema de ligação de transformador de corrente, relé e disjuntor

Fonte: a autora

Como observado, o TC alimenta o relé com a corrente do circuito reduzida, e este, por sua vez, dá o comando de abertura no disjuntor.

Para aplicação no presente trabalho a função de sobrecorrente é a mais utilizada e por isso será mais aqui explanada.

Relés de sobrecorrente atuam quando a corrente do circuito ultrapassa um valor pré-determinado e configurado no dispositivo. Os números funcionais ANSI para essa função são 50 (sobrecorrente instantâneo) e 51 (sobrecorrente temporizado).

A característica de atuação dos relés de sobrecorrente é representada pelas curvas tempo x corrente. Atualmente a maioria dos relés comerciais é digital, que permite a mudança do tipo de curva após a aquisição do equipamento, alterando-se os parâmetros no próprio relé.

A característica do relé pode ser instantânea, ou seja, sem retardo intencional de tempo, tempo definido, ou tempo inverso. A Figura 2.8 mostra um exemplo de como são as curvas dos relés para cada uma das três características.

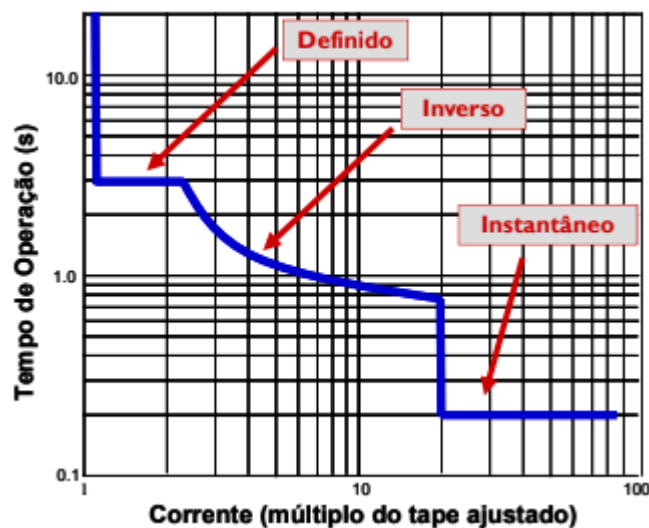


Figura 2.8 - Diferentes tipos de curva de um relé de sobrecorrente

Fonte: ASSIS

## 2.4 CORRENTE INRUSH

Um conceito importante para a compreensão do presente trabalho é o de corrente *inrush*, ou corrente de energização do transformador.

Na energização, há circulação de uma corrente transitória, que é necessária para estabilizar o fluxo magnético no transformador. Essa corrente é caracterizada por altos valores e alto conteúdo harmônico<sup>6</sup>.

Essa corrente, apesar de apresentar curta duração, pode atingir valores muito acima da corrente nominal do transformador, dessa forma, ela deve ser levada em consideração pelos equipamentos de proteção.

Como o intuito deste estudo é mostrar como reduzir a energia incidente dos barramentos de uma instalação, muitas vezes será proposta a redução do tempo de atuação dos relés, disjuntores, fusíveis etc.

Contudo, deve-se atentar à corrente *inrush*, não projetando o dispositivo de proteção para atuar para o valor dessa corrente, num tempo menor que a sua duração total.

Segundo a ENGEPOWER, alguns fatores influenciam a magnitude dessa corrente. Quanto menor o transformador, maior a corrente de energização em múltiplos da corrente nominal, e menor a sua duração. A impedância do sistema a montante do transformador também tem influência direta: quanto maior a potência de curto-circuito desse sistema, maior poderá ser a corrente *inrush*. O valor instantâneo da tensão no momento em que o transformador é energizado também causa impacto, devido à característica quase puramente indutiva do equipamento durante a sua energização. Num circuito puramente indutivo, a corrente está 90° atrasada em relação à tensão. Quando a tensão está com o ângulo igual a zero, a corrente está, portanto, passando pelo seu máximo. Energizar o transformador nesse instante é a condição mais adversa em termos de valor da corrente *inrush*.

A corrente de energização (*inrush*) pode atingir de 8 a 10 vezes a corrente nominal do transformador.

O *software* que será utilizado nesse estudo irá calcular as correntes de energização dos transformadores, a partir dos dados de entrada do equipamento.

---

<sup>6</sup> A energia elétrica que recebemos é em corrente alternada e tem a frequência de 60 Hz, que chamamos de frequência fundamental. Harmônicas são correntes de alta frequência, múltiplas da fundamental, que transitam no sistema causando grandes danos a equipamentos e condutores.

### 3 DESENVOLVIMENTO DO PROJETO

Neste Capítulo será feita, inicialmente, uma abordagem sobre normas técnicas nacionais e internacionais aplicáveis ao projeto, para que haja uma contextualização do assunto abordado com o que é discutido, dado como relevante e colocado em prática no Brasil e no mundo. Posteriormente, o estudo de caso será descrito, com informações sobre o site industrial cujo sistema elétrico será analisado, descrição dos seus esquemas e equipamentos de proteção, modelagem do sistema no *software* utilizado e exposição dos dados gerados no estudo de arco que também será realizado neste Capítulo. Os produtos gerados nas próximas Seções serão utilizados no Capítulo 4 - Análise de resultados e mitigação de riscos.

#### 3.1 NORMAS TÉCNICAS

A criação de normas e regulamentos sobre trabalho em eletricidade e seus riscos surge a partir da evolução do conhecimento sobre o tema. Quanto mais as pesquisas avançam, para que ocorra uma redução nos acidentes envolvendo eletricidade, a necessidade de criar padrões e regras para práticas de trabalho fica mais evidente. O Capítulo 2 expõe uma linha do tempo mostrando a evolução do tema arco elétrico nas normas nacionais e internacionais, mencionando a criação das NR – Normas Regulamentadoras.

Dentre as 36 Normas Regulamentadoras, está a NR-10 - Segurança em Instalações e Serviços em Eletricidade, que estabelece os requisitos e as condições mínimas para a implementação de medidas de controle e sistemas preventivos, de forma a garantir a segurança e a saúde dos trabalhadores que, direta ou indiretamente, atuam em instalações elétricas e serviços com eletricidade.

Segundo o MTE - Ministério do Trabalho e Emprego, a NR-10 se aplica às fases de geração, transmissão, distribuição e consumo, incluindo as etapas de projeto, construção, montagem, operação, manutenção das instalações elétricas e quaisquer trabalhos realizados nas suas proximidades, observando-se as normas técnicas oficiais estabelecidas pelos órgãos competentes e, na ausência ou omissão destas, as normas internacionais cabíveis.

Segundo SOUZA e PEREIRA (2005), com o início do processo de privatização do Setor Elétrico, na década de 1990, foi reconhecida uma necessidade de atualização da norma, já que tal processo trouxe consigo outros setores e atividades econômicas trazendo novas tecnologias e nova forma de organização do trabalho. Como consequência, as condições de trabalho pioraram, e o número de acidentes de trabalho no setor elétrico e em outros setores que envolvem eletricidade aumentou, segundo o Manual de auxílio na interpretação e aplicação da nova NR-10.

Apesar de ter como objetivo garantir a segurança e saúde dos trabalhadores que interajam em instalações elétricas e serviços com eletricidade, como é disposto na própria NR 10, ela ainda é deficiente ao que se refere aos riscos de arco elétrico.

No item 10.3, “Segurança em projetos”, subitem 10.3.9, é especificado o memorial descritivo do projeto, como um dos itens de segurança mínimos, especificação das características relativas à proteção contra choques elétricos, queimaduras e outros riscos adicionais, não citando diretamente os riscos causados por arco elétrico. No item 10.9, o risco de incêndio e explosão é mencionado, não especificando, novamente, as queimaduras que podem ser causadas por arco elétrico.

No item 10.10, onde a norma trata sobre sinalização de segurança, ela não menciona a necessidade de identificar painéis quanto à sua energia incidente por arco elétrico.

Dessa forma, conclui-se que as normas brasileiras ainda precisam se ajustar à essa nova necessidade eminente, dando mais visibilidade aos riscos causados pelo fenômeno aqui estudado. Assim como a privatização do setor elétrico na década de 90, que gerou aumento nos acidentes de trabalho envolvendo eletricidade, fez com que a sociedade enxergasse a necessidade de atualização das normas que tratam sobre o assunto, é esperado que ocorra uma nova atualização, agora motivada pelo conhecimento dos riscos envolvidos nesse campo.

## 3.2 ESTUDO DE CASO

### 3.2.1 Descrição do Sistema

O sistema elétrico aqui analisado é o de um *site* industrial de beneficiamento de sementes de milho localizado na cidade de Formosa, no estado de Goiás. As cargas do *site* são compostas, em sua maioria, por motores de indução trifásicos, acionados por inversores de frequência.

Esse parque industrial possui entrada de energia em 34,5 kV, proveniente da rede da concessionária de energia local, a CELG.

A cabine de entrada é equipada com um seccionador acompanhado por relé e disjuntor. Da cabine de entrada, segue um alimentador de MT - Média Tensão até a subestação 01.

O site possui 4 subestações. A subestação 01 recebe alimentação da cabine de entrada e segue para o quadro de MT, onde serão alimentados os transformadores dessa subestação. Além do seu quadro de média, ela supre as outras três subestações que, por sua vez, seguem cada uma para seu cubículo de MT, de onde derivam os transformadores correspondentes.

A entrada da subestação 01 é dotada de dois seccionadores em série, relé com disjuntor, e uma outra chave seccionadora antes de se ramificar para os ramais de saída para o seu cubículo de MT e para as demais subestações. Todos esses ramais seguem o padrão: chave seccionadora, relé e disjuntor. Os transformadores, por sua vez, são protegidos por seccionador e fusível à montante. O sistema está ilustrado no unifilar da Figura 3.1.



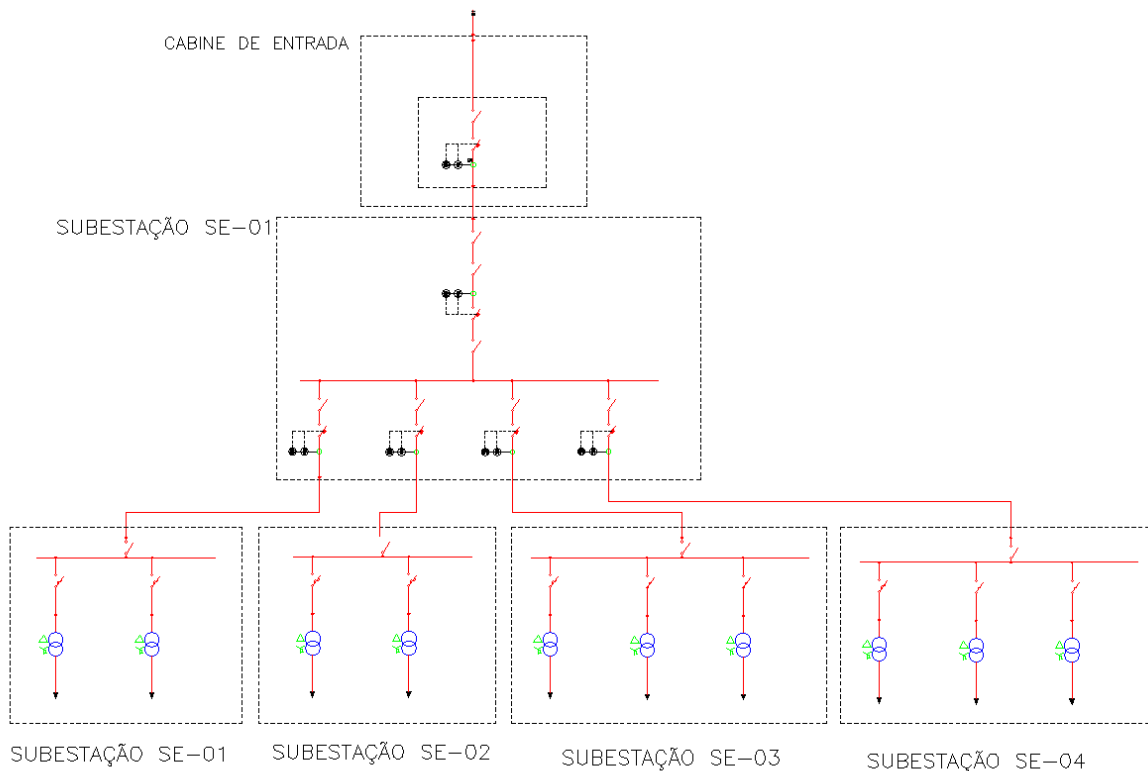


Figura 3.1 - Diagrama unifilar da cabine de entrada e subestações  
 Fonte: a autora

As cargas alimentadas pela subestação 01 são cargas vistas como essenciais pela fábrica. Dessa forma, o *site* possui 2 geradores que suprem as cargas da subestação 01 quando há falta de energia vinda da concessionária. Assim, os dois ramais de saída de seus transformadores passam por um Quadro de Transferência Automática antes de seguirem para o Quadro Geral de Baixa Tensão da Subestação 01.

As saídas dos demais transformadores (das outras subestações), seguem para seus quadros gerais de baixa tensão que, por sua vez, distribuem-se para os quadros de cada área da fábrica, centros de controle de motores, iluminação, tomadas etc.

### 3.2.2 Cenários

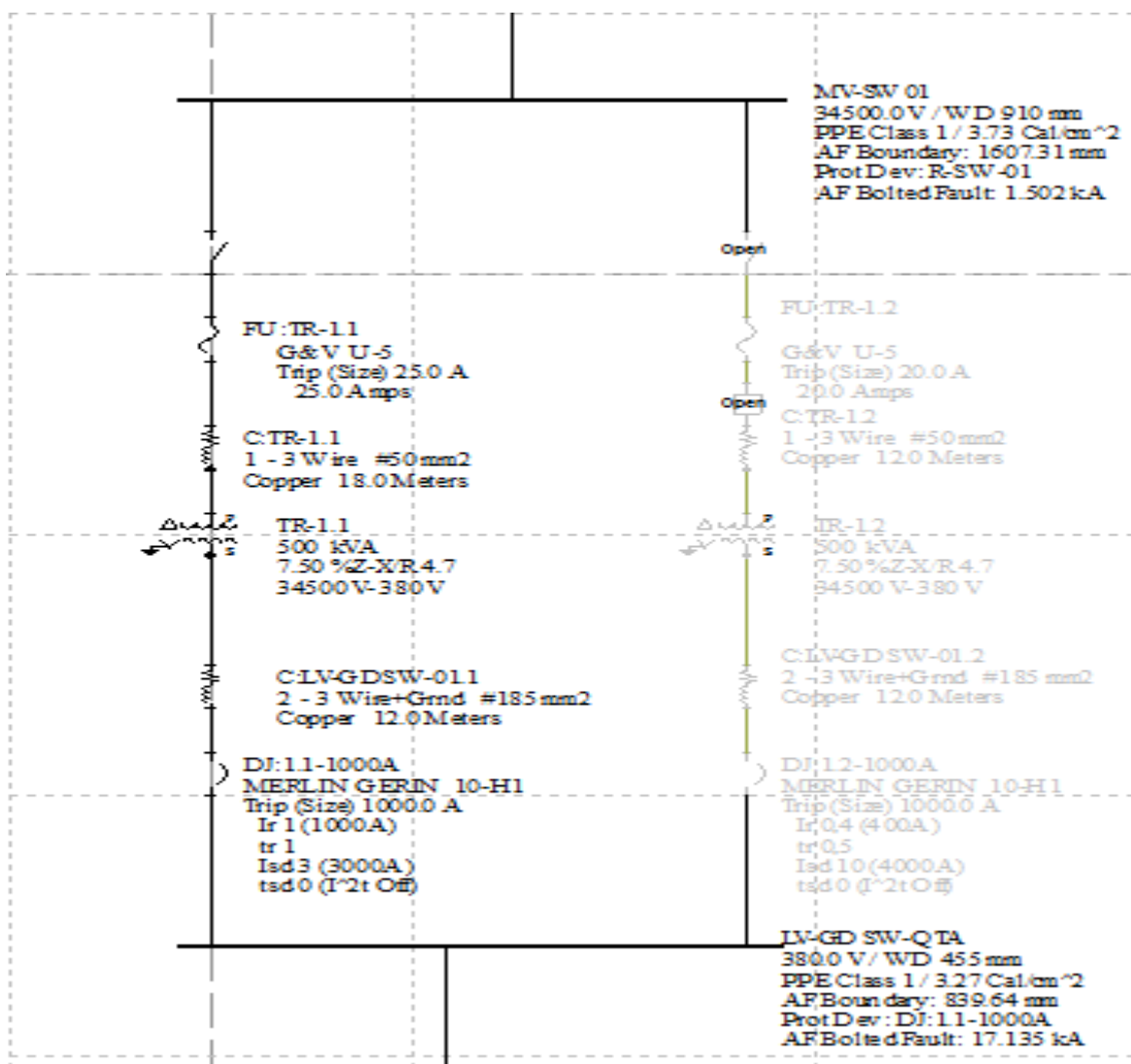
O estudo analisará todos os possíveis cenários de operação do sistema, para que não haja nenhum caso, seja qual for o regime de operação, em que a energia incidente de algum painel elétrico, na ocorrência de arco, possua valor inseguro. O

cenário 1 é o 'projeto base'. Ele considera que todo o *site* está sendo alimentado pela concessionária, e os geradores não estão em serviço.

O cenário 2, chamado de 'gerador', considera que apenas os geradores estão operando, e não há conexão com a concessionária. Nesse cenário, apenas as cargas da subestação 01 estão sendo atendidas, e todo o resto da planta está desligado.

O terceiro e último cenário, chamado de 'SE-01 Sem Paralelismo', considera que um dos transformadores da subestação 01 (TR-1.2), está desenergizado. Dessa forma, toda a carga da SE-01 está sendo alimentada por um só transformador, conforme Figura 3.2.

Figura 3.2 - Unifilar do cenário 'SE-01 Sem Paralelismo'



Fonte: adaptado pela autora

A análise será feita levando em consideração primeiro o cenário base. Ou seja, os ajustes serão feitos baseados nas energias que se mostraram elevadas neste cenário. As alterações feitas nele, são automaticamente implementadas nos outros dois cenários. Assim, após diminuir os níveis de energia, o estudo será rodado nos outros cenários a fim de verificar se ainda restaram casos que devem ser corrigidos.

### 3.2.3 Levantamento de dados

Para a montagem do sistema elétrico, algumas visitas de campo se fizeram necessárias, com o objetivo de coletar os dados dos equipamentos. Essa Seção mostra uma descrição dos dados que foram coletados em campo, relevantes a esse tipo de estudo. Algumas informações foram verificadas em campo e algumas foram extraídas de documentação cedida por profissionais da planta. A listagem dos dados a serem coletados foi feita com o auxílio do material fornecido no treinamento da ENGEPOWER.

- Dados da rede equivalente de entrada do *site* (fornecidos pela concessionária):
  - Tensão de entrada
  - Corrente de curto-circuito trifásico
  - Corrente de curto-circuito monofásico
  - X/R das sequências positivas e zero
- Dados dos transformadores  
Tensão, potência, impedância, frequência, conexão, tipo de aterramento e identificação.
- Dados dos motores  
Tensão, Potência, impedância, fator de potência, eficiência, frequência, tipo de motor, tipo de partida, corrente de partida, rotação e identificação.
- Dados dos geradores  
Tensão, potência, fator de potência, impedância, frequência, tipo de aterramento do neutro, reatâncias/constantes de tempo, rotação e número de polos, conexão e identificação.
- Dados dos cabos

Tipo de condutor, comprimento, seção, número de polos (unipolar/tripolar), número de condutores por fase, tipo de isolamento (PVC / EPR / XLPE / PE / PAPEL) e identificação.

- Dados dos relés

Corrente (e/ou tensão) nominal, fabricante, tipo, funções, faixa de ajuste de cada função, ajuste atual de cada função, características e identificação.

- Dados dos disjuntores de baixa tensão

Fabricante, tipo, corrente nominal, funções, faixas de ajuste, ajustes atuais e identificação.

- Dados dos fusíveis

- Fabricante
- Tipo
- Corrente nominal
- Características
- Identificação

- Dados dos TC e TP

- Correntes ou tensões (TC ou TP) nominais primárias e secundárias

- Dados dos painéis / Barramentos

- Tensão do barramento

- Dados do inversor de frequência / *softstarter*

Potência, tipo, fator de potência, eficiência, tensão nominal e identificação.

### 3.2.4 **Software PTW**

O caso de estudo foi modelado no *software* PTW da SKM. O programa já possui, em sua biblioteca, os dispositivos de proteção presente nos *sites* modelados, com suas respectivas curvas de tempo x corrente. Dessa forma, após coletar os dados em campo, o trabalho no *software* se resumiu a montar o sistema, escolhendo os dispositivos correspondentes. A Figura 3.3 ilustra a inserção de um novo equipamento/dispositivo de proteção no sistema, utilizando o *software*.

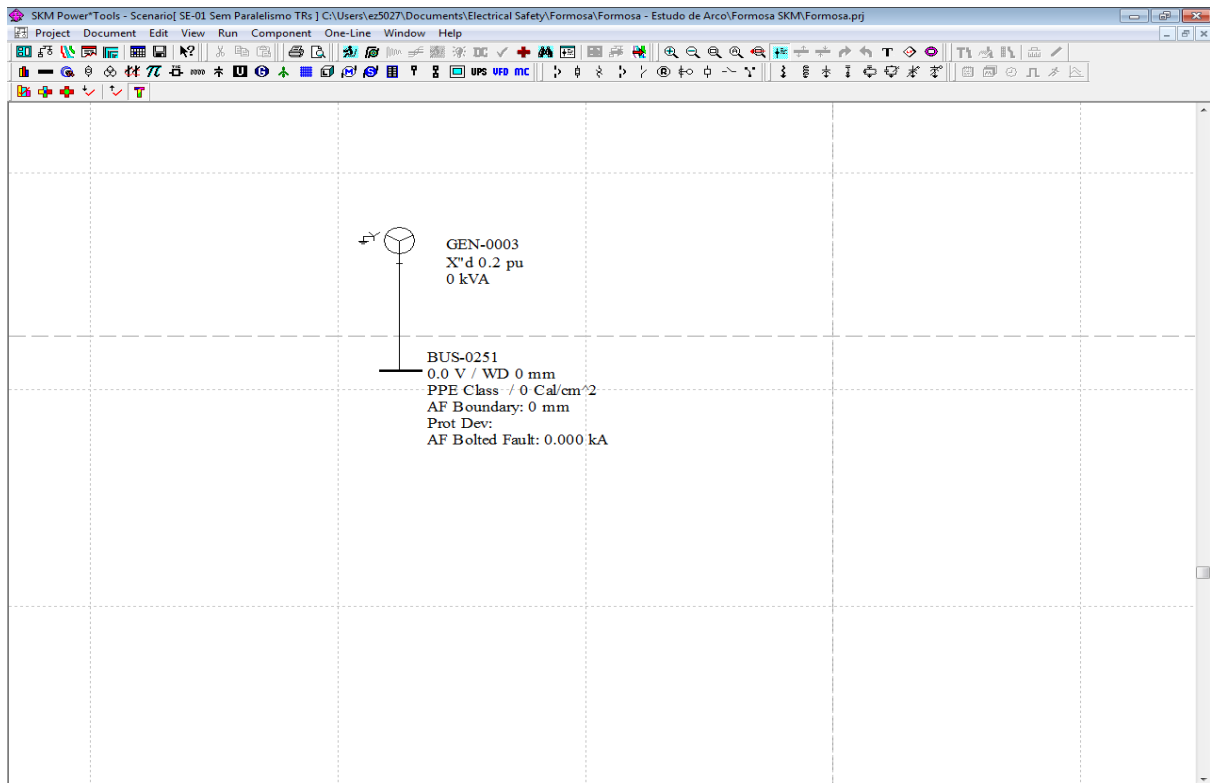


Figura 3.3 - Inserindo um gerador conectado a um barramento no programa PTW da SKM.  
Fonte: adaptado pela autora.

No menu superior do programa, encontram-se os dispositivos do sistema. Basta clicar no desejado e arrastar até a área do projeto.

Para alterar as configurações dos dispositivos, para inserir os dados coletados em campo, é preciso abrir uma janela chamada *Component Editor*, através de duplo clique no componente de interesse. Aparecerá a janela ilustrada na Figura 3.4.

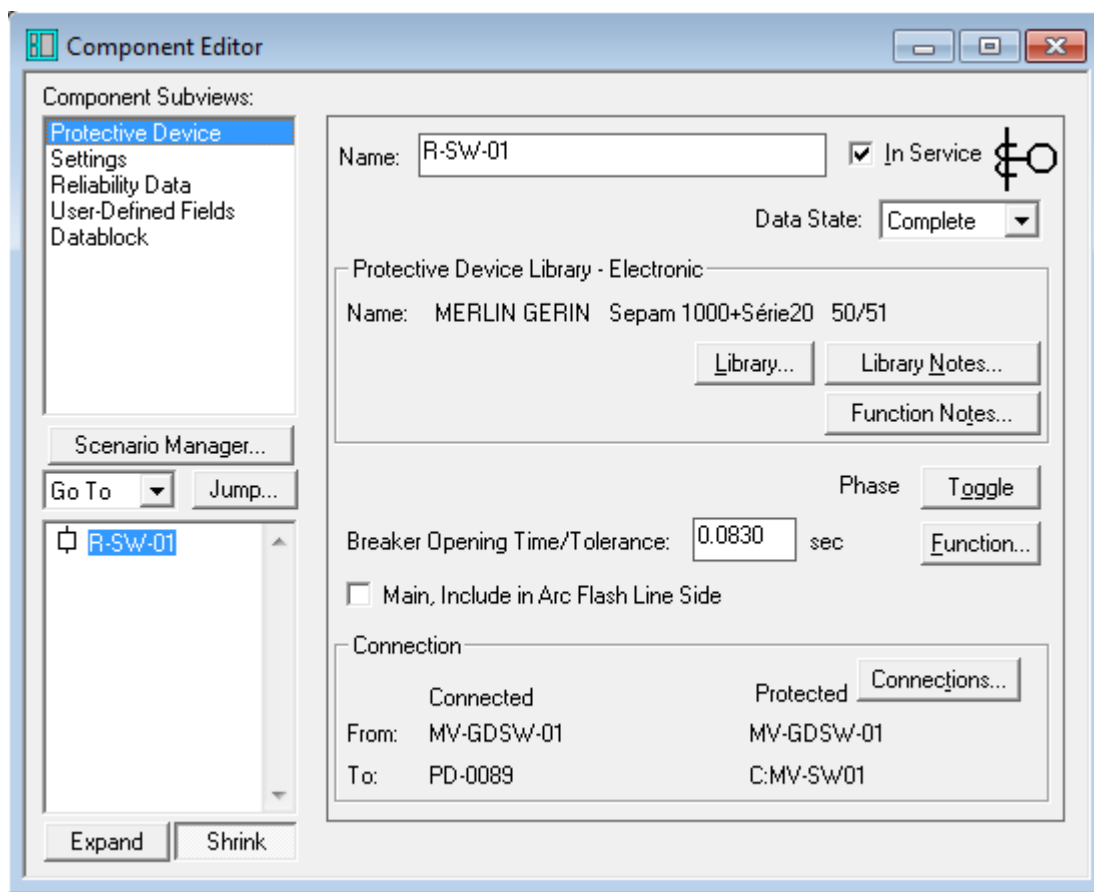


Figura 3.4 - Editando componentes no projeto  
 Fonte: adaptado pela autora.

A Figura 3.4 mostra o *Component Editor* referente a um relé. Observa-se que é apresentada a função *Library*, onde se encontram dispositivos já modelados, de acordo com fabricante e modelo. Para alterar as configurações, basta ir em *Settings*, no menu esquerdo da janela mostrada acima. Aparecerá a janela ilustrada na Figura 3.5.

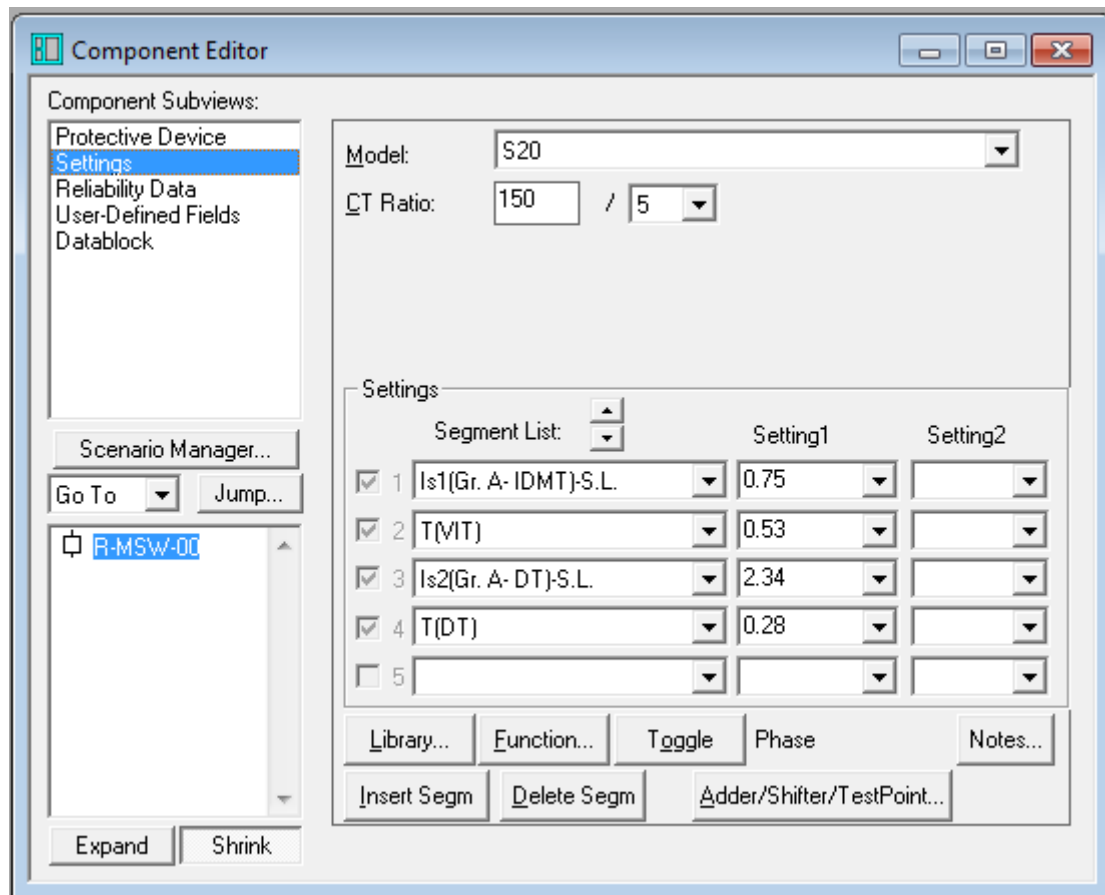


Figura 3.5 - Configurações dos dispositivos  
Fonte: adaptado pela autora

No caso do relé, é nessa janela que se configura a relação de transformação do transformador de corrente (*CT Ratio*), o modelo do relé e os seus ajustes, tais como os tempos de disparo de cada tipo de curva.

Foram colocados no programa os dispositivos mais relevantes para o estudo de arco. Assim, o critério para que os disjuntores dos painéis fossem representados foi pela sua corrente nominal, escolhida em 100 A. Disjuntores com correntes nominais abaixo de 100 A não foram representados.

Por se tratar de um sistema extenso, não foram representados todos os painéis na BT. Em alguns ramais, onde existe uma sucessão de painéis sendo alimentados por outros painéis, notou-se que ao se afastar do quadro geral de BT, o nível de energia incidente do painel ia ficando muito baixo e pouco relevante. Nesses casos, não se deu continuidade na representação dos próximos painéis.

O sistema totalmente modelado se apresenta no diagrama unifilar geral, Anexo C.

Após a criação do cenário principal, os outros cenários foram modelados. Para isso, acessa-se o *Scenario Manager*, que se encontra no menu *Project*, e se cria uma cópia (ou um clone) do projeto base. Essa cópia será o segundo cenário, que será alterado de acordo com o regime de operação desejado. A janela do programa que contém essa funcionalidade é mostrada na Figura 3.6.

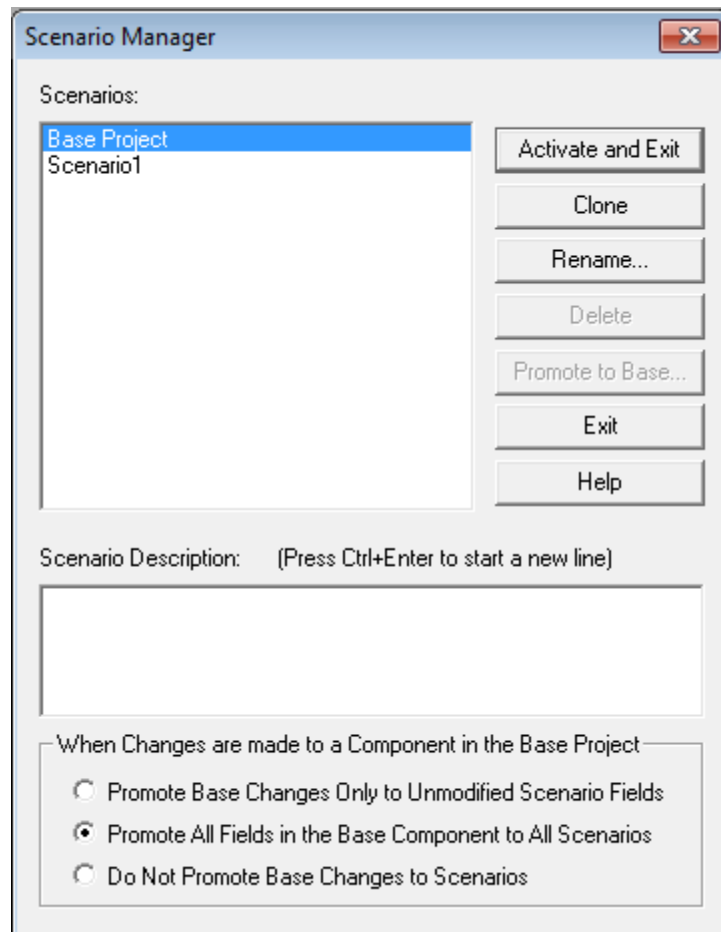


Figura 3.6 - Criação de novos cenários  
Fonte: adaptado pela autora.

Como mencionado na Seção 4.2.2, as mudanças de ajustes que serão feitas para reduzir a energia incidente de alguns painéis, serão aplicadas em todos os cenários. Afinal, na prática, independentemente do regime de operação, os dispositivos do sistema são os mesmos. Para que haja essa transferência automática de informações, a opção *Promote All Fields in the Base Component to All Scenarios*, que especifica que todas as mudanças feitas no cenário base, serão promovidas a todos os cenários. Essa opção também está mostrada na imagem da Figura 3.6.

As Figuras 3.7 e 3.8 ilustram as particularidades dos diagramas unifilares dos cenários 'Gerador' e 'SE-01 Sem Paralelismo', respectivamente.



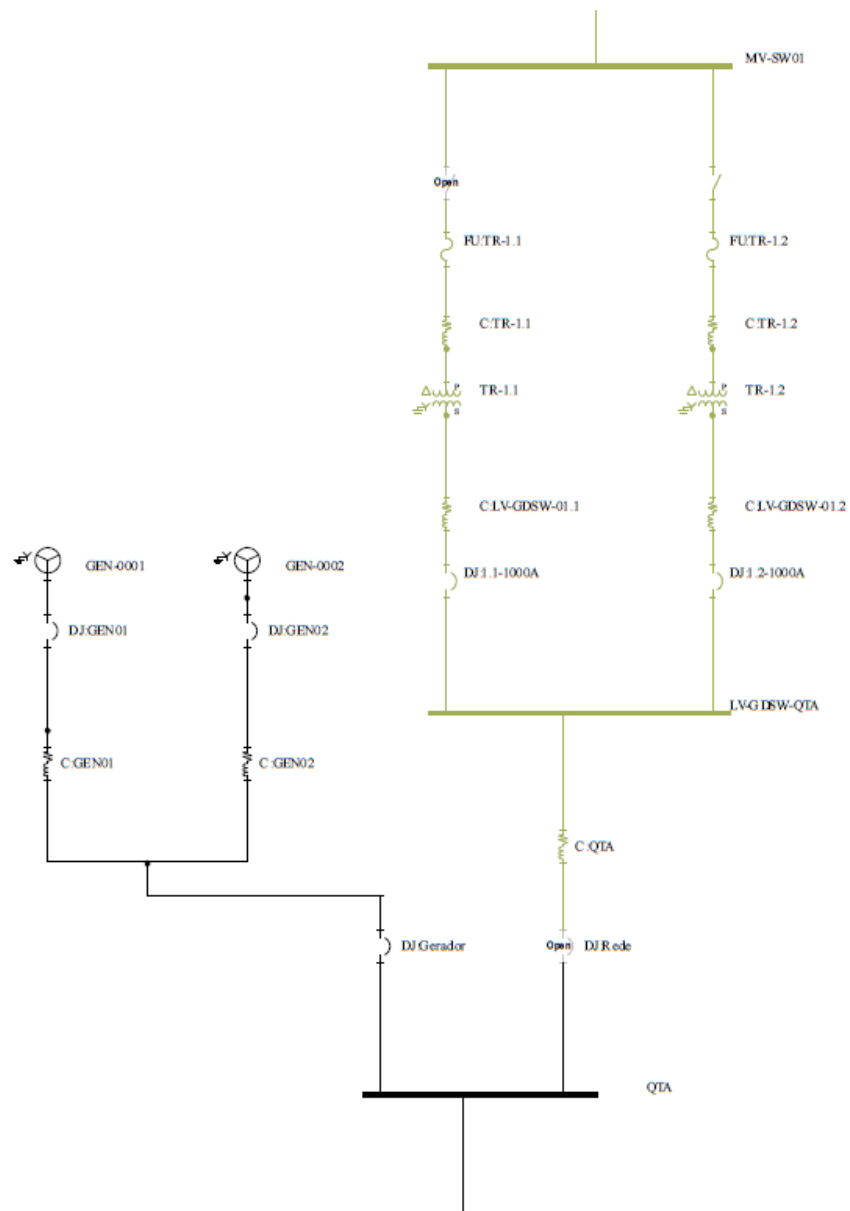


Figura 3.7 - Diagrama unifilar - Cenário 'Gerador'  
 Fonte: adaptado pela autora.

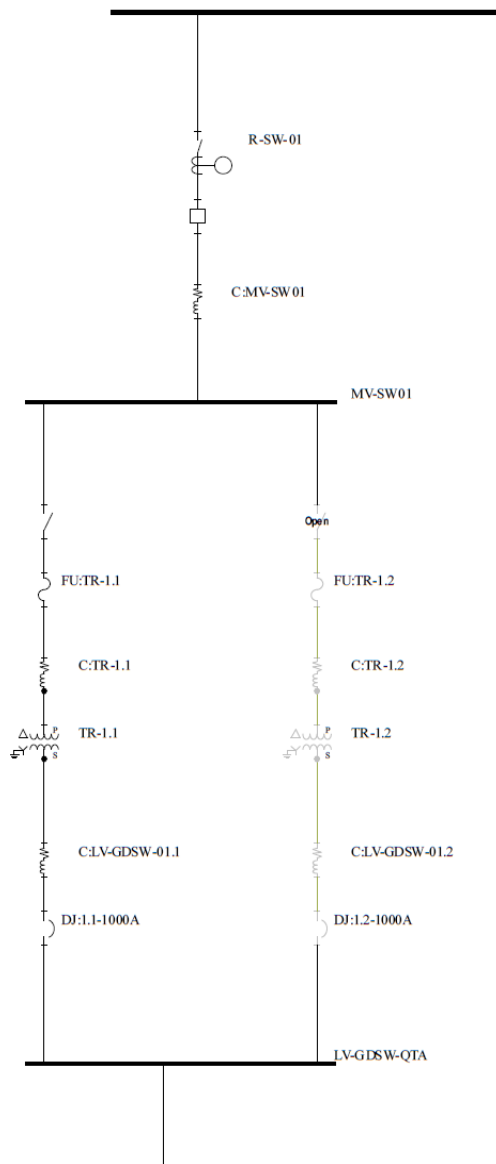


Figura 3.8 - Diagrama unifilar - Cenário 'SE-01 Sem Paralelismo'  
 Fonte: adaptado pela autora.

A cor verde no diagrama unifilar da Figura 3.7 ilustra dispositivos que se encontram sem alimentação elétrica, e parte com cor menos intensa na Figura 3.8 significa que os dispositivos estão desativados.

É importante mencionar que no estudo foram levados em consideração casos em que o curto-circuito ocorreu a montante do disjuntor considerado, que são os casos descritos como *line side* na tabela de resultados de estudo de arco, e alguns no barramento em si. Os dois pontos são os mesmos, eletricamente, quando o

disjuntor está operando sem abrir o circuito. Entretanto, a energia incidente é alterada dependendo da localização da falta.

Depois de atendidas todas as configurações, o próximo passo é executar o estudo em si. A Figura 3.9 ilustra o comando para que o programa seja executado.

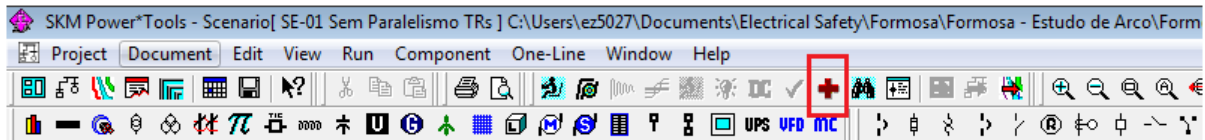


Figura 3.9 – Executar o estudo de arco  
Fonte: adaptado pela autora.

O ícone de símbolo '+' com a cor vermelha mostrado na Figura 3.9 é o responsável por executar o estudo de arco elétrico. Ao selecioná-lo, a janela ilustrada na Figura 3.10 aparece, para que sejam feitas as configurações.

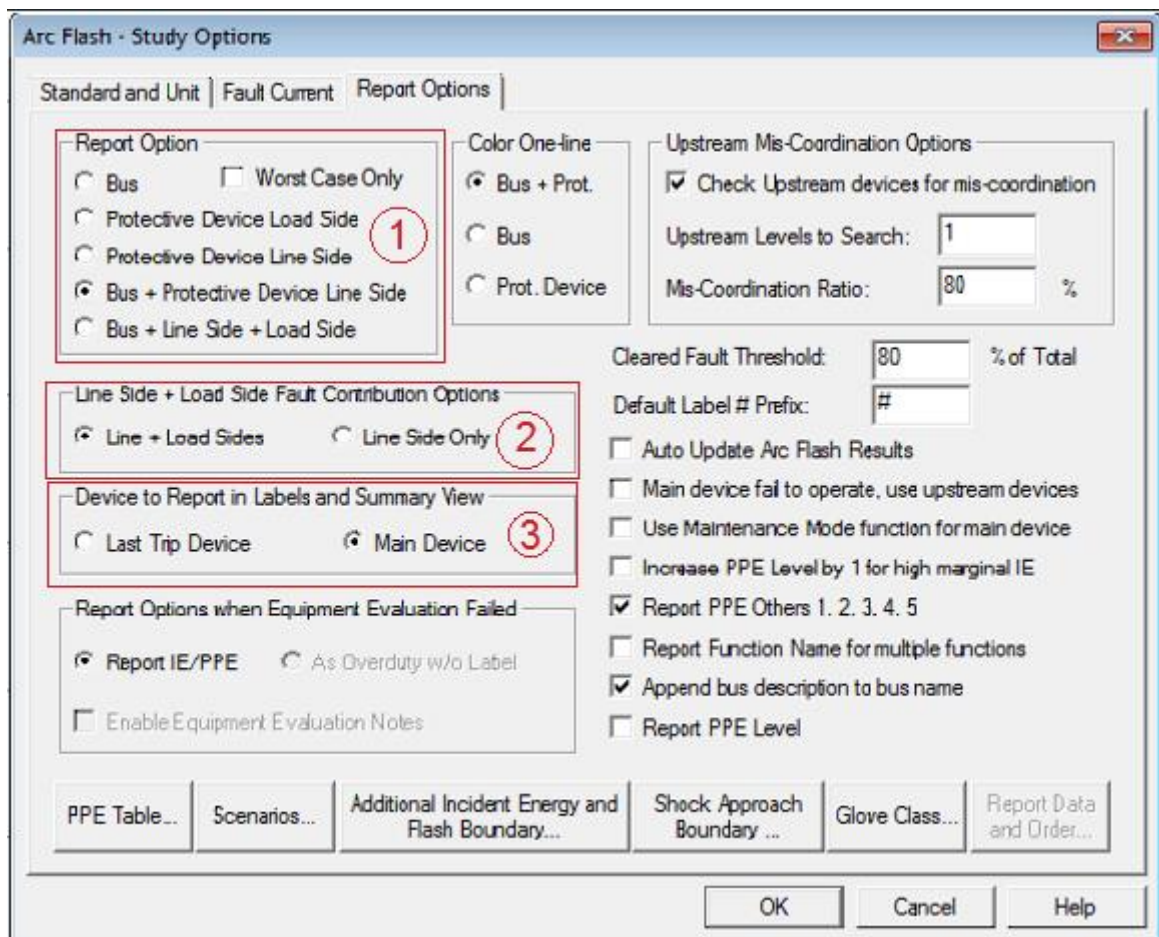


Figura 3.10 - Configurações do estudo de arco  
Fonte: adaptado pela autora.

Na seção *Report Option*, no local indicado com o número 1 da imagem da Figura 3.10, é selecionada a forma como deseja-se que a falta seja aplicada. No presente estudo, a opção selecionada é *Bus + Protective Device Line Side*, para que o estudo faça a análise de faltas que ocorrem na barra e a montante do dispositivo de proteção de entrada na barra, conforme mencionado.

Na seção *Line Side + Load Side Fault Contribution Options*, indicada com o número 2 é especificados e as correntes de falta calculadas pelo *software* levam em consideração as contribuições vindas das cargas ou não - conforme assinalado da Figura 3.10. No presente estudo, essas contribuições são contabilizadas, uma vez que a maioria das cargas são motóricas.

A seção *Device to Report in Labels and Summary View*, assinalado com o número 3 na Figura 3.10, seleciona o dispositivo de proteção do estudo. Foi escolhida a opção *Main Device*, para que seja listado o dispositivo principal para eliminar aquela falta específica.

Na opção *Scenarios*, ao final da janela de configurações, há uma outra janela, para configurações relacionadas a cenários, como mostrado na Figura 3.11.

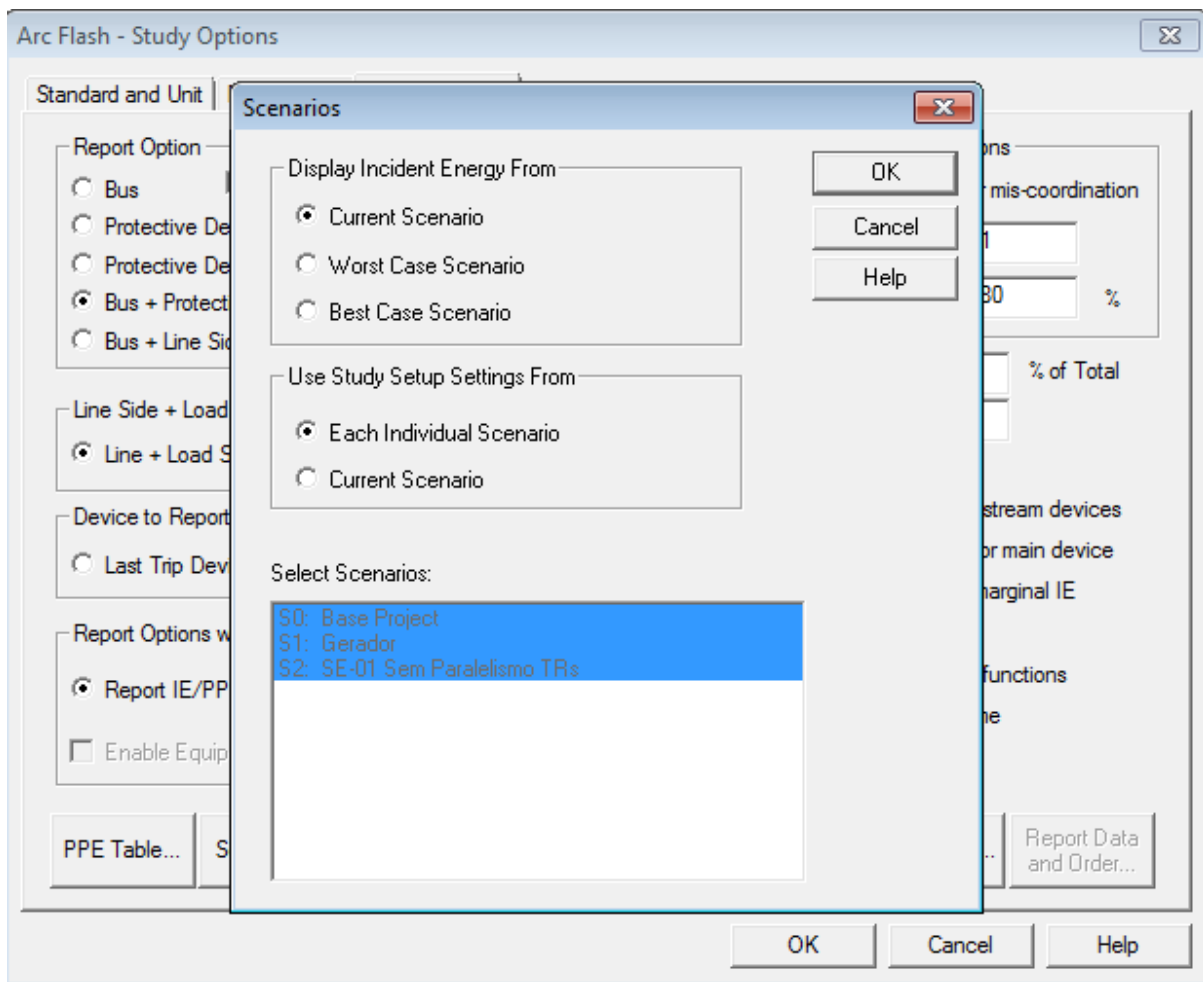


Figura 3.11 - Configurações de cenários para estudo de arco  
 Fonte: adaptado pela autora.

Na parte *Display Incident Energy From*, é selecionada qual energia incidente será listada na planilha que o estudo irá gerar. No presente exemplo, foi selecionada a opção *Current Scenario*, para que liste a energia incidente para o cenário selecionado, uma vez que o estudo será rodado para cada situação separadamente, como explicitado.

Finalmente, no menu *Standard and Unit*, seleciona-se qual norma o estudo deve seguir para operar os cálculos de energias incidentes. Conforme a Seção 2.1 desse TCC, o método aqui considerado é o exposto no padrão IEEE 1584, portanto, foi a opção selecionada. Essa configuração está ilustrada na Figura 3.12.

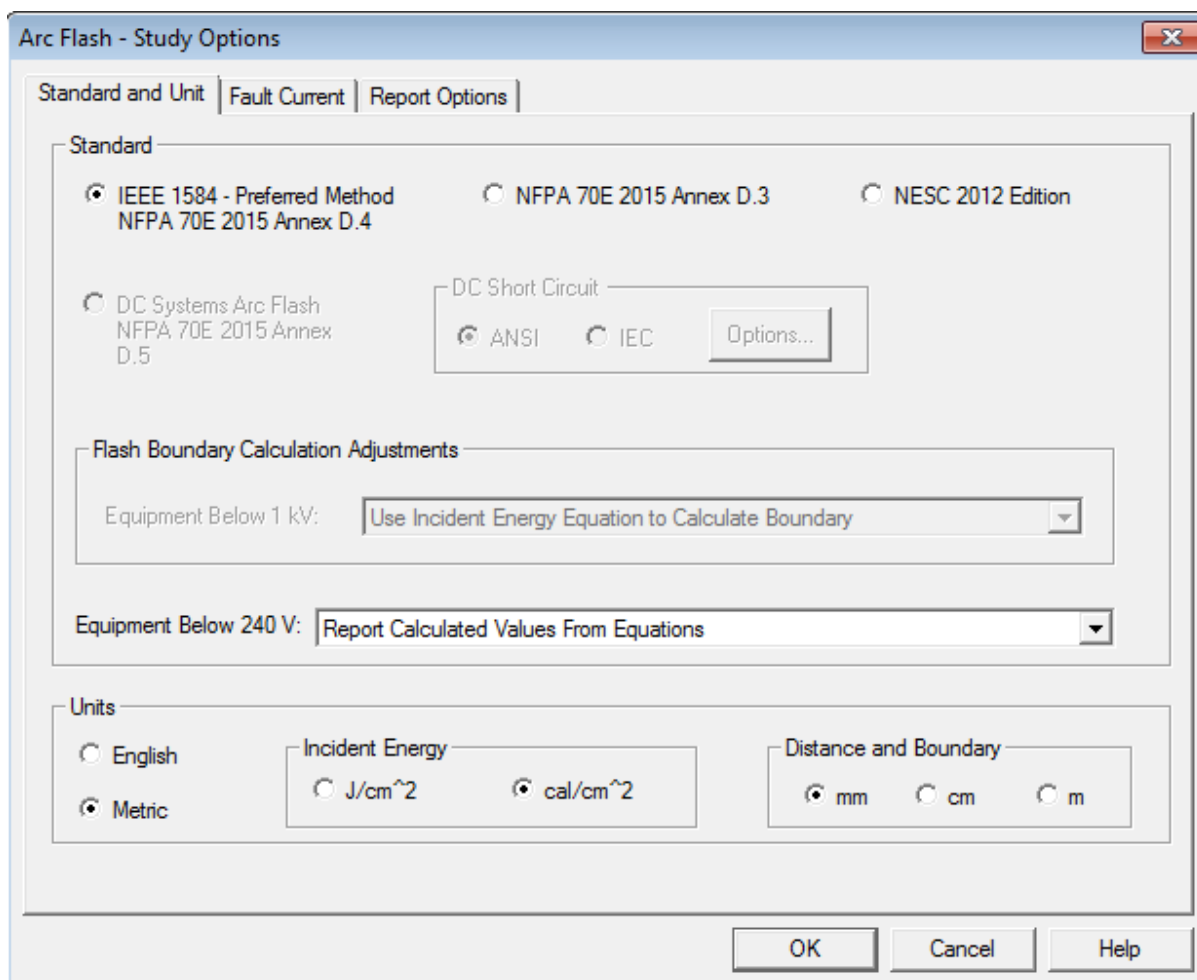


Figura 3.12 - Especificação de norma utilizada  
Fonte: adaptado pela autora.

As outras configurações foram utilizadas conforme sugeridas pelo *software* (*default*), e por isso não serão explicitadas aqui.

Ao término da configuração de todos os parâmetros, o estudo é executado. É gerada uma planilha com as colunas mostrando, entre outras informações, o barramento onde foi aplicada a falta, o dispositivo de proteção principal para aquela falta, tensão da barra, correntes de falta e de arco, tempo de abertura do dispositivo de proteção e energia incidente. Essas serão as informações principais usadas na análise posterior.

A planilha com o estudo de arco gerado está no Anexo A, como um arquivo Excel.

Como critério para análise dos casos, considerando que o estudo gerou uma tabela extensa e a mitigação dos riscos deve ser feita caso a caso, foi estabelecido um critério de energia incidente máxima de 12 cal/cm<sup>2</sup>.

Esse critério foi adotado devido aos EPI que a planta possui hoje, que só vão até esse nível de energia. Acima disso, o EPI necessário passa a ser demasiado pesado e desconfortável para o uso. Assim, o objetivo será reduzir as energias para que todas estejam abaixo desse valor.

Na Tabela 3.1 foram separados apenas os casos que serão tratados no próximo Capítulo, que irá analisar e propor soluções para cada um deles. O Anexo A expõe todo o estudo de arco gerado, com as energias incidentes de cada painel, com os casos mostrados na Tabela 3.1 assinalados com realce de cor marrom. As linhas destacadas representam, portanto, as energias incidentes elevadas.

Tabela 3.1 - Painéis Elétricos que Apresentaram Energia Incidente Elevada

Bus Name	Protective Device Name	Bus kV	Bus Bolted Fault (kA)	Bus Arcing Fault (kA)	Prot Dev Bolted Fault (kA)	Prot Dev Arcing Fault (kA)	Trip/Delay Time (sec.)	Breaker Opening Time/Tol (sec.)	Ground	Equip Type	Gap (mm)	Arc Flash Boundary (mm)	Working Distance (mm)	Incident Energy (cal/cm <sup>2</sup> )
LV-GDSW-02 (DJ0:LV-GDSW-02 Line Side)	R-SW-02 (FU:TR-2.1)	0,38	20,62	10,05	16,97	8,27	0.75	0,0833	Yes	PNL	25	2765	455	23
LV-GDSW-02.2 (DJ0:LV-GDSW-02.2 Line Side)	R-SW-02 (FU:TR-2.2)	0,38	22,75	10,87	22,75	10,87	0.75	0,0833	Yes	PNL	25	3155	455	29
LV-GDSW-03.2 (DJ0:LV-GDSW-03.2 Line Side)	R-SW-03 (FU:TR-3.2)	0,38	31,74	14,18	20,53	9,17	0.24	0,0833	Yes	PNL	25	1870	455	12
LV-GDSW-03.3 (DJ0:LV-GDSW-03.3 Line Side)	R-SW-03 (FU:TR-3.3)	0,38	34,43	15,13	20,62	9,06	0.24	0,0833	Yes	PNL	25	1914	455	13
LV-GDSW-04.2 (DJ0:LV-GDSW-04.2 Line Side)	R-SW-04 (FU:TR-4.2)	0,38	32,66	14,51	20,50	9,10	0.24	0,0833	Yes	PNL	25	1876	455	12
LV-GDSW-04.3 (DJ0:LV-GDSW-04.3 Line Side)	R-SW-04 (FU:TR-4.3)	0,38	32,54	14,46	20,39	9,06	0.24	0,0833	Yes	PNL	25	1871	455	12
LV-GDSW-QTA	DJ:1.2-1000A	0,38	17,13	8,67	8,57	4,33	2	0,0000	Yes	PNL	25	4668	455	55
LV-GDSW-QTA	DJ:1.1-1000A	0,38	17,13	8,67	8,57	4,33	2	0,0000	Yes	PNL	25	4668	455	55
LV-GDSW-QTA (DJ:1.2-1000A Line Side)	DJ:1.2-1000A	0,38	17,13	7,37	8,57	3,68	2	0,0000	Yes	PNL	25	4194	455	46
LV-GDSW-QTA (DJ:1.2-1000A Line Side)	R-SW-01 (FU:TR-1.2)	0,38	17,13	7,37	17,13	7,37	1.917	0,0830	Yes	PNL	25	4194	455	46
QTA (DJ:Rede Line Side)	DJ:1.2-1000A	0,38	16,73	8,50	8,36	4,25	2	0,0000	Yes	PNL	25	4613	455	53
QTA (DJ:Rede Line Side)	DJ:1.1-1000A	0,38	16,73	8,50	8,36	4,25	2	0,0000	Yes	PNL	25	4613	455	53

Fonte: a autora.



## 4 ANÁLISE DOS RESULTADOS E MITIGAÇÃO DE RISCOS

Com o estudo feito e apresentado no Capítulo 3, é possível analisar os painéis que apresentaram maior energia incidente. Através da tabela de resultados do estudo, obtém-se a informação da corrente de curto-circuito daquele barramento e o tempo de sua duração, dois fatores que influenciam diretamente a magnitude do arco elétrico.

A primeira estratégia para mitigação de riscos é tentar reduzir o tempo de atuação do dispositivo de proteção, uma vez que reduzir a corrente de curto-circuito seria uma tarefa mais complexa que demandaria interferência em vários pontos do sistema.

O tempo de atuação pode ser reduzido através de alterações de ajustes dos dispositivos de proteção do sistema: relés, disjuntores e fusíveis.

É preciso que a análise aqui seja feita com um cuidado especial, devido a algumas situações indesejáveis que podem ocorrer. Reduzir o tempo em que uma proteção irá atuar quando detectar um curto-circuito pode fazer que uma proteção secundária (ou de *backup*) atue antes da proteção principal, desligando mais partes do sistema que o necessário. Nesse caso, a tentativa de reduzir a energia incidente iria prejudicar a coordenação do sistema de proteção.

Também pode ocorrer de, ao tentar reduzir o tempo de atuação, a curva tempo x corrente do dispositivo seja deslocada muito para a esquerda e alcance a corrente de carga, impedindo o site de operar em condições normais. Assim, o sistema de proteção não estaria mais cumprindo com sua função, que é atuar quando deve atuar e não atuar em condições normais.

Em alguns casos, a troca de um fusível por um relé, por exemplo, é a solução mais viável, uma vez que o relé proporciona curvas mais flexíveis e ajustáveis, possibilitando que o seu ajuste atenda vários objetivos, como, por exemplo, a coordenação da proteção e a redução do tempo de atuação, simultaneamente.

Uma outra solução, essa deixada para último caso, quando não há mais nada para ser feito em termos de ajustes para reduzir a energia incidente, é a instalação de botoeiras para acionamento remoto. A vantagem do acionamento remoto é que, por mais que aqui a energia incidente por arco elétrico continue elevada, ela não mais

oferece risco ao operador, uma vez que ele trabalhará distante da região de exposição ao arco.

Nas próximas Seções, cada caso em que a energia incidente foi considerada muito elevada (revelados no fim do Capítulo 3) será analisado e uma solução será apresentada. Alguns casos, como será exposto na Seção 5.1, apresentaram uma mesma solução. Ou seja, mudando o ajuste de um dispositivo de proteção, a energia incidente de dois ou mais casos foi reduzida.

#### 4.1 PAINÉIS DE BT: LV-GDSW-02 e LV-GDSW-02.2

O painel LV-GDSW-02 apresentou energia incidente elevada para a análise feita no *line side* do disjuntor de entrada desse quadro. A energia apresentada foi de 23 cal/cm<sup>2</sup>, bem acima da energia incidente máxima estabelecida de 12 cal/cm<sup>2</sup>.

Por ser a montante do disjuntor de entrada, este não pode isolar a falta. Dessa forma, a proteção do sistema de Média Tensão deve atuar.

Isso fica evidente quando, analisando a coordenação da proteção, observa-se que o dispositivo que atuou nesse caso não foi aquele logo a montante do ponto de falta considerado - o fusível FU TR-2.1, e sim o relé R-SW-02. Há, portanto, um erro de coordenação.

A primeira ação aqui é a tentativa de mudar as configurações do fusível em questão, para que ele atue antes do relé. Essa solução seria benéfica para o sistema em vários aspectos: o tempo de atuação para eliminar a falta pode diminuir, uma vez que um dispositivo mais próximo irá atuar, a coordenação do sistema seria corrigida e menos cargas seriam desligadas para isolar um defeito.

Para iniciar tal análise, é preciso saber a corrente de arco em questão, o atual tempo de interrupção da falta e a corrente de carga que os dispositivos analisados devem ser capazes de deixar fluir, sem atuar.

Pela tabela do Anexo A, encontra-se o valor da corrente de arco que o dispositivo de proteção percebe: 8,27 kA, na BT. O atual tempo de interrupção é 0,75 s e a corrente de carga que o fusível deve deixar passar é a corrente de plena carga do transformador TR-2.1, cujo valor pode ser obtido através do *Component Editor*. Como pode ser observado na Figura 4.1, esse valor é de 1,5 kA na baixa tensão.

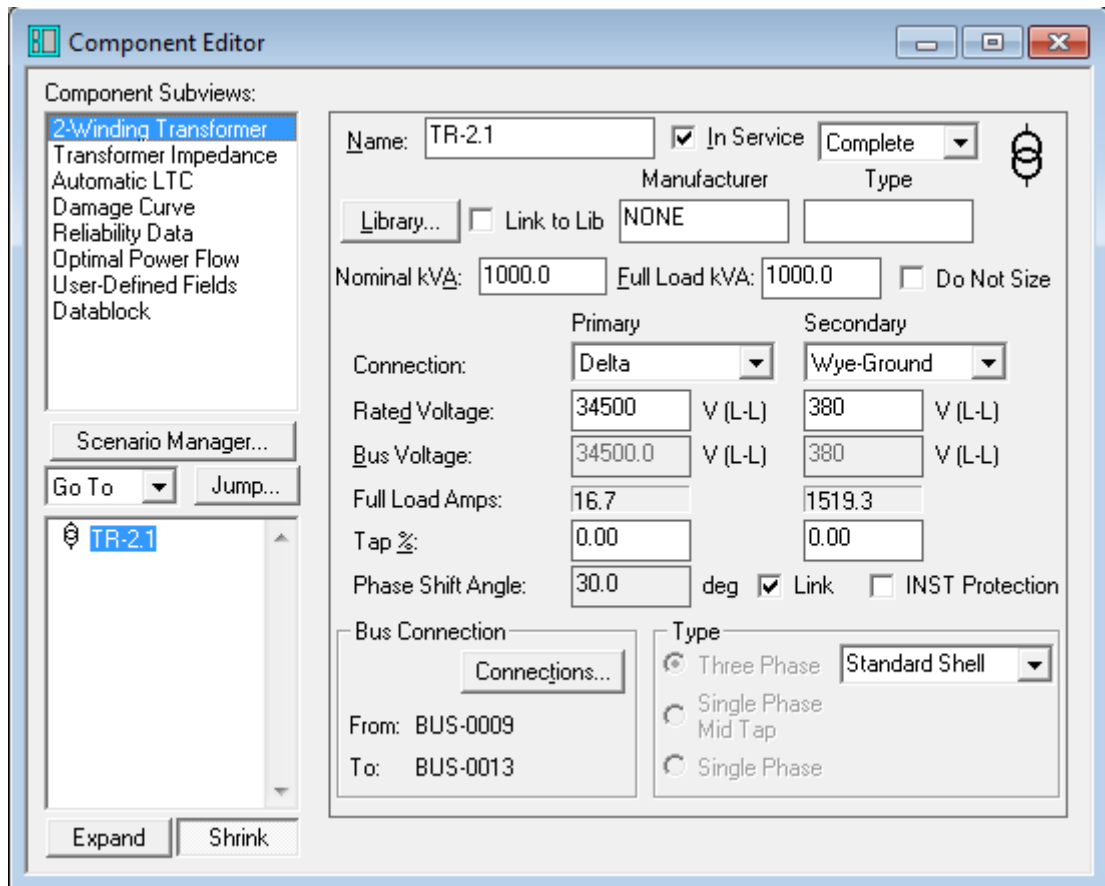


Figura 4.1 - Obtenção do valor da corrente de carga  
 Fonte: adaptado pela autora.

Pela configuração do sistema, é observado que o fusível deve suportar essa corrente de carga, mas o relé deve ser capaz de deixar passar essa corrente somada à do outro transformador ligado na barra de Média Tensão da subestação 02. A Figura 4.2 mostra a configuração do sistema, para que isso seja melhor visualizado.

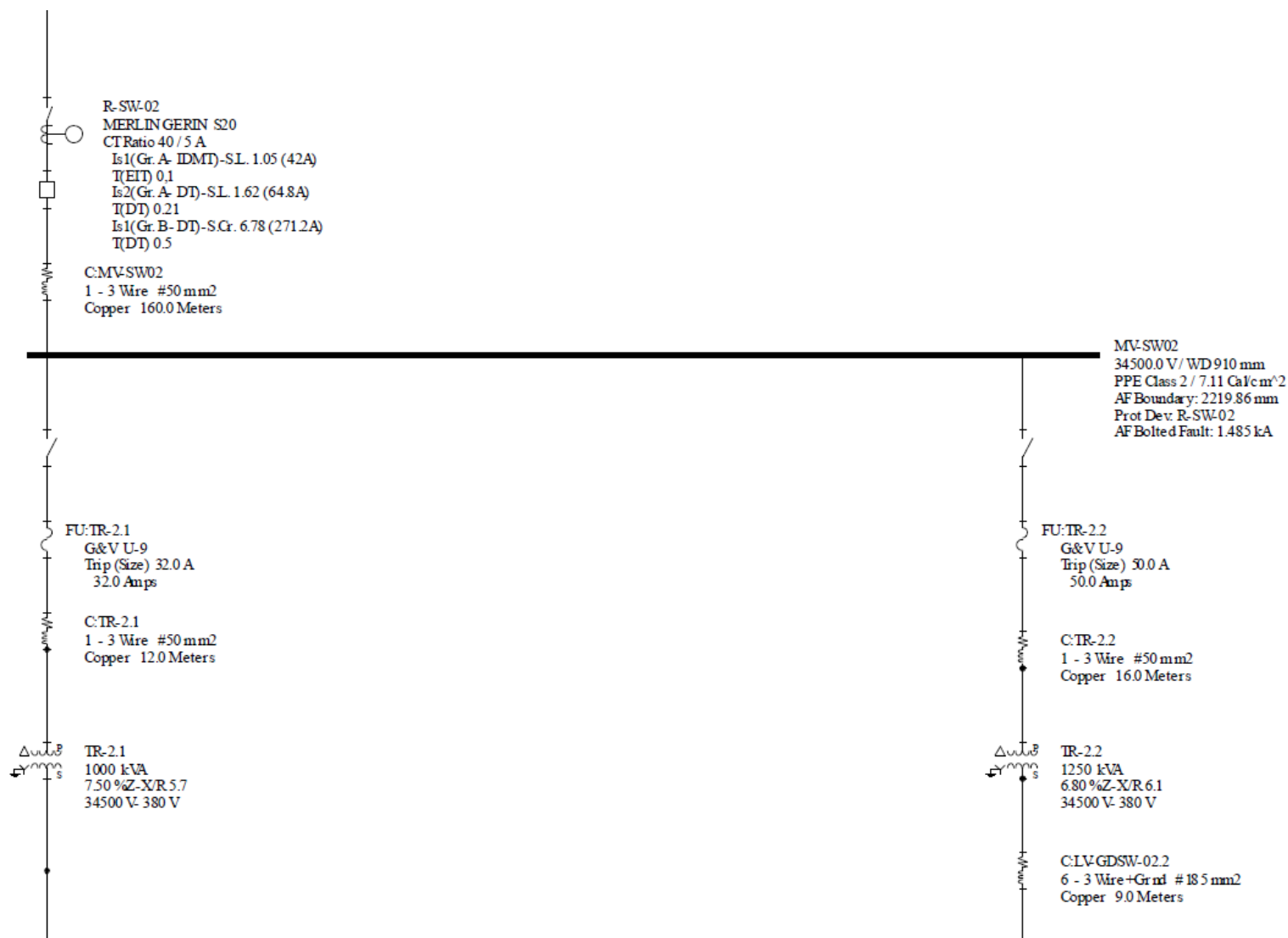


Figura 4.2 - Conexões entre equipamentos e dispositivos de proteção na média tensão da Subestação 02  
 Fonte: adaptado pela autora

A corrente à plena carga do transformador TR-2.2 é igual a 1,9 kA na barra de Baixa Tensão. Logo, o fusível R-SW-02 deve deixar passar a soma das duas correntes, que é igual a 3,4 kA.

Conhecendo esses valores, agora pode-se analisar as curvas de tempo x corrente (*Time Current Curve - TCC*) desses dispositivos.

Para gerar as curvas, os dispositivos de interesse são selecionados e, com o botão direito do *mouse*, escolhe-se a opção *Go to / Find* e depois *Go to TCC Drawing*. Criando um novo TCC, são obtidas as curvas mostradas na Figura 4.3.

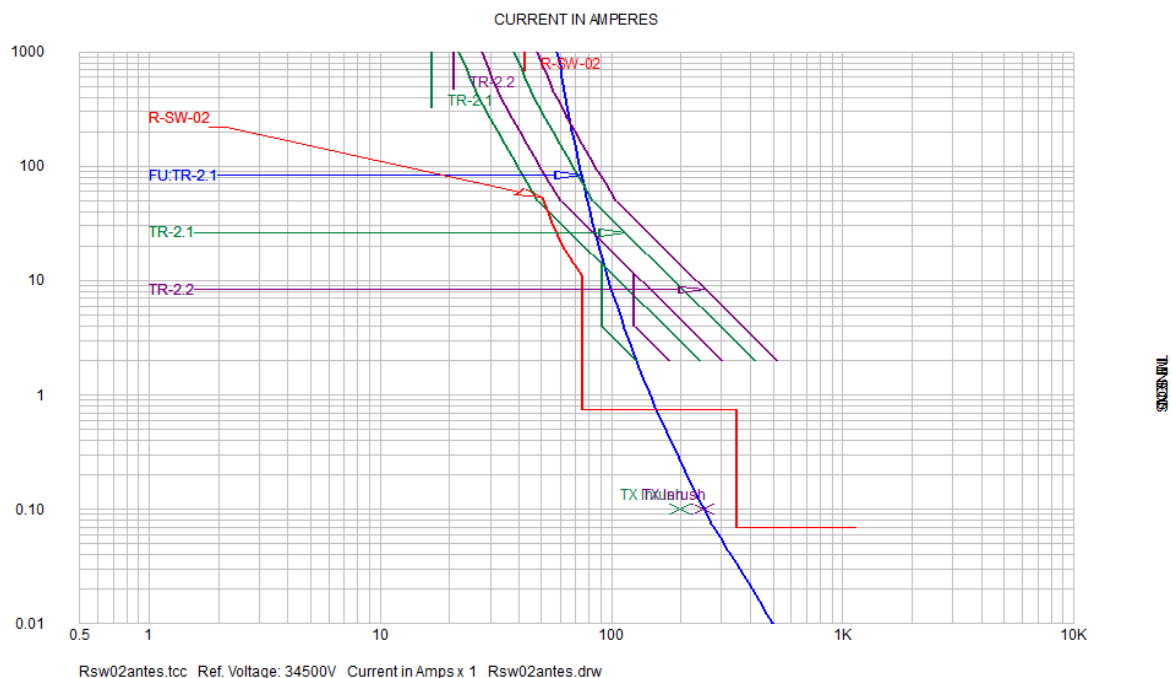


Figura 4.3 - Curvas de tempo x corrente  
Fonte: adaptado pela autora.

Como pode ser observado, a tensão base está configurada como 34.500 V. Porém, a energia incidente analisada é em um painel de BT. Assim, o gráfico é ajustado para o nível de baixa tensão, 380 V. Ajustando também as escalas de tempo e corrente para melhor acertar o gráfico, temos as curvas ajustadas na Figura 4.4.

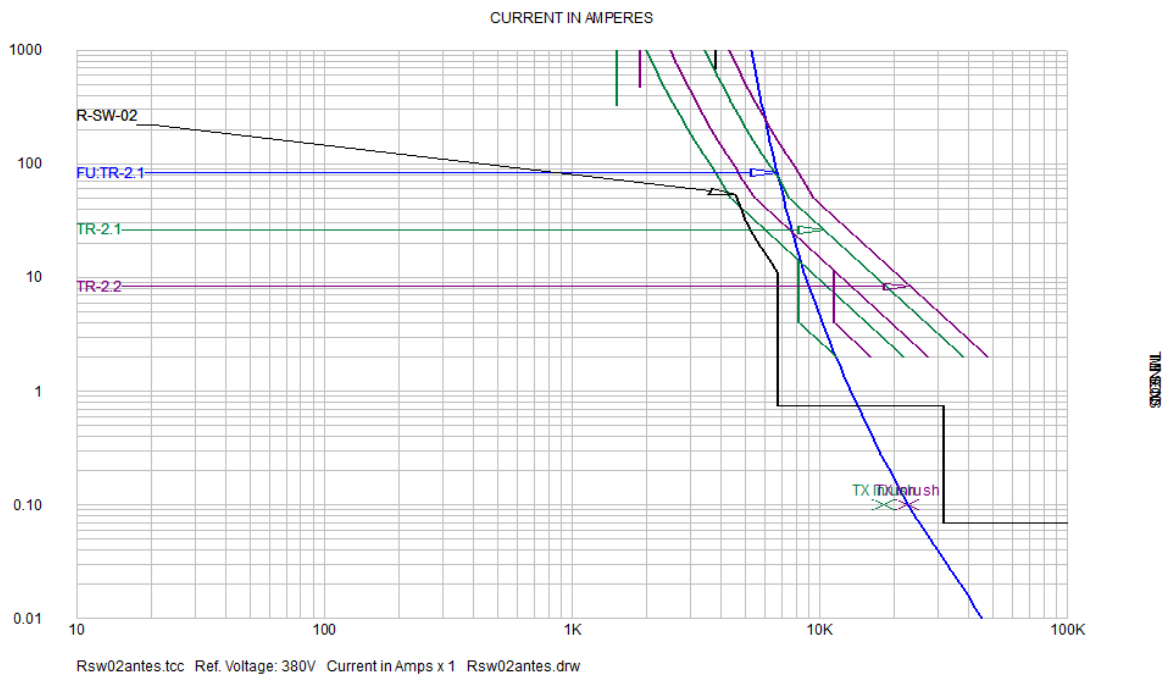


Figura 4.4 - Curvas de tempo x corrente ajustadas  
 Fonte: adaptado pela autora.

A corrente de carga que passa pelo fusível, cuja curva está em azul na Figura 4.5, é de 1,5 kA. Como pode ser observado na escala de corrente, esse valor não está na área de atuação do fusível.

Deve-se atentar também para a corrente *inrush* do transformador. O dispositivo de proteção deve permitir a passagem de corrente dessa magnitude pelo seu tempo de duração. Ou seja, o fusível deve ser capaz de deixar o transformador TR- 2.1 (curva verde na figura) ser energizado. Para isso, ele não deve atuar em um tempo menor ou igual ao da corrente *inrush* para o valor correspondente à sua magnitude. O ponto *inrush* é indicado na curva do transformador, e é onde há a marcação de um X na cor verde (que é a cor utilizada para a curva do transformador) na curva da Figura 4.4. Observa-se que com o ajuste atual o fusível está atendendo ao requisito mencionado.

A corrente para a qual a proteção deve agir mais rapidamente é a corrente de arco, igual a 8,27 kA. Pode-se observar na Figura 4.4 que, para esse valor de corrente, a duração está demasiado elevada. Assim, a primeira tentativa é deslocar a curva do fusível para a esquerda, para que esse tempo diminua. O fusível em questão não possui uma faixa de possíveis ajustes muito ampla, e a primeira opção de curva mais à esquerda é a mostrada na Figura 4.5.

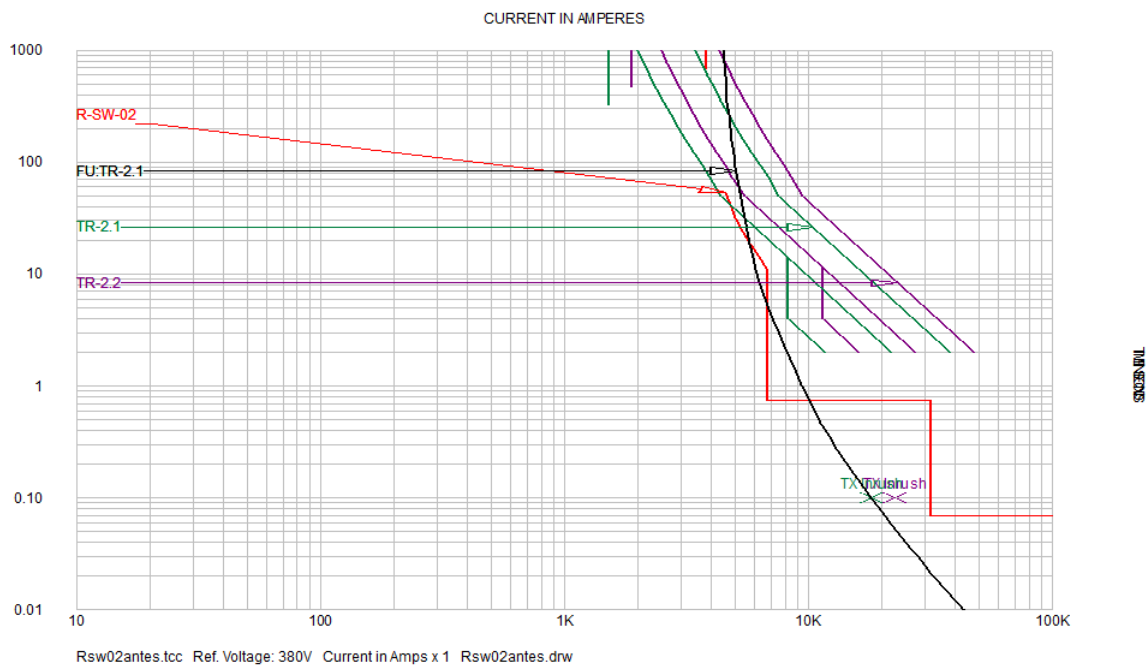


Figura 4.5 - Primeira tentativa de ajuste da curva do fusível  
 Fonte: adaptado pela autora.

Como se pode observar, a curva está passando exatamente por cima do ponto *inrush* do transformador que o fusível está protegendo. Com essa nova configuração, além de estar perigosamente em cima do ponto *inrush*, o que pode impedir de o transformador ser energizado, observa-se que, para a corrente de arco (8,27 kA), o relé ainda atua antes do fusível. Dessa forma, para esse defeito específico, o fusível não pode ser utilizado. Para reduzir a energia incidente, deve ser alterada a configuração do relé.

A curva correspondente ao relé é a vermelha nas Figuras 4.4, 4.5 e 4.6. Assim, pode-se observar que o tempo de 0,75 s que a falta está durando, é devido ao ponto onde a curva do relé cruza a corrente de arco, que nesse caso é em um tempo correspondente a aproximadamente 0,75 s.

Assim, a tentativa é mover para baixo a parte horizontal da curva do relé (parte de tempo definido), já que é nessa porção que a corrente de interesse se encontra. Movendo-a para baixo, o tempo de atuação reduz. Essa alteração está mostrada na Figura 4.6.

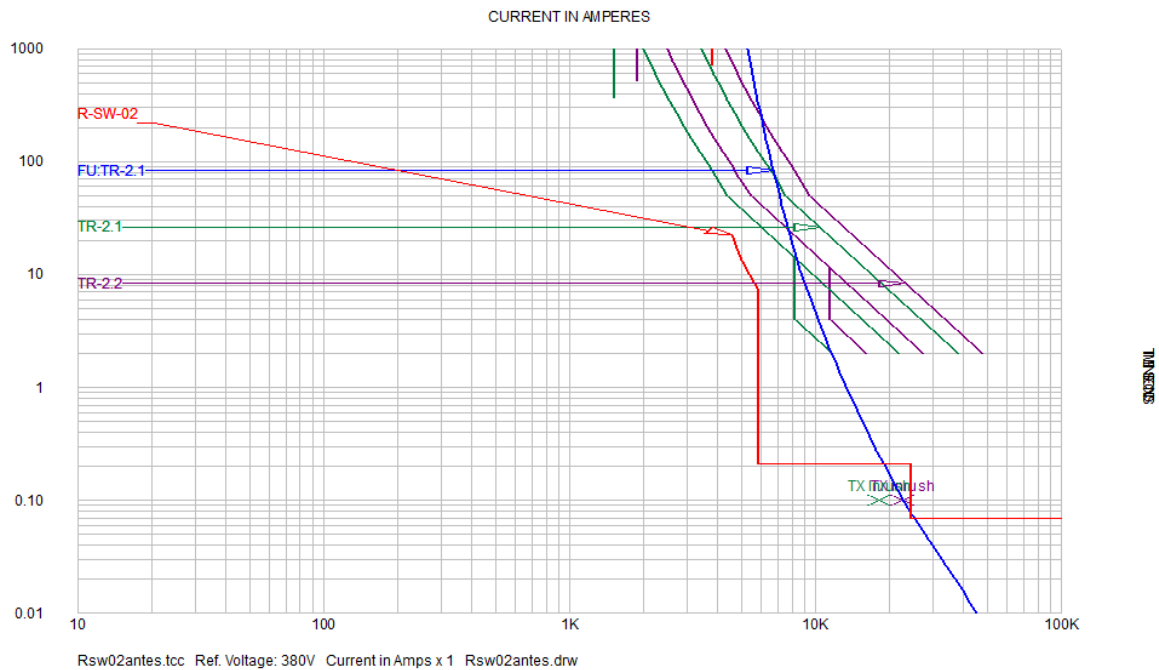


Figura 4.6 - Alteração dos ajustes do relé  
 Fonte: adaptado pela autora.

Mover a curva é uma maneira mais intuitiva e visual de mexer nos parâmetros do relé. Ao movê-la, os parâmetros armazenados no *Component Editor* automaticamente são alterados. Esses novos parâmetros são os dados que serão enviados para a manutenção da planta industrial para que sejam implementados no relé digital, para que a energia incidente aqui analisada diminua.

Observa-se também que a alteração feita não impactou a atuação do relé para uma corrente igual a 3,4 kA, que é a corrente de carga. A corrente *inrush* também não está na área de atuação do relé. Dessa forma, os ajustes foram alterados como mostra a Tabela 4.1. Os parâmetros em **negrito** são os que foram alterados.



Tabela 4.1 - Ajustes do relé R-SW-02 (Merlin Gerin Sepam S20. TC 40/5 A) antes e depois

<b>Ajustes Antes</b>	<b>Ajustes Depois</b>
Is1(Gr. A- IDMT)-S.L. 1,05 (42 A)	Is1(Gr. A- IDMT)-S.L. 1,05 (42 A)
<b>T(EIT) 0,24</b>	<b>T(EIT) 0,1</b>
Is2(Gr. A- DT)-S.L. 1,88 (75,2 A)	Is2(Gr. A- DT)-S.L. 1,62 (64,8 A)
<b>T(DT) 0,25</b>	<b>T(DT) 0,21</b>
Is1(Gr. B- DT)-S.Cr. 8,78 (351,2 A)	Is1(Gr. B- DT)-S.Cr. 6,78 (271,2 A)

Fonte: a autora

As informações entre parênteses no título da Tabela 4.1 indicam o fabricante e modelo do relé, assim como a relação de transformação nominal do TC que alimenta esse relé. Dessa forma, o valor base de corrente para os ajustes desse relé é a corrente do primário do Transformador de Corrente, que vale 40 A.

O manual do usuário do relé SEPAM S20, da SCHNEIDER ELECTRIC (2007), explica detalhadamente o que significa cada sigla indicada na Tabela 4.1, correspondente a um ajuste no relé.

Com os novos ajustes, o tempo que o sistema levou para isolar a falta caiu para 0,21s, reduzindo a energia do painel LV-GDSW-02 para 8,5 cal/cm<sup>2</sup>, para o curto-circuito analisado.

O painel LV-GDSW-02.2 apresentou uma energia também elevada, de 29 cal/cm<sup>2</sup>. Assim como o painel analisado anteriormente, este também é de BT e deriva do cubículo de MT da subestação 02. A análise feita para este painel é idêntica à feita para o LV-GDSW-02, mas agora com os transformadores TR-2.2 e fusível FU TR-2.2. Dessa forma, os ajustes feitos no relé R-SW-02 apresentados acima, também reduziram a energia incidente do painel LV-GDSW-02.2 para 10 cal/cm<sup>2</sup>.

Essas novas energias estão expostas no Anexo B, que mostra o estudo de arco com todos os novos ajustes propostos neste trabalho implementados.

## 4.2 PAINÉIS DE BT: LV-GDSW-03.2 e LV-GDSW-03.3

Os painéis LV-GDSW-03.2 e LV-GDSW-03.3 possuem configurações parecidas com os analisados na Seção 5.1. Ou seja, a falta que apresentou problemas foi a que ocorreu no *line side* dos disjuntores de entrada dos painéis de Baixa Tensão. Logo, da mesma forma, deve ser analisada a proteção à montante. Como são problemas análogos com soluções igualmente análogas, não será explicado aqui com tantos detalhes quanto no tópico anterior.

A diferença da presente configuração e a da Seção 5.1 é que o cubículo de MT da subestação 03, onde esses painéis se encontram, possui 3 saídas. Portanto, são três transformadores protegidos por um fusível cada, e um relé com disjuntor protege a Média Tensão do cubículo. Essa configuração pode ser observada na Figura 4.7.

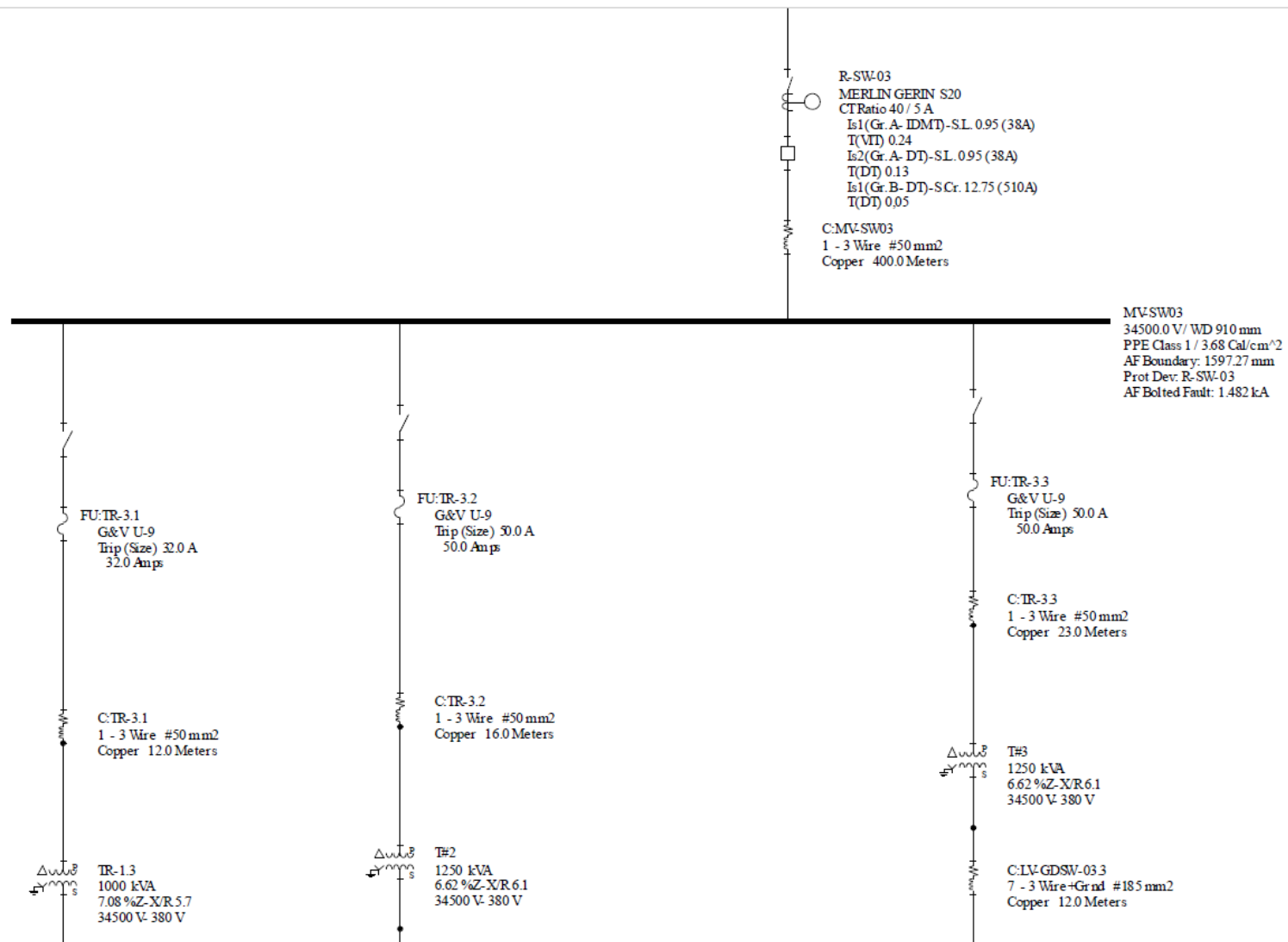


Figura 4.7 - Cubículo de média da subestação 03  
 Fonte: adaptado pela autora.

Entretanto, apenas os dois ramais mais à direita mostraram energias incidentes elevadas. A Figura 4.8 mostra as curvas de tempo x corrente do ramal onde se encontra o fusível FU TR-3.2 (ramal central), que alimenta o painel LV-GDSW-03.2 aqui analisado.

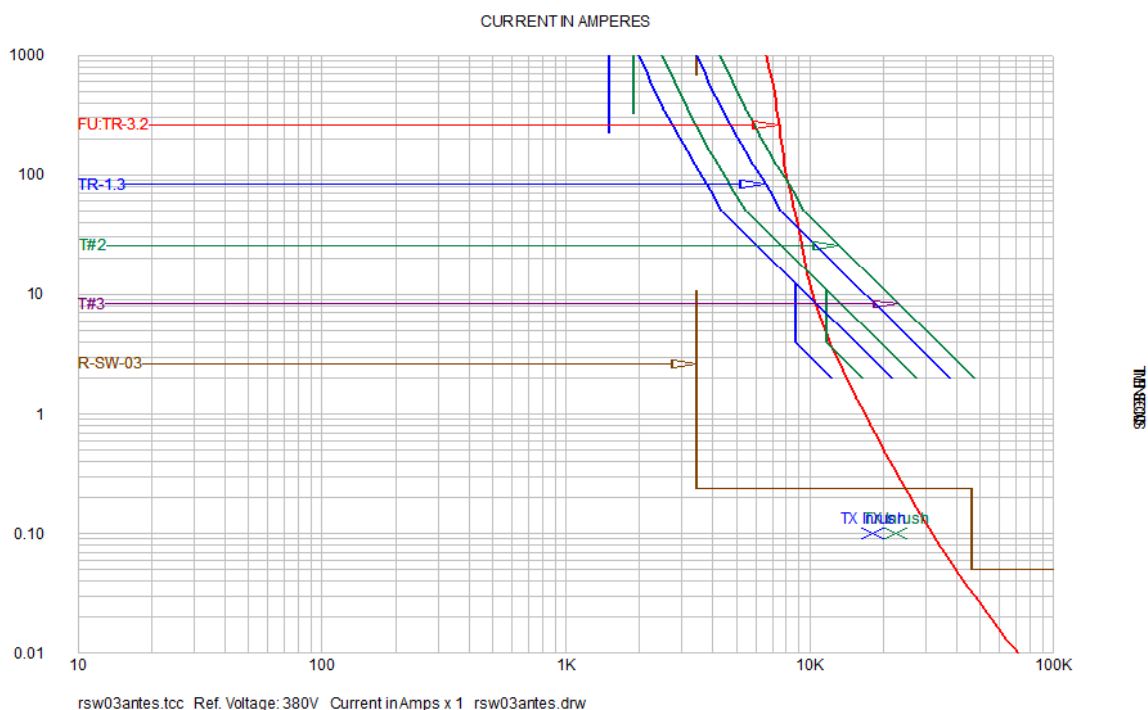


Figura 4.8 - Curvas tempo x corrente para análise do painel LV-GDSW-03.2  
Fonte: adaptado pela autora.

A corrente de arco que está gerando a energia incidente nesse painel é de 9,17 kA e está durando 0,24s. A energia incidente correspondente é de 12 cal/cm<sup>2</sup>. Pelos mesmos motivos analisados para os painéis de BT da Subestação 02, o dispositivo de proteção que irá resolver esse caso é o relé R-SW-03. Deve-se, portanto, mover a sua curva, para que seu tempo de atuação diminua para a corrente de arco em questão. Dessa forma, a configuração mostrada na Figura 4.9 é testada.

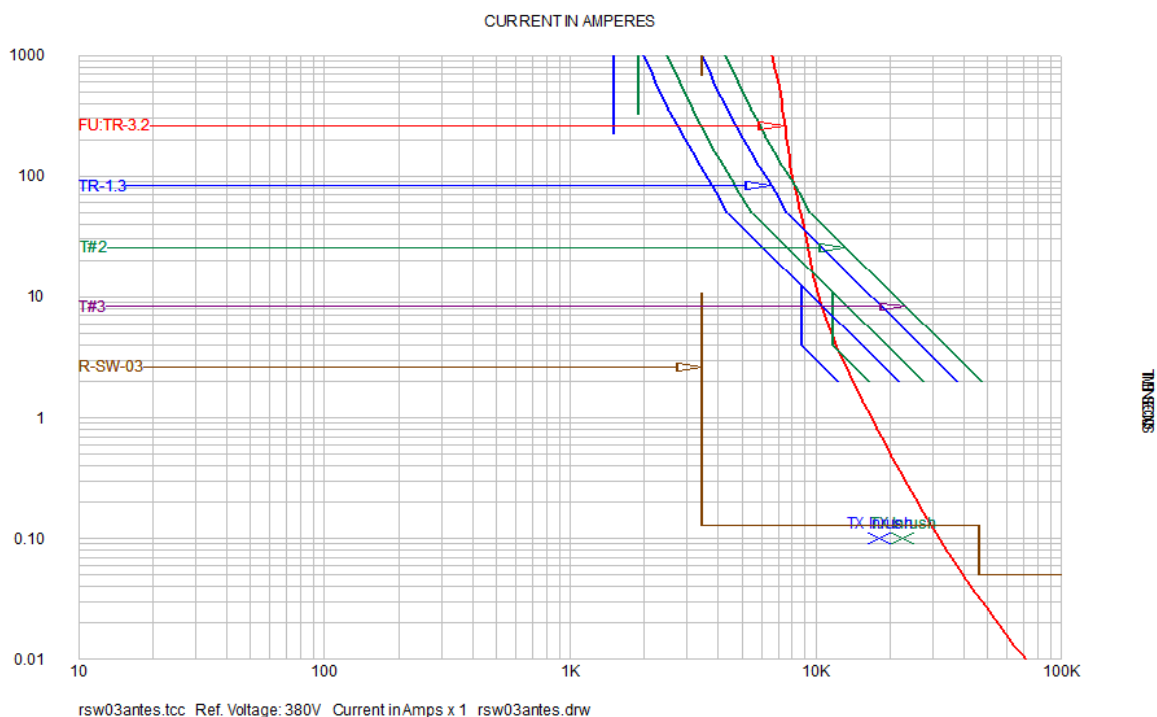


Figura 4.9 - Ajuste proposto para o relé R-SW-03  
 Fonte: adaptado pela autora.

Com essa configuração, como pode ser visto no Anexo B, o novo tempo de duração do arco vale 0,13 s e a energia incidente diminui para 8,3 cal/cm<sup>2</sup>.

Observa-se que a corrente *inrush* dos transformadores continuam fora da zona de operação do relé. Apesar de estarem próximas da curva, considera-se que a corrente *inrush* calculada pelo *software* possui uma folga de aproximadamente 15%. Logo, não há interferência na energização do transformador.

Entretanto, falta calcular a corrente de carga dos transformadores. Consultando as informações de cada transformador da subestação 03, encontra-se o valor de 5,3 kA para a carga total que o relé deve suportar, sem atuar. Pela Figura 4.9, observa-se que o relé está atuando, também em 0,13s, para tal corrente. Assim um novo ajuste deve ser proposto, de forma a não interferir na corrente de carga da subestação. O novo ajuste deve retirar da zona de atuação do relé a corrente de 5,3 kA. A Figura 4.10 mostra a tentativa para que isso ocorra.

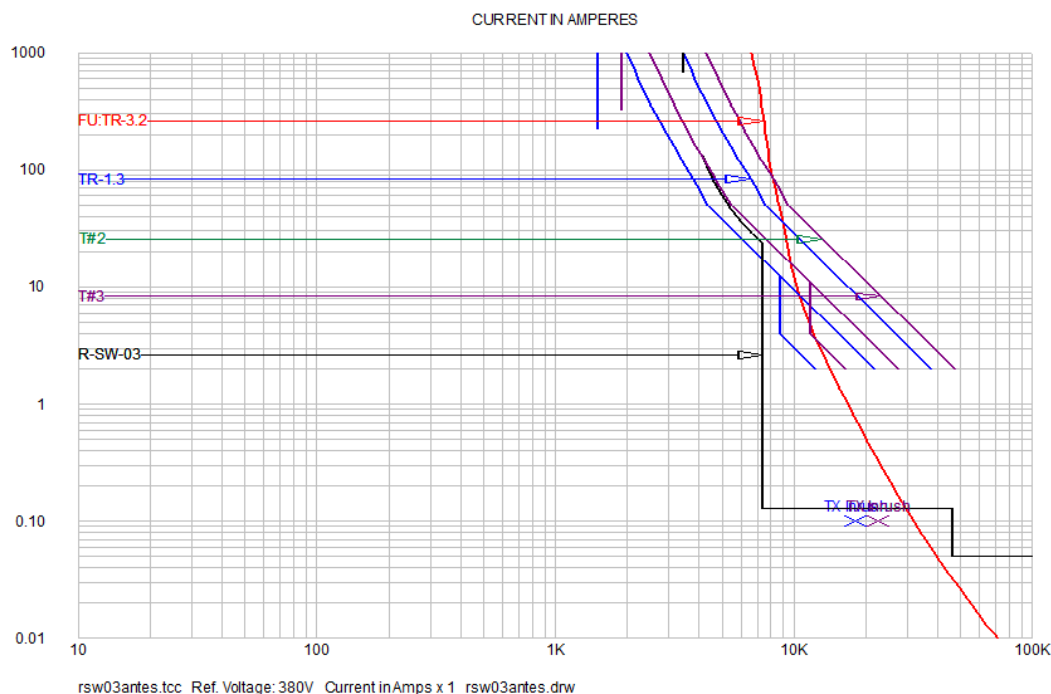


Figura 4.10 - Novo ajuste do relé R-SW-03  
 Fonte: adaptado pela autora.

É notório que, para esse novo ajuste, a corrente de carga se distanciou da zona de atuação do relé, mas a corrente de arco, de valor igual a 9,17 kA continua com o tempo de atuação igual a 0,13 s, mantendo a energia no valor de 8,3 cal/cm<sup>2</sup>. Assim, esse será o novo ajuste do relé R-SW-03. A Tabela 4.2 mostra os ajustes antes e depois da análise. Os parâmetros em negrito são os que foram alterados.

Tabela 4.2 - Ajustes do relé R-SW-03 (Merlin Gerin Sepam S20. TC 40 / 5 A) antes e depois

Ajustes Antes	Ajustes Depois
Is1(Gr. A- IDMT)-S.L. 0,95 (38 A)	Is1(Gr. A- IDMT)-S.L. 0,95 (38 A)
<b>T(VIT) 0.24</b>	<b>T(VIT) 3</b>
<b>Is2(Gr. A- DT)-S.L. 0,95 (38 A)</b>	<b>Is2(Gr. A- DT)-S.L. 2,04 (81,6A)</b>
<b>T(DT) 0,24</b>	<b>T(DT) 0,13</b>
Is1(Gr. B- DT)-S.Cr. 12,75 (510 A)	Is1(Gr. B- DT)-S.Cr. 12,75 (510 A)

Fonte: a autora.

Analogamente, com essa alteração no ajuste do relé, o painel LV-GDSW-03.3, que inicialmente encontrava-se com energia incidente igual a 13 cal/cm<sup>2</sup>, passou a apresentar energia de 8,8 cal/cm<sup>2</sup>.

### 4.3 PAINÉIS DE BT: LV-GDSW-04.2 e LV-GDSW-04.3

A subestação 04, assim como a subestação 03 analisada na Seção 5.2, também possui três transformadores e, portanto, três ramais de saída e três quadros gerais de Baixa Tensão. Assim como no caso da subestação 03, apenas dois desses ramais apresentaram problemas para um curto-circuito que ocorre a montante (*line side*) do disjuntor de entrada dos quadros de BT. Como o *site* industrial segue um padrão, esses transformadores também são protegidos por um fusível cada e, pelos mesmos motivos já analisados nas outras subestações, esses fusíveis também não operam para o defeito mencionado. Assim, é função do relé da MT reduzir as energias incidentes decorrentes dessas faltas.

A energia incidente no painel LV-GDSW-04.2 vale  $12 \text{ cal/cm}^2$ . A corrente que passa pelo relé, que é proporcional à corrente real do circuito, alcança  $9,10 \text{ kA}$  no circuito protegido pelo relé e dura  $0,24 \text{ s}$  (Anexo A). O objetivo, então, é diminuir esse tempo de atuação, para a corrente mencionada.

Uma vez que a situação é análoga às expostas anteriormente, a Figura 4.11 mostra as curvas de tempo x corrente referentes aos dispositivos e equipamentos envolvidos na atual análise.

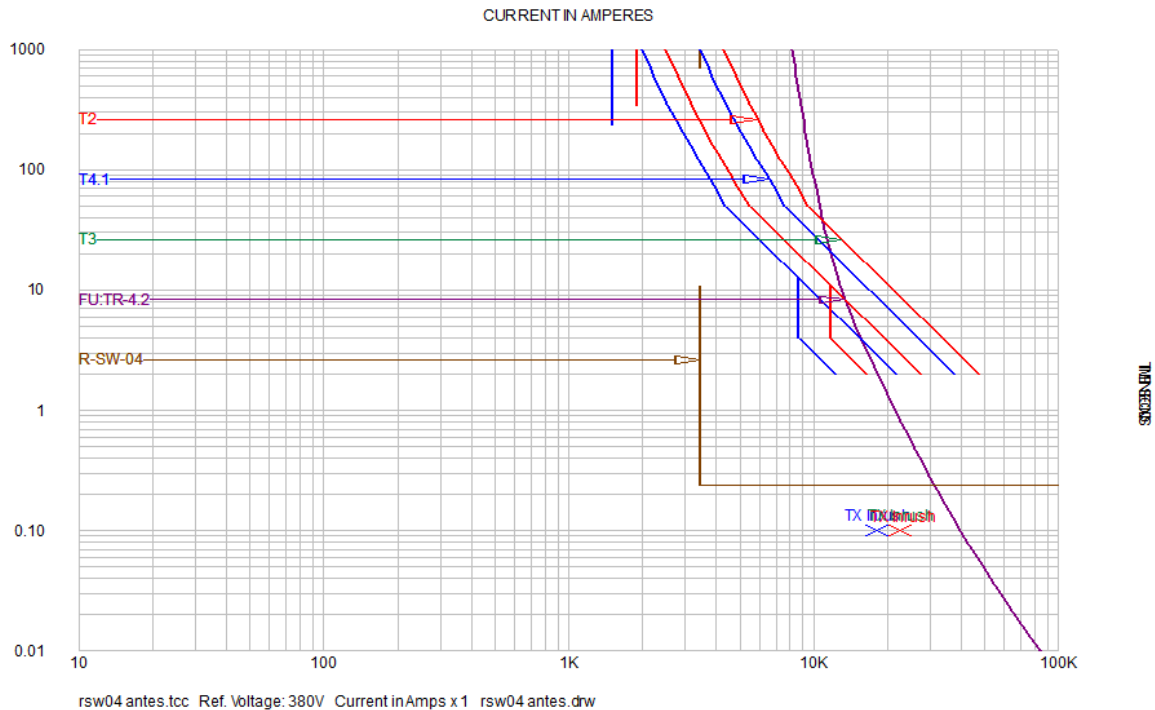


Figura 4.11 - Curvas tempo x corrente para análise do painel LV-GDSW-04.2  
 Fonte: adaptado pela autora.

A primeira tentativa é diminuir o tempo de atuação do relé para a corrente de arco de interesse. Então tenta-se deslocar a parte de tempo definido da curva do relé (em marrom) para baixo. Deve-se ter em mente, entretanto, a corrente de carga do sistema.

Novamente, através dos transformadores dessa subestação, obtém-se a corrente total a plena carga, que vale 5,3 kA. No ajuste com o qual a indústria opera hoje, o relé já faria o disjuntor desarmar, caso os três transformadores operassem a plena carga. Entretanto, o relé não desarma o disjuntor em condições normais de carga, o que indica que a indústria não está operando a plena carga.

Porém, uma vez que o ajuste do relé será alterado para reduzir energia incidente, aproveitaremos a ocasião para aumentar a corrente que o relé deixa fluir, sem que opere, para o caso de expansões futuras e aumento de carga no *site* estudado. As curvas referentes ao novo ajuste proposto estão mostradas na Figura 4.12.



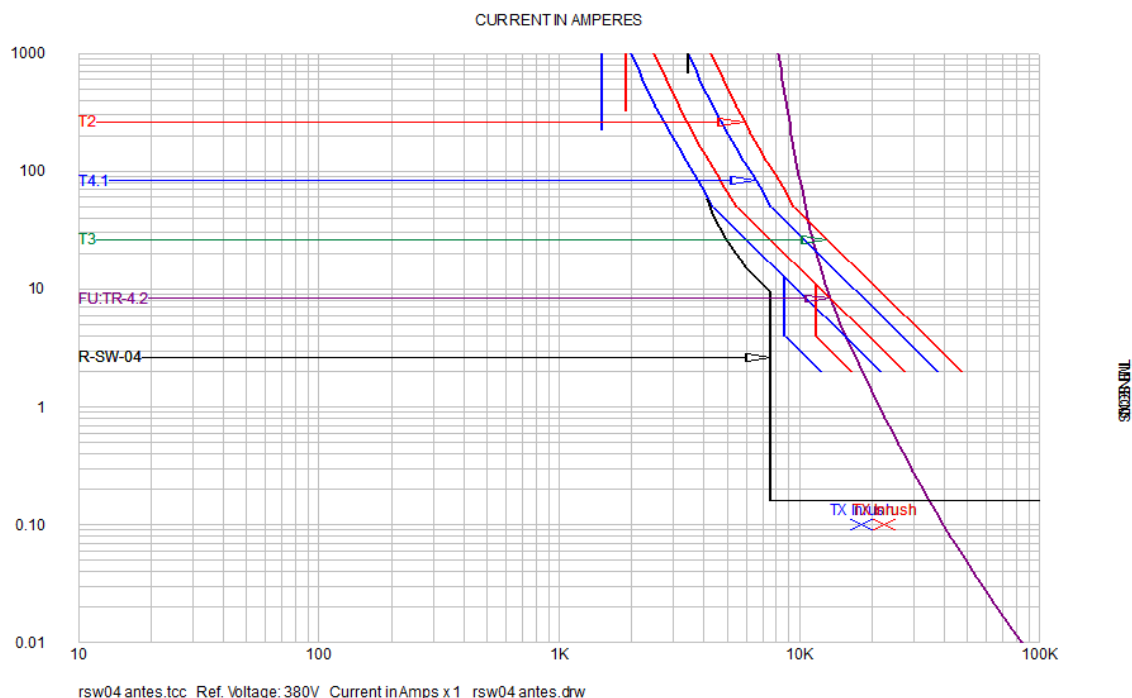


Figura 4.12 - Ajuste proposto para o relé R-SW-04  
 Fonte: adaptado pela autora.

Com o novo ajuste, o tempo que o relé leva para isolar a falta cai para 0,16s e a energia incidente por arco elétrico do painel LV-GDSW-04.2 diminui para 9,4 cal/cm<sup>2</sup>.

A Tabela 4.3 mostra os parâmetros antes e depois da análise. Aqueles em negrito são os que foram alterados.

Tabela 4.3 - Ajustes do relé R-SW-04 (Merlin Gerin Sepam S20. TC 40 / 5 A) antes e depois

Ajustes Antes	Ajustes Depois
Is1(Gr. A- IDMT)-S.L. 0,95 (38 A)	Is1(Gr. A- IDMT)-S.L. 0,95 (38 A)
<b>T(VIT) 0,24</b>	<b>T(VIT) 1,27</b>
Is2(Gr. A- DT)-S.L. 0,95 (38 A)	Is2(Gr. A- DT)-S.L. 2,09 (83,6 A)
<b>T(DT) 0,24</b>	<b>T(DT) 0,16</b>
Is1(Gr. B- DT)-S.Cr. 12,75 (510 A)	Is1(Gr. B- DT)-S.Cr. 12,75 (510 A)

Fonte: a autora.

Automaticamente, ao implementar o ajuste proposto, a energia incidente do painel LV-GDSW-04.3 também caiu de 12 cal/cm<sup>2</sup> para 9,4 cal/cm<sup>2</sup>.

#### 4.4 PAINEL DE BT LV-GDSW-QTA e QUADRO DE TRANSFERÊNCIA AUTOMÁTICA (QTA)

Os painéis LV-GDSW-QTA e QTA apresentaram energia incidente alta em algumas situações de curto-circuito diferentes. Todas essas situações envolvem os disjuntores DJ 1.1-1000 A e DJ 1.2-1000 A, que são os dois disjuntores de entrada do painel de BT LV-GDSW-QTA. Dessa forma, esses serão os dispositivos de proteção analisados neste tópico.

O primeiro curto-circuito que gerou energia incidente alta foi o aplicado no próprio barramento de Baixa Tensão do painel LV-GDSW-QTA. Para que o defeito pare de ser alimentado, e assim o arco se extinga, ambos disjuntores DJ 1.1-1000 A e DJ 1.2-1000 A devem abrir, como é possível observar na configuração do sistema mostrada na Figura 4.13, que também mostra a ligação com o painel QTA que será discutido mais à frente, nesta mesma Seção.

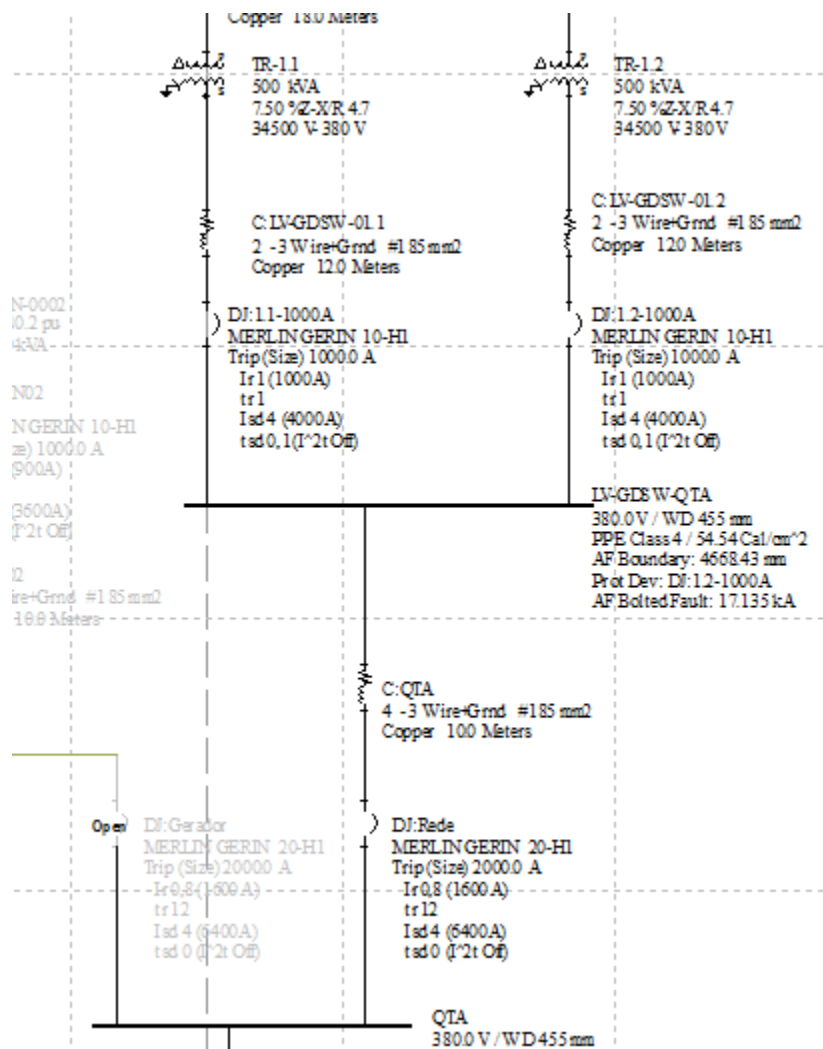


Figura 4.13 - Conexões entre equipamentos e dispositivos de proteção nos painéis LV-GDSW-QTA e QTA  
Fonte: adaptado pela autora.

As correntes que passam pelos disjuntores têm a mesma magnitude e são iguais a 4,33 kA na rede de Baixa Tensão. O tempo que ambos disjuntores levam para isolar uma falta é igual a 2s, o que é considerado muito alto, e por isso gerando uma energia incidente de 55 cal/cm<sup>2</sup> no quadro de BT analisado.

Os disjuntores DJ 1.1-1000 A e DJ 1.2-1000 A devem ser capazes de conduzir as correntes de carga dos transformadores a montante de cada um deles, sem desarmar. Essas correntes têm a mesma magnitude, uma vez que os transformadores são iguais, e valem 1,5 kA.

A Figura 4.14 mostra as curvas dos disjuntores em questão. Observa-se que para a corrente de arco (4,33 kA), ambos apresentam tempos muito elevados.

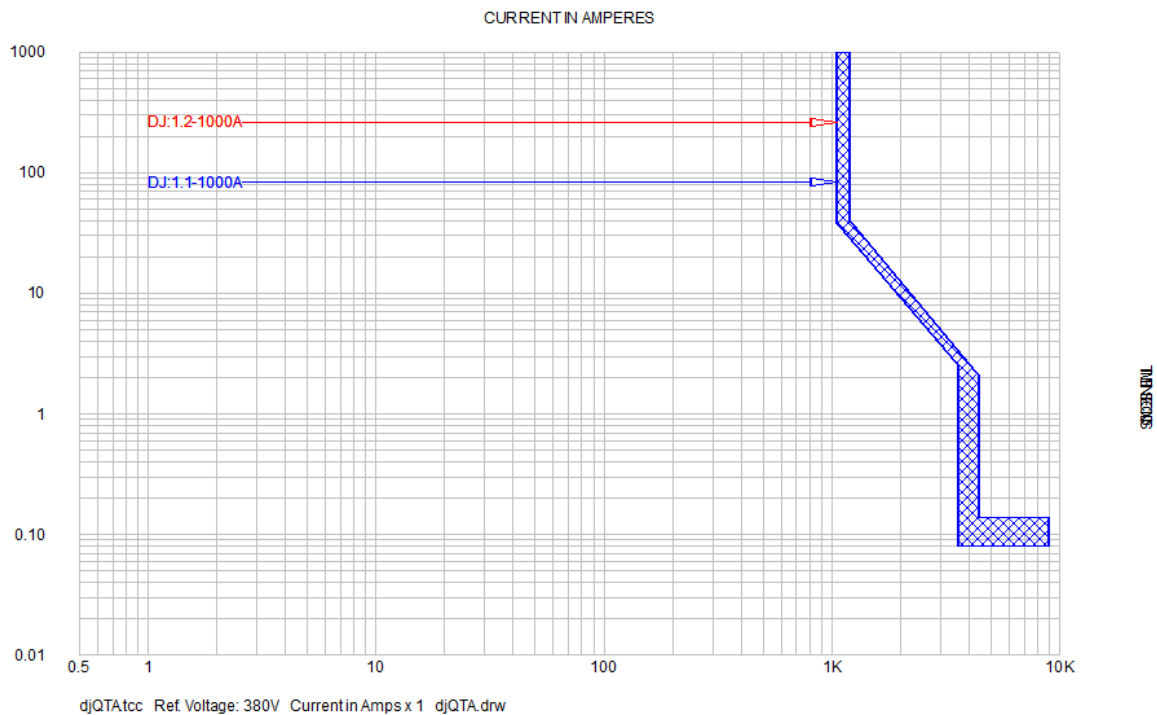


Figura 4.14 - Curvas tempo x corrente dos disjuntores DJ 1.1-1000 A e DJ 1.2-1000 A  
 Fonte: adaptado pela autora.

Para essa análise, não é preciso geraras curvas dos transformadores, uma vez que eles estão a montante dos disjuntores .O próximo passo, então, é tentar diminuir o tempo dos disjuntores para a corrente de arco que passa por eles.

Alterando, primeiramente, o ajuste do disjuntor DJ 1.1-1000 A, a energia incidente do painel diminui para 31 cal/cm<sup>2</sup>. Essa energia diminui um pouco porque agora apenas o ramal do disjuntor DJ 1.2-1000 A continua demorando para operar. O disjuntor DJ 1.1-1000 A agora opera em 0,08s. A Figura 4.15 mostra as curvas de tempo corrente para a alteração de ajuste feita.

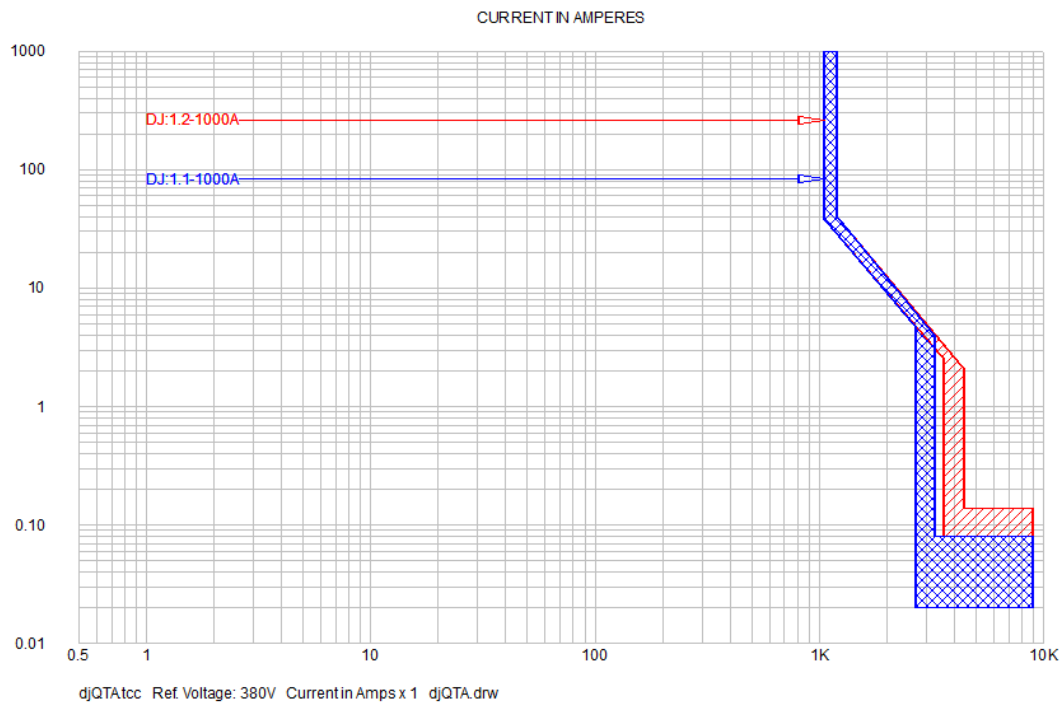


Figura 4.15 - Ajuste proposto para o disjuntor DJ 1.1-1000 A  
 Fonte: adaptado pela autora.

Entretanto, esse valor ainda não está abaixo do limite considerado de  $12 \text{ cal/cm}^2$ . Assim, deve-se alterar também as configurações do disjuntor DJ 1.2-1000 A. A Figura 4.16 mostra ambos disjuntores com a nova configuração.

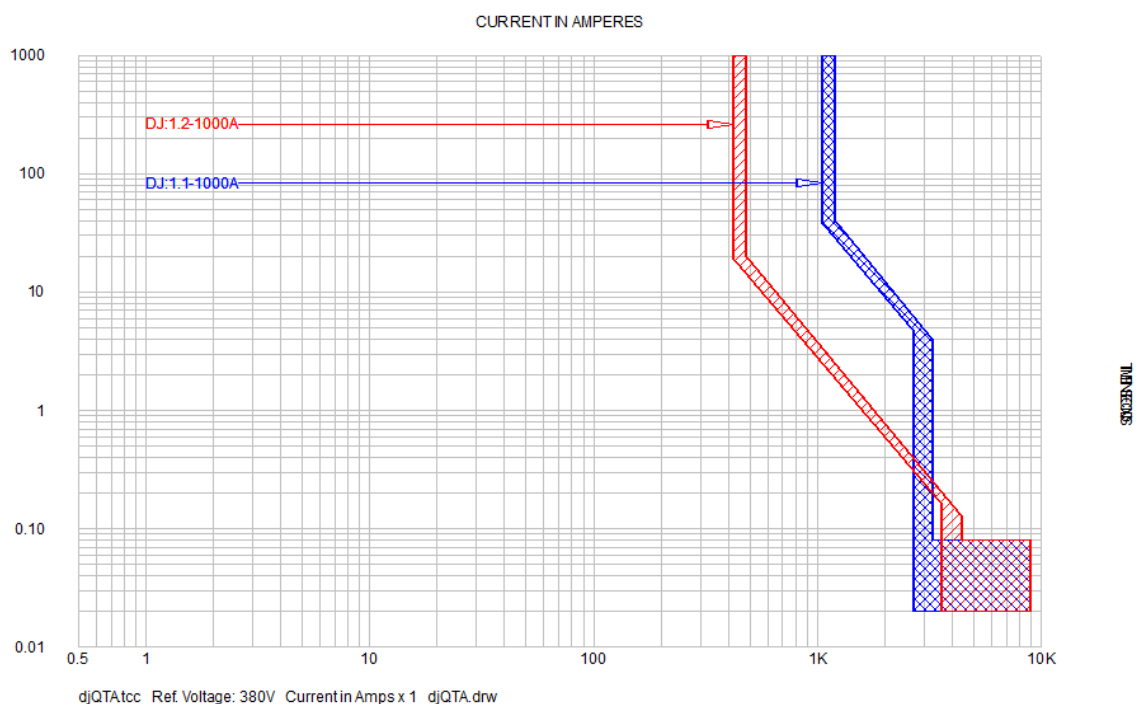


Figura 4.16 - Curva tempo x corrente com novos ajustes dos disjuntores DJ 1.1-1000 A e DJ 1.2-1000 A  
 Fonte: adaptado pela autora.

Observa-se que a corrente a plena carga está na região de operação para ambos disjuntores. Entretanto, isso já ocorre da forma como o *site* opera hoje, e os disjuntores não desarmam. Conclui-se, portanto, que não opera a plena carga. Como esses dispositivos não dão flexibilidade de ajuste suficiente para conciliar redução de energia com passagem de corrente a plena carga, por segurança, escolhe-se reduzir a energia incidente por arco elétrico.

Com isso posto, obtém-se a nova energia incidente para o defeito analisado no painel LV-GDSW-QTA igual a 3,3 cal/cm<sup>2</sup>.

As Tabelas 4.4 e 4.5 mostram os parâmetros dos disjuntores antes e depois da análise. Os parâmetros em **negrito** são os que foram alterados.

Tabela 4.4 - Ajustes do Disjuntor DJ 1.1-1000 A (Merlin Gerin Schneider) NW10H1

<b>Ajustes Antes</b>	<b>Ajustes Depois</b>
Ir = 1 (1000A)	Ir = 1 (1000A)
Tr = 1 s	Tr = 1 s
Isd 4 x Ir (4000)	IIsd 3 x Ir (3000A)
Tsd 0,1	Tsd 0

Fonte: a autora.

Tabela 4.5 - Ajustes do Disjuntor DJ 1.2-1000 A (Merlin Gerin Schneider) NW10H1

<b>Ajustes Antes</b>	<b>Ajustes Depois</b>
Ir = 1 (1000A)	Ir = 0,4 (400A)
Tr = 1 s	Tr = 0,5 s
Isd 4 x Ir (4000)	IIsd 10 x Ir (10000A)
Tsd 0,1	Tsd 0

Fonte: a autora.

Os dois disjuntores aqui estudados também têm impacto direto na energia incidente do painel QTA, como pode ser observado na Figura 4.13. Para um defeito no *line side* do disjuntor de entrada desse painel, a sua energia incidente era de 53 cal/cm<sup>2</sup>. Com o novo ajuste, esse valor caiu para 3,3 cal/cm<sup>2</sup>.

Após a alteração de todos os ajustes analisados ao longo deste Capítulo, o estudo de arco elétrico foi executado para os demais cenários, que representam os outros regimes de operação da planta.

Nenhum painel apresentou energia incidente elevada além do valor de 12 cal/cm<sup>2</sup> previamente convencionado como limite. Conclui-se, assim, que os ajustes feitos consertaram também possíveis energias incidentes elevadas nos outros cenários.

Dessa forma, foram geradas etiquetas que indicam quais EPI devem ser utilizados para operar cada um desses painéis analisados. Essas etiquetas foram criadas com base em uma tabela cedida pela empresa que gerencia o parque industrial onde foi aplicado o presente estudo - Tabela 4.6.

Tabela 4.6 - Tabela Corporativa Usada para Seleção de EPI

Intervalo de Energia Incidente (cal/cm <sup>2</sup> )	Categoria de Risco	Descrição da Roupa	Camadas da Roupa	Mínima Classificação de Arco de EPI Requerida (cal/cm <sup>2</sup> )
0 - 1,2	0	Óculos de segurança, luvas isolantes, camisa de manga comprida com calça - fibra natural	1	N/A
1,2 - 6	1	Óculos de segurança, luvas isolantes, proteção para os pés, capacete, escudo facial à prova de arco, camisa e calça 0,2 Kg/m <sup>2</sup> , Nomex FR	1	6
6 - 20	2	Óculos de segurança, luvas isolantes, proteção para os pés, capacete, macacão com capuz à prova de arco, camisa e calça 0,2 kg/m <sup>2</sup> Nomex FR, sobretudo 0,2 kg/m <sup>2</sup> Nomex FR, proteção auditiva	2	20
20 - 40	3	Óculos de segurança, luvas isolantes, proteção para os pés, capacete, macacão com capuz à prova de arco, macacão Nomex FR40 cal/cm <sup>2</sup> , proteção auditiva		40
40 - 100	4	Óculos de segurança, luvas isolantes, proteção para os pés, capacete, macacão com capuz a prova de arco, macacão Nomex FR100 cal/cm <sup>2</sup> , proteção auditiva		100
100 - 999	5	Perigo–Não há roupa disponível para esse nível. NÃO ACESSE, a não ser que toda alimentação elétrica para esse equipamento esteja desenergizada.		

Fonte: adaptado de PIONEER

O *software* utilizado gera, automaticamente, todas as etiquetas para serem enviadas para o líder da manutenção do parque industrial. A Figura 4.17 exemplifica uma delas.



 <h1 style="margin: 0;">ATENÇÃO</h1> <p style="margin: 0;">Somente Pessoal Autorizado</p>	
<p>Risco de Arco e Choque Elétrico Obrigatório o uso de EPI adequado</p>	
<p>Nomex: Categoria I</p>	
<p>Luva isolante: Classe 00</p>	
<p>CCM-23B</p>	
<p>➡ Origem: --Painel-- --Disjuntor--</p>	<p>Destino ➡: --Destino1-- --Destino2--</p>
<p><b>380 V</b> <i>Tensão interna</i></p> <p><b>1,7 cal/cm<sup>2</sup></b> <i>Energia do arco na distância de trabalho</i></p> <p><b>0,45 m</b> <i>Distância de trabalho</i></p> <p><b>0,57 m</b> <i>Fronteira de aproximação (zona livre de arco)</i> <i>Óculos de segurança, proteção para os pés, capacete,</i> <i>Cat. I proteção auricular, protetor facial para arco elétrico, vestimenta</i> <i>Nomex 6ATPV + Luva isolante Classe 00</i></p> <p><b>0,70 m</b> <i>Zona controlada (apenas pessoal autorizado)</i></p> <p><b>0,20 m</b> <i>Zona restrita (risco iminente de choque elétrico)</i></p> <p><b>22/10/2018</b> <i>Data</i></p>	

Figura 4.17 - Etiqueta de risco de arco e choque elétrico, a ser fixada nos painéis elétricos

Fonte: adaptado pela autora.

Como se pode observar, ela contém as informações mais relevantes, em termos de arco elétrico, para um operador: energia incidente do painel, fronteira de aproximação e os EPI que devem ser utilizados.

A tabela de resultados do estudo de arcos elétricos e distâncias de aproximação (Anexo A) contém três fronteiras estabelecidas a partir de distâncias do ponto energizado exposto, de acordo com critérios do padrão IEEE1584: aproximação

proibida; aproximação restrita e aproximação limitada. Essa informação também é mostrada na etiqueta gerada.

## 5 CONCLUSÕES

### 5.1 CONCLUSÕES GERAIS

O estudo de energia incidente por arco elétrico requer profundo conhecimento do sistema elétrico em questão, assim como conhecimento e domínio dos conceitos apresentados no Capítulo 2.

Compreender o fenômeno do arco elétrico, exposto na Seção 2.1, levou a entender a gravidade do seu risco, e assim, a importância da redução de sua energia incidente.

Dominar o conceito de curto-circuito, assim como entender maneiras de calculá-lo mostrou-se necessário, uma vez que a corrente de arco-elétrico é diretamente relacionada com a corrente de curto-circuito, e as interferências feitas no sistema para reduzir a energia incidente dos painéis, foram em seus equipamentos de proteção, que são dimensionados primeiramente de acordo com as correntes de curto-circuito.

Entender conceitos de sistemas de proteção, tais como coordenação e seletividade é indispensável para a análise feita no Capítulo 4 deste trabalho, onde ficou evidente que um dos desafios aqui envolvidos é obter baixa energia incidente nos barramentos e manter a sua coordenação e seletividade. Algumas vezes, optou-se por abrir mão da seletividade para reduzir os riscos de algum painel, uma vez que o objetivo era a redução das energias incidentes.

No fim do Capítulo 4 foi atingido o objetivo de análise de todos os possíveis cenários de operação do sistema, para que não haja nenhum caso em que a energia incidente de algum painel elétrico, na ocorrência de arco, possua valor elevado.

O objetivo principal deste trabalho, que era fazer uma análise de energia incidente por arco elétrico em um *site* industrial e propor mudanças no seu sistema elétrico para mitigar os riscos de acidentes devidos à exposição a essa energia, foram atingidos com as exposições apresentadas nos Capítulos 3 e 4.

Finalmente, para os casos onde as energias superem  $1,2 \text{ cal/cm}^2$ , que é aquela suficiente para causar queimaduras de segundo grau na pele humana, é importante especificar corretamente os EPI cujo *ATPV* (*Arc Thermal Performance Value*) supere os valores de energia de arco encontradas no painel pertinente.

Para todos os painéis estudados, foram alcançadas soluções satisfatórias, uma vez que as energias incidentes se reduziram para valores para os quais existem EPI adequados.

O assunto aqui abordado muitas vezes não é tratado com relevância pelas empresas, por ainda não estarem previstas em normas regulamentadoras nacionais a análise e mitigação de riscos provenientes desse fenômeno. Algumas vezes, a redução da energia incidente pode envolver custos para a companhia, como por exemplo no caso de precisar trocar um disjuntor por um mais rápido, ou instalar uma botoeira para acionamento remoto. Como não são investimentos que se traduzem em receita para a empresa, eles podem não ser bem recebidos.

Aqui foram propostas soluções que não geram impacto no custo da companhia, e aumentam a segurança para os trabalhadores. Dessa forma, as etiquetas geradas para os painéis foram enviadas para o Líder de Manutenção do *site* industrial de beneficiamento de milho, e foram devidamente fixadas nos painéis.

## 5.2 SUGESTÃO PARA TRABALHOS FUTUROS

Trabalhos futuros podem analisar a utilização de dispositivos adicionais para a redução da energia incidente, como limitadores de corrente, assim como outras soluções para redução de energia que envolvam custos maiores, tais como: redução da corrente de curto-circuito do sistema e alteração das configurações dos barramentos.

Outra vertente é a análise do número de acidentes relacionados a esse risco em um período de tempo e as suas causas, tais como falta de EPI, falta de etiqueta nos painéis, falta de conhecimento dos profissionais e assim, propor soluções para a redução das energias que não envolvam alterações na topologia do sistema elétrico.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] ANDRADE, Camila. **O que é fusível e quais suas categorias**. Sala da Elétrica, julho 2017. Disponível em <https://www.saladaeletrica.com.br/fusivel/>. Acesso em agosto de 2018.
- [2] ANSI - American National Standards Institute. **About ANSI**. Disponível em: [https://www.ansi.org/about\\_ansi/overview/overview?menuid=1](https://www.ansi.org/about_ansi/overview/overview?menuid=1) Acesso em agosto de 2018.
- [3] \_\_\_\_\_. **ANSI/IEEE Std C37.010-2016 - IEEE application guide for AC high-voltage circuit breakers**. New York, 2017
- [4] \_\_\_\_\_. **ANSI/IEEE Std C37.13-2015 -Standard for low-voltage AC power circuit breakers used in enclosures**. New York, 2015
- [5] ASSIS, Tatiana M. L. **Faltas Simétricas**. Material didático da disciplina Proteção de Sistemas Elétricos, Rio de Janeiro: Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2018.
- [6] C.R. Mason, *The Art and Science of Protective Relaying*, Wiley, 1956
- [7] COGE - Fundação Comitê de Gestão Empresarial *apud* RESENDE, F. B. **Relatório de Estatísticas de Acidentes no Setor Elétrico Brasileiro**, 2013. Belo Horizonte, 2016.
- [8] DeSHAW, Brandon. **The “Godfather” of the Arc Flash Study**. Global Energy Laboratories - GeL. Disponível em: <http://www.globalenergylaboratories.com/the-godfather-of-the-arc-flash-study/>. Acesso em abril de 2018.
- [9] DIEESE - Departamento Intersindical de Estatística e Estudos Socioeconômicos. **Terceirização e morte no trabalho: um olhar sobre o setor elétrico brasileiro**. São Paulo, 2010.
- [10] DOUGHTY, R. L., NEAL, T. E. e FLOYD, H. L., **Predicting incident energy to better manage the electric arc hazard on 600-V power distribution systems**, IEEE Transactions on Industry Applications, Nova Jersey, 2000.
- [11] ENGEPOWER. **Estudos de curto-circuito, proteção e seletividade em sistemas elétricos industriais**. Apostila de curso da empresa EngePower. Editora VAMP. Santana do Parnaíba, 2018.
- [12] FISCHER L. K. **The Dangers of Arc-Flash Incidents**. Maintenance Technology, fevereiro de 2004. Disponível em: <http://www.mt-online.com/article/0204arcflash>. Acesso em agosto de 2018.
- [13] FORTESCUE ,C. L. **Method of symmetrical co-ordinates applied to the solution of polyphase networks**. Annual Convention of the American Institute of Electrical Engineers, Atlantic City, N. J., 1918.

- [14] FUHR, Robert E. **Why are we recommending Arc Flash Hazard Studies for your facility?** Power Studies, Inc. Disponível em <https://www.powerstudies.com/sites/www.powerstudies.com/files/Why%20Arc%20Flash%20Study%20%26%20OSHA.pdf> Acesso em março de 2012.
- [15] GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. São Paulo: Ed. Atlas, 2002.
- [16] GRAINGER, John J., STEVENSON, William D. **Power System Analysis**. 1st Edition. Singapura, 1994
- [17] IEC - *International Electrotechnical Commission*, **About IEC**, Disponível em <https://www.iec.ch/about/> Acesso em agosto de 2018
- [18] \_\_\_\_\_. **Electropedia IEC**, 1995. Disponível em <http://www.electropedia.org/iev/iev.nsf/display?openform&ievref=448-11-01>. Acesso em agosto de 2018
- [19] \_\_\_\_\_. **IEC 60909 Short-circuit currents in three-phase a.c. systems - Part 0: Calculation of currents**. Genebra, 2016.
- [20] \_\_\_\_\_. **IEC 61363-1 Electrical installations of ships and mobile and fixed offshore units - Part 1: Procedures for calculating short-circuit currents in three-phase a.c.** Genebra, 1998.
- [21] IEEE - Institute of Electrical and Electronics Engineers. IEEE 1584 **Guide for Performing Arc-Flash Hazard Calculations**. New York, USA, 2002.
- [22] \_\_\_\_\_. **IEEE 1584b-2011 – IEEE Guide for Performing Arc-Flash Hazard Calculations**. Piscataway, Nova Jersey, EUA, 2011.
- [23] J. Grainger, W. D. Stevenson Jr., *Power System Analysis*, McGraw-Hill, 1994.
- [24] LEE, Ralph H. **The Other Electrical Hazard: Electrical Arc Blast Burns**. IEEE Transactions on Industry Applications, v. IA-18, p. 246-251, 1982.
- [25] M. Lang e T. Neal, **Arc Flash Basics: Testing Update**. Newburyport, 2012.
- [26] MARGOLIN, Scott. **What are the main causes of an Arc Flash?** Tyndale, EUA, 2017. Disponível em <http://tyndaleusa.com/blog/2017/11/14/what-are-the-main-causes-of-an-arc-flash/>. Acesso em junho de 2018.
- [27] \_\_\_\_\_. **What is an Arc Flash?** Tyndale USA, October 3, 2017. Disponível em <http://tyndaleusa.com/blog/2017/10/03/what-is-an-arc-flash/>. Acesso em junho de 2018.
- [28] MOGEL, Samuel. **Acr Flash - Is it Really That Dangerous?** Power Studies, 2017. Disponível em <https://www.powerstudies.com/blog/arc-flash-%E2%80%93-it-really-dangerous>. Acesso em junho de 2018.
- [29] MTE - Ministério do Trabalho e Emprego, **Norma Regulamentadora 10 - NR 10**. Brasília, 1978

[30] \_\_\_\_\_. **Norma Regulamentadora nº 10 é debatida em evento no Espírito Santo.** 2017. Disponível em: <http://trabalho.gov.br/noticias/5176-norma-regulamentadora-n-10-e-debatida-em-evento-no-espírito-santo> Acessado em 10/2018.

[31] \_\_\_\_\_. **Normas Regulamentadoras completam 40 anos**,2018. Disponível em: <http://trabalho.gov.br/noticias/6043-normas-regulamentadoras-completam-40-anos>. Acesso em outubro de 2018.

[32] NFPA - National Fire Protection Association. **NFPA 70E - Standard for Electrical Safety in the Workplace.** Quincy, Massachusetts, USA, 2018.

[33] OSHA - Occupational Safety and Health Administration *apud* RESENDE, F. B. **OSHA 1990, parte 1910, subparte S (electrical).**Belo Horizonte, 2016.

[34] \_\_\_\_\_. **OSHA Act of 1970 Public Law 91-596.**1970. Disponível em <https://www.osha.gov/laws-regs/oshact/completeoshact>. Acesso em outubro de 2018.

[35] \_\_\_\_\_. **About OSHA.** Disponível em <https://www.osha.gov/about.html>. Acesso em outubro de 2018.

[36] PIONEER Hi-Bred International, Inc. Technology Integration Services, **Arc Flash Hazard Analysis & Labeling - Version D.** Escopo de Trabalho, 2008.

[37] QUEIROZ, Alan Rômulo Silva e SENGER, Eduardo Cesar. **A natureza e os riscos do arco elétrico.** O Setor Elétrico - Atitude Editorial, São Paulo, 2012.

[38] RESENDE, Filipe Barcelos. **Proteção elétrica em subestações: uma abordagem sobre a energia incidente.** Dissertação de pós-graduação em Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2016.

[39] SANKAR, S. Lakshmi; IQBAL, M. Mohamed. **ANSI and IEC Standards Based Short Circuit Analysis of a Typical 2 x 30 MW Thermal Power Plant,** IDOSI Publications, 2015.

[40] SANTOS. Vanessa M. dos. **Estudo de caso de curto-circuito em um sistema elétrico industrial.** Trabalho de Conclusão de Curso - Escola de Engenharia de São Carlos, da Universidade de São Paulo. São Carlos, 2009.

[41] SCHNEIDER ELECTRIC, **SEPAM Series 20 Protective Relays User's Manual,** LaVergne, 2007.

[42] SHARP - Safety & Health Assessment & Research for Prevention. Program at the Washington State Department of Labor and Industries. **Burn Injury Facts - Arc Flash Blast.** Washington, 2006.

[43] SILVA, E. L.; MENEZES, E. M. **Metodologia da pesquisa e elaboração de dissertação.** 4ª. ed. Florianópolis: UFSC, 2005.

[44] SKM Systems Analysis, Inc. **Arc Flash Reference Manual Electrical Engineering Analysis Software for Windows**. Redondo Beach, Califórnia, 2014.

[45] SOUZA, J. J. B. e PEREIRA, J. G. **Manual de auxílio na interpretação e aplicação da nova NR-10: NR-10 Comentada**. São Paulo, Brasil, 2005.



# ANEXOS

## ANEXO A – RESULTADO DO ESTUDO DE ARCO ANTES DA ANÁLISE

Barramento	Equipamento de proteção	Tensão da barra (kV)	Falta franca na barra (kA)	Falta por arco na barra (kA)	Corrente de falta franca no equip. de proteção (kA)	Corrente de falta por arco no equip. de proteção (kA)	Tempo de disparo (s)	Ground	Gap (mm)	Fronteira de arco (mm)	Distância de trabalho (mm)	Energia incidente (cal/cm <sup>2</sup> )
Cam Fria 2	DJ:Cam Fria 2	0,38	12,22	6,62	12,22	6,62	0.08	Yes	25	567	455	1,7
Cam Fria 3	DJ:Cam Fria 3	0,38	10,86	6,02	10,86	6,02	0.08	Yes	25	532	455	1,5
Cam Fria 4	DJ:Cam Fria 4	0,38	9,43	5,38	9,43	5,38	0.08	Yes	25	495	455	1,4
Câmara Fria 1	DJ:Cam Fria-400A	0,38	7,43	4,45	7,43	4,45	0.06	Yes	25	366	455	0,84
CCM Aquecedor	FU:BL-9035	0,38	33,27	14,72	0,56	0,25	0.0042	Yes	25	159	455	0,21
CCM Aquecedor	FU:BL-9040	0,38	33,27	14,72	0,69	0,31	0.0042	Yes	25	159	455	0,21
CCM Aquecedor	FU:BL-9075	0,38	33,27	14,72	1,63	0,72	0.0042	Yes	25	159	455	0,21
CCM Aquecedor	DJ0:CCM Aquecedor	0,38	33,27	14,72	30,39	13,45	0.06	Yes	25	770	455	2,8
CCM Aquecedor (DJ0:CCM Aquecedor Line Side)	DJ0:CCM Aquecedor	0,38	33,27	14,72	2,88	1,27	0.0833	Yes	25	984	455	4,2
CCM Aquecedor (DJ0:CCM Aquecedor Line Side)	DJ:CCM Aquecedor	0,38	33,27	14,72	30,39	13,45	0.14	Yes	25	1236	455	6,2
CCM-03A	FU:BL-3703	0,38	32,15	14,32	0,97	0,43	0.0042	Yes	25	156	455	0,21
CCM-03A	FU:BL-3708	0,38	32,15	14,32	0,97	0,43	0.0042	Yes	25	156	455	0,21
CCM-03A	FU:BL-3713	0,38	32,15	14,32	0,97	0,43	0.0042	Yes	25	156	455	0,21
CCM-03A	FU:BL-3718	0,38	32,15	14,32	0,97	0,43	0.0042	Yes	25	156	455	0,21
CCM-03A	FU:BL-3723	0,38	32,15	14,32	0,97	0,43	0.0042	Yes	25	156	455	0,21
CCM-03A	FU:BL-3728	0,38	32,15	14,32	0,97	0,43	0.0042	Yes	25	156	455	0,21
CCM-03A	FU:BL-3733	0,38	32,15	14,32	0,97	0,43	0.0042	Yes	25	156	455	0,21
CCM-03A	FU:BL-3738	0,38	32,15	14,32	0,97	0,43	0.0042	Yes	25	156	455	0,21
CCM-03A	FU:BL-3743	0,38	32,15	14,32	0,97	0,43	0.0042	Yes	25	156	455	0,21
CCM-03A	FU:BL-3748	0,38	32,15	14,32	0,97	0,43	0.0042	Yes	25	156	455	0,21
CCM-03A	DJ0:CCM-03A	0,38	32,15	14,32	22,46	10,01	0.06	Yes	25	665	455	2,2
CCM-03A (DJ0:CCM-03A Line Side)	DJ0:CCM-03A	0,38	32,15	14,32	9,70	4,32	0.06	Yes	25	791	455	3,0
CCM-03A (DJ0:CCM-03A Line Side)	DJ:CCM-03A	0,38	32,15	14,32	22,46	10,01	0.08	Yes	25	904	455	3,7
CCM-03B	FU:BL-3753	0,38	31,21	13,99	0,97	0,43	0.0042	Yes	25	153	455	0,20
CCM-03B	FU:BL-3758	0,38	31,21	13,99	0,97	0,43	0.0042	Yes	25	153	455	0,20

Barramento	Equipamento de proteção	Tensão da barra (kV)	Falta franca na barra (kA)	Falta por arco na barra (kA)	Corrente de falta franca no equip. de proteção (kA)	Corrente de falta por arco no equip. de proteção (kA)	Tempo de disparo (s)	Ground	Gap (mm)	Fronteira de arco (mm)	Distância de trabalho (mm)	Energia incidente (cal/cm <sup>2</sup> )
CCM-03B	FU:BL-3763	0,38	31,21	13,99	0,97	0,43	0.0042	Yes	25	153	455	0,20
CCM-03B	FU:BL-3768	0,38	31,21	13,99	0,97	0,43	0.0042	Yes	25	153	455	0,20
CCM-03B	FU:BL-3773	0,38	31,21	13,99	0,97	0,43	0.0042	Yes	25	153	455	0,20
CCM-03B	FU:BL-3778	0,38	31,21	13,99	0,97	0,43	0.0042	Yes	25	153	455	0,20
CCM-03B	FU:BL-3783	0,38	31,21	13,99	0,97	0,43	0.0042	Yes	25	153	455	0,20
CCM-03B	FU:BL-3788	0,38	31,21	13,99	0,97	0,43	0.0042	Yes	25	153	455	0,20
CCM-03B	FU:BL-3793	0,38	31,21	13,99	0,97	0,43	0.0042	Yes	25	153	455	0,20
CCM-03B	DJ0:CCM-03B	0,38	31,21	13,99	22,49	10,08	0.06	Yes	25	664	455	2,2
CCM-03B (DJ0:CCM-03B Line Side)	DJ0:CCM-03B	0,38	31,21	13,99	8,73	3,91	0.06	Yes	25	779	455	2,9
CCM-03B (DJ0:CCM-03B Line Side)	DJ:CCM-03B	0,38	31,21	13,99	22,49	10,08	0.08	Yes	25	893	455	3,6
CCM-04A	FU:BL-3704	0,38	32,03	14,28	0,97	0,43	0.0042	Yes	25	155	455	0,20
CCM-04A	FU:BL-3709	0,38	32,03	14,28	0,97	0,43	0.0042	Yes	25	155	455	0,20
CCM-04A	FU:BL-3714	0,38	32,03	14,28	0,97	0,43	0.0042	Yes	25	155	455	0,20
CCM-04A	FU:BL-3719	0,38	32,03	14,28	0,97	0,43	0.0042	Yes	25	155	455	0,20
CCM-04A	FU:BL-3724	0,38	32,03	14,28	0,97	0,43	0.0042	Yes	25	155	455	0,20
CCM-04A	FU:BL-3729	0,38	32,03	14,28	0,97	0,43	0.0042	Yes	25	155	455	0,20
CCM-04A	FU:BL-3734	0,38	32,03	14,28	0,97	0,43	0.0042	Yes	25	155	455	0,20
CCM-04A	FU:BL-3739	0,38	32,03	14,28	0,97	0,43	0.0042	Yes	25	155	455	0,20
CCM-04A	FU:BL-3744	0,38	32,03	14,28	0,97	0,43	0.0042	Yes	25	155	455	0,20
CCM-04A	FU:BL-3749	0,38	32,03	14,28	0,97	0,43	0.0042	Yes	25	155	455	0,20
CCM-04A	DJ0:CCM-04A	0,38	32,03	14,28	22,34	9,96	0.06	Yes	25	663	455	2,2
CCM-04A (DJ0:CCM-04A Line Side)	DJ0:CCM-04A	0,38	32,03	14,28	9,70	4,33	0.06	Yes	25	789	455	3,0
CCM-04A (DJ0:CCM-04A Line Side)	DJ:CCM-04A	0,38	32,03	14,28	22,34	9,96	0.08	Yes	25	902	455	3,7
CCM-04B	FU:BL-3754	0,38	33,74	14,89	0,97	0,43	0.0042	Yes	25	160	455	0,21
CCM-04B	FU:BL-3759	0,38	33,74	14,89	0,97	0,43	0.0042	Yes	25	160	455	0,21
CCM-04B	FU:BL-3764	0,38	33,74	14,89	0,97	0,43	0.0042	Yes	25	160	455	0,21
CCM-04B	FU:BL-3769	0,38	33,74	14,89	0,97	0,43	0.0042	Yes	25	160	455	0,21
CCM-04B	FU:BL-3774	0,38	33,74	14,89	0,97	0,43	0.0042	Yes	25	160	455	0,21
CCM-04B	FU:BL-3779	0,38	33,74	14,89	0,97	0,43	0.0042	Yes	25	160	455	0,21
CCM-04B	FU:BL-3784	0,38	33,74	14,89	0,97	0,43	0.0042	Yes	25	160	455	0,21
CCM-04B	FU:BL-3789	0,38	33,74	14,89	0,97	0,43	0.0042	Yes	25	160	455	0,21

Barramento	Equipamento de proteção	Tensão da barra (kV)	Falta franca na barra (kA)	Falta por arco na barra (kA)	Corrente de falta franca no equip. de proteção (kA)	Corrente de falta por arco no equip. de proteção (kA)	Tempo de disparo (s)	Ground	Gap (mm)	Fronteira de arco (mm)	Distância de trabalho (mm)	Energia incidente (cal/cm <sup>2</sup> )
CCM-04B	FU:BL-3794	0,38	33,74	14,89	0,97	0,43	0.0042	Yes	25	160	455	0,21
CCM-04B	DJ0:CCM-04B	0,38	33,74	14,89	25,03	11,04	0.06	Yes	25	702	455	2,4
CCM-04B (DJ0:CCM-04B Line Side)	DJ0:CCM-04B	0,38	33,74	14,89	8,73	3,85	0.06	Yes	25	811	455	3,1
CCM-04B (DJ0:CCM-04B Line Side)	DJ:CCM-04B	0,38	33,74	14,89	25,03	11,04	0.08	Yes	25	933	455	3,9
CCM-22B	DJ:CCM-22B-500A	0,38	16,61	8,45	14,22	7,24	0.0408	Yes	25	442	455	1,1
CCM-22C	DJ:CCM-22C-500A	0,38	17,86	8,96	13,55	6,80	0.041	Yes	25	461	455	1,2
CCM-22C	IndMtr Decay @5cycles	0,38	17,86	8,96	4,52	2,99	0.0833	Yes	25	544	455	1,6
CCM-23A	DJ1:CCM-23A	0,38	16,74	8,51	14,66	7,45	0.0613	Yes	25	568	455	1,7
CCM-23B	DJ1:CCM-23B	0,38	16,74	8,51	14,66	7,45	0.0613	Yes	25	568	455	1,7
CCM-23C	DJ1:CCM-23C	0,38	15,35	7,94	15,35	7,94	0.061	Yes	25	541	455	1,6
CCM1:Secador1	DJ1:CCM1-630A	0,38	14,33	7,51	14,33	7,51	0.06	Yes	25	517	455	1,5
CCM22A:Secador1	DJ1:CCM-22A-630A	0,38	14,35	7,52	14,35	7,52	0.06	Yes	25	517	455	1,5
Classificação	DJ:Classificação	0,38	18,73	9,31	15,90	7,90	0.08	Yes	25	709	455	2,5
Classificação	DJ MCC-07C	0,38	18,73	9,31	1,91	0,95	0.0833	Yes	25	713	455	2,5
Classificação (DJ0:Classific-1250A Line Side)	DJ:Classificação	0,38	18,73	9,31	15,90	7,90	0.08	Yes	25	709	455	2,5
Classificação (DJ0:Classific-1250A Line Side)	DJ0:Classific-1250A	0,38	18,73	9,31	2,83	1,41	0.0833	Yes	25	713	455	2,5
Compressor	DJ:Compressor	0,38	4,80	3,14	4,80	3,14	0.0603	Yes	25	292	455	0,58
Compressores	DJ:Compress-250A	0,38	12,25	6,63	12,25	6,63	0.02	Yes	25	244	455	0,43
Debulha-CCM-030	DJ:Debulha	0,38	16,52	8,42	15,62	7,96	0.001	Yes	25	46	455	0,03
Debulha-CCM-030 (DJ0:Debulha Line Side)	DJ:Debulha	0,38	16,52	8,42	15,62	7,96	0.001	Yes	25	46	455	0,03
Debulha-CCM-030 (DJ0:Debulha Line Side)	DJ0:Debulha	0,38	16,52	8,42	0,90	0,46	0.0833	Yes	25	159	455	0,21
Descarte	DJ:Descarte-250A	0,38	4,65	3,06	4,65	3,06	0.02	Yes	25	147	455	0,19
Despalha	DJ1-Despalha-1000A	0,38	14,07	7,40	14,07	7,40	0.08	Yes	25	610	455	1,9

Barramento	Equipamento de proteção	Tensão da barra (kV)	Falta franca na barra (kA)	Falta por arco na barra (kA)	Corrente de falta franca no equip. de proteção (kA)	Corrente de falta por arco no equip. de proteção (kA)	Tempo de disparo (s)	Ground	Gap (mm)	Fronteira de arco (mm)	Distância de trabalho (mm)	Energia incidente (cal/cm <sup>2</sup> )
Despalha (DJ2:Despalha-1250A Line Side)	DJ1-Despalha-1000A	0,38	14,07	7,40	14,07	7,40	0.08	Yes	25	610	455	1,9
Illum Armazem	DJ:Illum Armazem	0,38	4,97	3,23	4,97	3,23	0.02	Yes	25	152	455	0,20
Illum Cam Fria2	DJ:Illum Cam Fria2	0,38	2,55	1,89	2,55	1,89	0.02	Yes	25	107	455	0,11
Illum Cam Fria3	DJ:Illum Cam Fria3	0,38	2,11	1,63	2,11	1,63	0.02	Yes	25	97	455	0,09
Illum Sec 200	DJ:Illum Sec 200	0,38	2,77	2,03	2,77	2,03	0.0224	Yes	25	120	455	0,13
Jumbo Bag	DJ:Jumbo Bag	0,38	11,86	6,46	11,86	6,46	0.0167	Yes	25	215	455	0,35
LV-GDSW-01	DJ:Rede	0,38	16,43	8,38	16,43	8,38	0.08	Yes	25	662	455	2,2
LV-GDSW-02	DJ0:LV-GDSW-02	0,38	20,62	10,05	16,97	8,27	0.08	Yes	25	746	455	2,7
LV-GDSW-02	DJ:Classificação	0,38	20,62	10,05	2,78	1,35	0.0833	Yes	25	750	455	2,7
LV-GDSW-02	DJ:Debulha	0,38	20,62	10,05	0,89	0,43	0.0833	Yes	25	750	455	2,7
LV-GDSW-02 (DJ0:LV-GDSW-02 Line Side)	DJ0:LV-GDSW-02	0,38	20,62	10,05	3,66	1,79	0.0833	Yes	25	765	455	2,8
LV-GDSW-02 (DJ0:LV-GDSW-02 Line Side)	R-SW-02 (FU:TR-2.1)	0,38	20,62	10,05	16,97	8,27	0.75	Yes	25	2765	455	23
LV-GDSW-02.2	DJ0:LV-GDSW-02.2	0,38	22,75	10,87	22,75	10,87	0.08	Yes	25	786	455	2,9
LV-GDSW-02.2 (DJ0:LV-GDSW-02.2 Line Side)	R-SW-02 (FU:TR-2.2)	0,38	22,75	10,87	22,75	10,87	0.75	Yes	25	3155	455	29
LV-GDSW-03.1	DJ0:LV-GDSW-03.1	0,38	26,65	12,33	17,74	8,21	0.05	Yes	25	641	455	2,1
LV-GDSW-03.1	DJ1:CCM-23A	0,38	26,65	12,33	2,07	0,96	0.0833	Yes	25	738	455	2,6
LV-GDSW-03.1	DJ1:CCM-23B	0,38	26,65	12,33	2,07	0,96	0.0833	Yes	25	738	455	2,6
LV-GDSW-03.1	DJ:Vent1D1-500A	0,38	26,65	12,33	2,39	1,10	0.0833	Yes	25	738	455	2,6
LV-GDSW-03.1	DJ:Vent2D1-500A	0,38	26,65	12,33	2,38	1,10	0.0833	Yes	25	738	455	2,6
LV-GDSW-03.1 (DJ0:LV-GDSW-03.1 Line Side)	DJ0:LV-GDSW-03.1	0,38	26,65	12,33	8,91	4,12	0.0833	Yes	25	875	455	3,5
LV-GDSW-03.1 (DJ0:LV-GDSW-03.1 Line Side)	R-SW-03 (FU:TR-3.1)	0,38	26,65	12,33	15,72	7,27	0.24	Yes	25	1685	455	10
LV-GDSW-03.2	DJ0:CCM-03B	0,38	31,74	14,18	8,65	3,86	0.06	Yes	25	786	455	2,9

Barramento	Equipamento de proteção	Tensão da barra (kV)	Falta franca na barra (kA)	Falta por arco na barra (kA)	Corrente de falta franca no equip. de proteção (kA)	Corrente de falta por arco no equip. de proteção (kA)	Tempo de disparo (s)	Ground	Gap (mm)	Fronteira de arco (mm)	Distância de trabalho (mm)	Energia incidente (cal/cm <sup>2</sup> )
LV-GDSW-03.2	DJ0:LV-GDSW-03.2	0,38	31,74	14,18	23,10	10,32	0.08	Yes	25	901	455	3,7
LV-GDSW-03.2 (DJ0:LV-GDSW-03.2 Line Side)	DJ0:CCM-03B (DJ0:LV-GDSW-03.2)	0,38	31,74	14,18	8,65	3,86	0.06	Yes	25	786	455	2,9
LV-GDSW-03.2 (DJ0:LV-GDSW-03.2 Line Side)	R-SW-03 (FU:TR-3.2)	0,38	31,74	14,18	20,53	9,17	0.24	Yes	25	1870	455	12
LV-GDSW-03.3	DJ0:CCM-04B	0,38	34,43	15,13	8,65	3,80	0.06	Yes	25	820	455	3,1
LV-GDSW-03.3	DJ0:LV-GDSW-03.3	0,38	34,43	15,13	22,93	10,07	0.08	Yes	25	944	455	4,0
LV-GDSW-03.3	DJ:CCM Aquecedor	0,38	34,43	15,13	2,87	1,26	0.0833	Yes	25	947	455	4,0
LV-GDSW-03.3 (DJ0:LV-GDSW-03.3 Line Side)	DJ0:LV-GDSW-03.3	0,38	34,43	15,13	11,51	5,06	0.08	Yes	25	977	455	4,2
LV-GDSW-03.3 (DJ0:LV-GDSW-03.3 Line Side)	R-SW-03 (FU:TR-3.3)	0,38	34,43	15,13	20,62	9,06	0.24	Yes	25	1914	455	13
LV-GDSW-04.1	DJ1:MCC-24C	0,38	28,84	13,14	0,95	0,43	0.0833	Yes	25	913	455	3,7
LV-GDSW-04.1	DJ:3D2	0,38	28,84	13,14	1,98	0,90	0.0833	Yes	25	913	455	3,7
LV-GDSW-04.1	DJ:4D2	0,38	28,84	13,14	1,98	0,90	0.0833	Yes	25	913	455	3,7
LV-GDSW-04.1	DJ:CCM-22B-500A	0,38	28,84	13,14	2,36	1,07	0.0833	Yes	25	913	455	3,7
LV-GDSW-04.1	DJ:CCM-22C-500A	0,38	28,84	13,14	3,98	1,81	0.0833	Yes	25	913	455	3,7
LV-GDSW-04.1	DJ0:LV-GDSW-04.1	0,38	28,84	13,14	17,61	8,02	0.14	Yes	25	1132	455	5,3
LV-GDSW-04.1 (DJ0:LV-GDSW-04.1 Line Side)	DJ0:LV-GDSW-04.1	0,38	28,84	13,14	11,24	5,12	0.0833	Yes	25	913	455	3,7
LV-GDSW-04.1 (DJ0:LV-GDSW-04.1 Line Side)	R-SW-04 (FU:TR-4.1)	0,38	28,84	13,14	15,65	7,13	0.24	Yes	25	1706	455	10
LV-GDSW-04.2	DJ0:CCM-03A	0,38	32,66	14,51	9,60	4,26	0.06	Yes	25	797	455	3,0
LV-GDSW-04.2	DJ0:LV-GDSW-04.2	0,38	32,66	14,51	23,07	10,25	0.08	Yes	25	912	455	3,7
LV-GDSW-04.2 (DJ0:LV-GDSW-04.2 Line Side)	DJ0:CCM-03A (DJ0:LV-GDSW-04.2)	0,38	32,66	14,51	9,60	4,26	0.06	Yes	25	797	455	3,0

Barramento	Equipamento de proteção	Tensão da barra (kV)	Falta franca na barra (kA)	Falta por arco na barra (kA)	Corrente de falta franca no equip. de proteção (kA)	Corrente de falta por arco no equip. de proteção (kA)	Tempo de disparo (s)	Ground	Gap (mm)	Fronteira de arco (mm)	Distância de trabalho (mm)	Energia incidente (cal/cm <sup>2</sup> )
LV-GDSW-04.2 (DJ0:LV-GDSW-04.2 Line Side)	R-SW-04 (FU:TR-4.2)	0,38	32,66	14,51	20,50	9,10	0.24	Yes	25	1876	455	12
LV-GDSW-04.3	DJ0:CCM-04A	0,38	32,54	14,46	9,60	4,27	0.06	Yes	25	796	455	3,0
LV-GDSW-04.3	DJ0:LV-GDSW-04.3	0,38	32,54	14,46	22,94	10,20	0.08	Yes	25	910	455	3,7
LV-GDSW-04.3 (DJ0:LV-GDSW-04.3 Line Side)	DJ0:CCM-04A (DJ0:LV-GDSW-04.3)	0,38	32,54	14,46	9,60	4,27	0.06	Yes	25	796	455	3,0
LV-GDSW-04.3 (DJ0:LV-GDSW-04.3 Line Side)	R-SW-04 (FU:TR-4.3)	0,38	32,54	14,46	20,39	9,06	0.24	Yes	25	1871	455	12
LV-GDSW-QTA	DJ:1.2-1000A	0,38	17,13	8,67	8,57	4,33	2	Yes	25	4668	455	55
LV-GDSW-QTA	DJ:1.1-1000A	0,38	17,13	8,67	8,57	4,33	2	Yes	25	4668	455	55
LV-GDSW-QTA (DJ:1.2-1000A Line Side)	DJ:1.2-1000A	0,38	17,13	7,37	8,57	3,68	2	Yes	25	4194	455	46
LV-GDSW-QTA (DJ:1.2-1000A Line Side)	R-SW-01 (FU:TR-1.2)	0,38	17,13	7,37	17,13	7,37	1.917	Yes	25	4194	455	46
MCC Paletizador	DJ:MCC Paletizador	0,38	7,30	4,39	7,30	4,39	0.08	Yes	25	432	455	1,1
MCC-07C	DJ MCC-07C	0,38	16,72	8,50	14,80	7,52	0.0137	Yes	25	228	455	0,38
MCC-15-B1	DJ MCC-15-B1	0,38	11,17	5,24	11,17	5,24	0.0355	Yes	25	296	455	0,59
MCC-16-B1	DJ MCC-16-B1	0,38	11,17	5,24	11,17	5,24	0.0355	Yes	25	296	455	0,59
MCC-24A	DJ:3D2	0,38	9,66	5,48	8,13	4,62	0.0605	Yes	25	422	455	1,1
MCC-24B	DJ:4D2	0,38	9,66	5,48	8,13	4,62	0.0605	Yes	25	422	455	1,1
MCC-24C	DJ1:MCC-24C	0,38	15,04	7,81	14,12	7,33	0.0614	Yes	25	538	455	1,6
Motriz Descarga	DJ:Motriz Descarga	0,38	2,04	1,58	2,04	1,58	0.02	Yes	25	95	455	0,09
MV-GDSW-01	R-SW-02	34,50	1,50	1,50	0,03	0,03	0.0833	Yes	152	1360	910	2,7
MV-GDSW-01	R-SW-03	34,50	1,50	1,50	0,23	0,23	0.0833	Yes	152	1360	910	2,7
MV-GDSW-01	R-SW-04	34,50	1,50	1,50	0,24	0,24	0.0833	Yes	152	1360	910	2,7
MV-GDSW-01	R-GDSW-01	34,50	1,50	1,50	1,00	1,00	0.25	Yes	152	2354	910	8,0
MV-GDSW-01 (R-GDSW-01 Line Side)	R-GDSW-01	34,50	1,50	1,50	0,50	0,50	0.0833	Yes	152	1360	910	2,7
MV-GDSW-01 (R-GDSW-01 Line Side)	R-MSW-00	34,50	1,50	1,50	1,00	1,00	0.28	Yes	152	2447	910	8,6
MV-MSW-00	R-GDSW-01	34,50	1,50	1,50	0,50	0,50	0.0833	Yes	152	1361	910	2,7

Barramento	Equipamento de proteção	Tensão da barra (kV)	Falta franca na barra (kA)	Falta por arco na barra (kA)	Corrente de falta franca no equip. de proteção (kA)	Corrente de falta por arco no equip. de proteção (kA)	Tempo de disparo (s)	Ground	Gap (mm)	Fronteira de arco (mm)	Distância de trabalho (mm)	Energia incidente (cal/cm <sup>2</sup> )
MV-MSW-00	R-MSW-00	34,50	1,50	1,50	1,00	1,00	0.28	Yes	152	2450	910	8,7
MV-MSW-00 (R-MSW-00 Line Side)	R-MSW-00	34,50	1,50	1,50	0,50	0,50	0.0833	Yes	152	1361	910	2,7
MV-SW01	R-SW-01	34,50	1,50	1,50	1,50	1,50	0.05	Yes	152	1607	910	3,7
MV-SW02	FU:TR-2.1	34,50	1,50	1,50	0,03	0,03	0.0833	Yes	152	1358	910	2,7
MV-SW02	R-SW-02	34,50	1,50	1,50	1,46	1,46	0.5	Yes	152	3037	910	13
MV-SW03	DJ0:LV-GDSW-03.2 (FU:TR-3.2)	34,50	1,50	1,50	0,07	0,07	0.08	Yes	152	1329	910	2,5
MV-SW03	DJ0:LV-GDSW-03.3 (FU:TR-3.3)	34,50	1,50	1,50	0,09	0,09	0.08	Yes	152	1329	910	2,5
MV-SW03	FU:TR-3.1	34,50	1,50	1,50	0,07	0,07	0.0833	Yes	152	1354	910	2,6
MV-SW03	R-SW-03	34,50	1,50	1,50	1,26	1,26	0.05	Yes	152	1602	910	3,7
MV-SW04	DJ0:LV-GDSW-04.2 (FU:TR-4.2)	34,50	1,50	1,50	0,08	0,08	0.08	Yes	152	1331	910	2,6
MV-SW04	DJ0:LV-GDSW-04.3 (FU:TR-4.3)	34,50	1,50	1,50	0,08	0,08	0.08	Yes	152	1331	910	2,6
MV-SW04	FU:TR-4.1	34,50	1,50	1,50	0,08	0,08	0.0833	Yes	152	1356	910	2,7
MV-SW04	R-SW-04	34,50	1,50	1,50	1,26	1,26	0.05	Yes	152	1605	910	3,7
QTA	DJ:Rede	0,38	16,73	8,50	16,73	8,50	0.08	Yes	25	668	455	2,2
QTA (DJ:Rede Line Side)	DJ:1.2-1000A	0,38	16,73	8,50	8,36	4,25	2	Yes	25	4613	455	53
QTA (DJ:Rede Line Side)	DJ:1.1-1000A	0,38	16,73	8,50	8,36	4,25	2	Yes	25	4613	455	53
Restaurante	DJ:Restaurante	0,38	1,42	1,19	1,42	1,19	0.02	Yes	25	78	455	0,07
Sala Baterias	DJ:Sala Baterias	0,38	4,80	3,14	4,80	3,14	0.0603	Yes	25	292	455	0,58
Serv Classif	DJ:Serv Classif	0,38	2,77	2,03	2,77	2,03	0.0224	Yes	25	120	455	0,13
Serv Deposito	DJ:Serv Deposito	0,38	1,92	1,51	1,92	1,51	0.02	Yes	25	92	455	0,09
Serv Descarte	DJ:Serv Descarte	0,38	2,04	1,58	2,04	1,58	0.02	Yes	25	95	455	0,09
Serv Desgranado	DJ:Serv Desgranado	0,38	2,77	2,03	2,77	2,03	0.0224	Yes	25	120	455	0,13
Serv Escritório	DJ:Serv Escritório	0,38	4,97	3,23	4,97	3,23	0.02	Yes	25	152	455	0,20
Serv Manut	DJ:Serv Manut	0,38	2,77	2,03	2,77	2,03	0.0224	Yes	25	120	455	0,13
Serv Oficinas	DJ:Serv Oficinas	0,38	2,45	1,56	2,45	1,56	0.0391	Yes	25	141	455	0,18
Serv Portaria	DJ:Serv Portaria	0,38	1,72	1,38	1,72	1,38	0.02	Yes	25	87	455	0,08
Serv Recepção	DJ:Serv Recepção	0,38	1,55	1,27	1,55	1,27	0.02	Yes	25	82	455	0,07

Barramento	Equipamento de proteção	Tensão da barra (kV)	Falta franca na barra (kA)	Falta por arco na barra (kA)	Corrente de falta franca no equip. de proteção (kA)	Corrente de falta por arco no equip. de proteção (kA)	Tempo de disparo (s)	Ground	Gap (mm)	Fronteira de arco (mm)	Distância de trabalho (mm)	Energia incidente (cal/cm <sup>2</sup> )
Serv Recreação	DJ:Serv Recreação	0,38	1,55	1,27	1,55	1,27	0.02	Yes	25	82	455	0,07
Serv Sala Bat	DJ:Serv Sala Bat	0,38	1,55	1,27	1,55	1,27	0.02	Yes	25	82	455	0,07
Serv Sec 1	DJ:Serv Sec 1	0,38	2,25	1,71	2,25	1,71	0.02	Yes	25	100	455	0,10
Serv Seleccion	DJ:Serv Seleccion	0,38	2,77	2,03	2,77	2,03	0.0224	Yes	25	120	455	0,13
Ventilador 1D1	DJ:Vent1D1-500A	0,38	16,50	8,41	14,08	7,17	0.0401	Yes	25	435	455	1,1
Ventilador 2D1	DJ:Vent2D1-500 <sup>a</sup>	0,38	16,27	8,32	13,85	7,08	0.0409	Yes	25	438	455	1,1



## ANEXO B – RESULTADO DO ESTUDO DE ARCO DEPOIS DA ANÁLISE

Barramento	Equipamento de proteção	Tensão da barra (kV)	Falta franca na barra (kA)	Falta por arco na barra (kA)	Corrente de falta franca no equip. de proteção (kA)	Corrente de falta por arco no equip. de proteção (kA)	Tempo de disparo (s)	Ground	Gap (mm)	Fronteira de arco (mm)	Distância de trabalho (mm)	Energia incidente (cal/cm <sup>2</sup> )
Cam Fria 2	DJ:Cam Fria 2	0,38	12,22	6,62	12,22	6,62	0.08	Yes	25	567	455	1,7
Cam Fria 3	DJ:Cam Fria 3	0,38	10,86	6,02	10,86	6,02	0.08	Yes	25	532	455	1,5
Cam Fria 4	DJ:Cam Fria 4	0,38	9,43	5,38	9,43	5,38	0.08	Yes	25	495	455	1,4
Camara Fria 1	DJ:Cam Fria-400A	0,38	7,43	4,45	7,43	4,45	0.06	Yes	25	366	455	0,84
Cam Fria 2	DJ:Cam Fria 2	0,38	12,22	6,62	12,22	6,62	0.08	Yes	25	567	455	1,7
CCM Aquecedor	FU:BL-9035	0,38	33,27	14,72	0,56	0,25	0.0042	Yes	25	159	455	0,21
CCM Aquecedor	FU:BL-9040	0,38	33,27	14,72	0,69	0,31	0.0042	Yes	25	159	455	0,21
CCM Aquecedor	FU:BL-9075	0,38	33,27	14,72	1,63	0,72	0.0042	Yes	25	159	455	0,21
CCM Aquecedor	DJ0:CCM Aquecedor	0,38	33,27	14,72	30,39	13,45	0.06	Yes	25	770	455	2,8
CCM Aquecedor (DJ0:CCM Aquecedor Line Side)	DJ0:CCM Aquecedor	0,38	33,27	14,72	2,88	1,27	0.0833	Yes	25	984	455	4,2
CCM Aquecedor (DJ0:CCM Aquecedor Line Side)	DJ:CCM Aquecedor	0,38	33,27	14,72	30,39	13,45	0.14	Yes	25	1236	455	6,2
CCM-03A	FU:BL-3703	0,38	32,15	14,32	0,97	0,43	0.0042	Yes	25	156	455	0,21
CCM-03A	FU:BL-3708	0,38	32,15	14,32	0,97	0,43	0.0042	Yes	25	156	455	0,21
CCM-03A	FU:BL-3713	0,38	32,15	14,32	0,97	0,43	0.0042	Yes	25	156	455	0,21
CCM-03A	FU:BL-3718	0,38	32,15	14,32	0,97	0,43	0.0042	Yes	25	156	455	0,21
CCM-03A	FU:BL-3723	0,38	32,15	14,32	0,97	0,43	0.0042	Yes	25	156	455	0,21
CCM-03A	FU:BL-3728	0,38	32,15	14,32	0,97	0,43	0.0042	Yes	25	156	455	0,21
CCM-03A	FU:BL-3733	0,38	32,15	14,32	0,97	0,43	0.0042	Yes	25	156	455	0,21
CCM-03A	FU:BL-3738	0,38	32,15	14,32	0,97	0,43	0.0042	Yes	25	156	455	0,21
CCM-03A	FU:BL-3743	0,38	32,15	14,32	0,97	0,43	0.0042	Yes	25	156	455	0,21
CCM-03A	FU:BL-3748	0,38	32,15	14,32	0,97	0,43	0.0042	Yes	25	156	455	0,21
CCM-03A	DJ0:CCM-03A	0,38	32,15	14,32	22,46	10,01	0.06	Yes	25	665	455	2,2
CCM-03A (DJ0:CCM-03A Line Side)	DJ0:CCM-03A	0,38	32,15	14,32	9,70	4,32	0.06	Yes	25	791	455	3,0
CCM-03A (DJ0:CCM-03A Line Side)	DJ:CCM-03A	0,38	32,15	14,32	22,46	10,01	0.08	Yes	25	904	455	3,7
CCM-03B	FU:BL-3753	0,38	31,21	13,99	0,97	0,43	0.0042	Yes	25	153	455	0,20
CCM-03B	FU:BL-3758	0,38	31,21	13,99	0,97	0,43	0.0042	Yes	25	153	455	0,20

Barramento	Equipamento de proteção	Tensão da barra (kV)	Falta franca na barra (kA)	Falta por arco na barra (kA)	Corrente de falta franca no equip. de proteção (kA)	Corrente de falta por arco no equip. de proteção (kA)	Tempo de disparo (s)	Ground	Gap (mm)	Fronteira de arco (mm)	Distância de trabalho (mm)	Energia incidente (cal/cm <sup>2</sup> )
CCM-03B	FU:BL-3763	0,38	31,21	13,99	0,97	0,43	0.0042	Yes	25	153	455	0,20
CCM-03B	FU:BL-3768	0,38	31,21	13,99	0,97	0,43	0.0042	Yes	25	153	455	0,20
CCM-03B	FU:BL-3773	0,38	31,21	13,99	0,97	0,43	0.0042	Yes	25	153	455	0,20
CCM-03B	FU:BL-3778	0,38	31,21	13,99	0,97	0,43	0.0042	Yes	25	153	455	0,20
CCM-03B	FU:BL-3783	0,38	31,21	13,99	0,97	0,43	0.0042	Yes	25	153	455	0,20
CCM-03B	FU:BL-3788	0,38	31,21	13,99	0,97	0,43	0.0042	Yes	25	153	455	0,20
CCM-03B	FU:BL-3793	0,38	31,21	13,99	0,97	0,43	0.0042	Yes	25	153	455	0,20
CCM-03B	DJ0:CCM-03B	0,38	31,21	13,99	22,49	10,08	0.06	Yes	25	664	455	2,2
CCM-03B (DJ0:CCM-03B Line Side)	DJ0:CCM-03B	0,38	31,21	13,99	8,73	3,91	0.06	Yes	25	779	455	2,9
CCM-03B (DJ0:CCM-03B Line Side)	DJ:CCM-03B	0,38	31,21	13,99	22,49	10,08	0.08	Yes	25	893	455	3,6
CCM-04A	FU:BL-3704	0,38	32,03	14,28	0,97	0,43	0.0042	Yes	25	155	455	0,20
CCM-04A	FU:BL-3709	0,38	32,03	14,28	0,97	0,43	0.0042	Yes	25	155	455	0,20
CCM-04A	FU:BL-3714	0,38	32,03	14,28	0,97	0,43	0.0042	Yes	25	155	455	0,20
CCM-04A	FU:BL-3719	0,38	32,03	14,28	0,97	0,43	0.0042	Yes	25	155	455	0,20
CCM-04A	FU:BL-3724	0,38	32,03	14,28	0,97	0,43	0.0042	Yes	25	155	455	0,20
CCM-04A	FU:BL-3729	0,38	32,03	14,28	0,97	0,43	0.0042	Yes	25	155	455	0,20
CCM-04A	FU:BL-3734	0,38	32,03	14,28	0,97	0,43	0.0042	Yes	25	155	455	0,20
CCM-04A	FU:BL-3739	0,38	32,03	14,28	0,97	0,43	0.0042	Yes	25	155	455	0,20
CCM-04A	FU:BL-3744	0,38	32,03	14,28	0,97	0,43	0.0042	Yes	25	155	455	0,20
CCM-04A	FU:BL-3749	0,38	32,03	14,28	0,97	0,43	0.0042	Yes	25	155	455	0,20
CCM-04A	DJ0:CCM-04A	0,38	32,03	14,28	22,34	9,96	0.06	Yes	25	663	455	2,2
CCM-04A (DJ0:CCM-04A Line Side)	DJ0:CCM-04A	0,38	32,03	14,28	9,70	4,33	0.06	Yes	25	789	455	3,0
CCM-04A (DJ0:CCM-04A Line Side)	DJ:CCM-04A	0,38	32,03	14,28	22,34	9,96	0.08	Yes	25	902	455	3,7
CCM-04B	FU:BL-3754	0,38	33,74	14,89	0,97	0,43	0.0042	Yes	25	160	455	0,21
CCM-04B	FU:BL-3759	0,38	33,74	14,89	0,97	0,43	0.0042	Yes	25	160	455	0,21
CCM-04B	FU:BL-3764	0,38	33,74	14,89	0,97	0,43	0.0042	Yes	25	160	455	0,21
CCM-04B	FU:BL-3769	0,38	33,74	14,89	0,97	0,43	0.0042	Yes	25	160	455	0,21
CCM-04B	FU:BL-3774	0,38	33,74	14,89	0,97	0,43	0.0042	Yes	25	160	455	0,21
CCM-04B	FU:BL-3779	0,38	33,74	14,89	0,97	0,43	0.0042	Yes	25	160	455	0,21
CCM-04B	FU:BL-3784	0,38	33,74	14,89	0,97	0,43	0.0042	Yes	25	160	455	0,21

Barramento	Equipamento de proteção	Tensão da barra (kV)	Falta franca na barra (kA)	Falta por arco na barra (kA)	Corrente de falta franca no equip. de proteção (kA)	Corrente de falta por arco no equip. de proteção (kA)	Tempo de disparo (s)	Ground	Gap (mm)	Fronteira de arco (mm)	Distância de trabalho (mm)	Energia incidente (cal/cm <sup>2</sup> )
CCM-04B	FU:BL-3789	0,38	33,74	14,89	0,97	0,43	0.0042	Yes	25	160	455	0,21
CCM-04B	FU:BL-3794	0,38	33,74	14,89	0,97	0,43	0.0042	Yes	25	160	455	0,21
CCM-04B	DJ0:CCM-04B	0,38	33,74	14,89	25,03	11,04	0.06	Yes	25	702	455	2,4
CCM-04B (DJ0:CCM-04B Line Side)	DJ0:CCM-04B	0,38	33,74	14,89	8,73	3,85	0.06	Yes	25	811	455	3,1
CCM-04B (DJ0:CCM-04B Line Side)	DJ:CCM-04B	0,38	33,74	14,89	25,03	11,04	0.08	Yes	25	933	455	3,9
CCM-22B	DJ:CCM-22B-500A	0,38	16,61	8,45	14,22	7,24	0.0408	Yes	25	442	455	1,1
CCM-22C	DJ:CCM-22C-500A	0,38	17,86	8,96	13,55	6,80	0.041	Yes	25	461	455	1,2
CCM-22C	IndMtr Decay @5cycles	0,38	17,86	8,96	4,52	2,99	0.0833	Yes	25	544	455	1,6
CCM-23A	DJ1:CCM-23A	0,38	16,74	8,51	14,66	7,45	0.0613	Yes	25	568	455	1,7
CCM-23B	DJ1:CCM-23B	0,38	16,74	8,51	14,66	7,45	0.0613	Yes	25	568	455	1,7
CCM-23C	DJ1:CCM-23C	0,38	15,35	7,94	15,35	7,94	0.061	Yes	25	541	455	1,6
CCM1:Secador1	DJ1:CCM1-630A	0,38	14,33	7,51	14,33	7,51	0.06	Yes	25	517	455	1,5
CCM22A:Secador1	DJ1:CCM-22A-630A	0,38	14,35	7,52	14,35	7,52	0.06	Yes	25	517	455	1,5
Classificação	DJ:Classificação	0,38	18,73	9,31	15,90	7,90	0.08	Yes	25	709	455	2,5
Classificação	DJ MCC-07C	0,38	18,73	9,31	1,91	0,95	0.0833	Yes	25	713	455	2,5
Classificação (DJ0:Classific-1250A Line Side)	DJ:Classificação	0,38	18,73	9,31	15,90	7,90	0.08	Yes	25	709	455	2,5
Classificação (DJ0:Classific-1250A Line Side)	DJ0:Classific-1250A	0,38	18,73	9,31	2,83	1,41	0.0833	Yes	25	713	455	2,5
Compressor	DJ:Compressor	0,38	4,80	3,14	4,80	3,14	0.0603	Yes	25	292	455	0,58
Compressores	DJ:Compress-250A	0,38	12,25	6,63	12,25	6,63	0.02	Yes	25	244	455	0,43
Debulha-CCM-030	DJ:Debulha	0,38	16,52	8,42	15,62	7,96	0.001	Yes	25	46	455	0,03
Debulha-CCM-030 (DJ0:Debulha Line Side)	DJ:Debulha	0,38	16,52	8,42	15,62	7,96	0.001	Yes	25	46	455	0,03
Debulha-CCM-030 (DJ0:Debulha Line Side)	DJ0:Debulha	0,38	16,52	8,42	0,90	0,46	0.0833	Yes	25	159	455	0,21
Descarte	DJ:Descarte-250A	0,38	4,65	3,06	4,65	3,06	0.02	Yes	25	147	455	0,19

Barramento	Equipamento de proteção	Tensão da barra (kV)	Falta franca na barra (kA)	Falta por arco na barra (kA)	Corrente de falta franca no equip. de proteção (kA)	Corrente de falta por arco no equip. de proteção (kA)	Tempo de disparo (s)	Ground	Gap (mm)	Fronteira de arco (mm)	Distância de trabalho (mm)	Energia incidente (cal/cm <sup>2</sup> )
Despalha	DJ1-Despalha-1000A	0,38	14,07	7,40	14,07	7,40	0.08	Yes	25	610	455	1,9
Despalha (DJ2:Despalha-1250A Line Side)	DJ1-Despalha-1000A	0,38	14,07	7,40	14,07	7,40	0.08	Yes	25	610	455	1,9
Illum Armazem	DJ:Illum Armazem	0,38	4,97	3,23	4,97	3,23	0.02	Yes	25	152	455	0,20
Illum Cam Fria2	DJ:Illum Cam Fria2	0,38	2,55	1,89	2,55	1,89	0.02	Yes	25	107	455	0,11
Illum Cam Fria3	DJ:Illum Cam Fria3	0,38	2,11	1,63	2,11	1,63	0.02	Yes	25	97	455	0,09
Illum Sec 200	DJ:Illum Sec 200	0,38	2,77	2,03	2,77	2,03	0.0224	Yes	25	120	455	0,13
Jumbo Bag	DJ:Jumbo Bag	0,38	11,86	6,46	11,86	6,46	0.0167	Yes	25	215	455	0,35
LV-GDSW-01	DJ:Rede	0,38	16,43	8,38	16,43	8,38	0.08	Yes	25	662	455	2,2
LV-GDSW-02	DJ0:LV-GDSW-02	0,38	20,62	10,05	16,97	8,27	0.08	Yes	25	746	455	2,7
LV-GDSW-02	DJ:Classificacao	0,38	20,62	10,05	2,78	1,35	0.0833	Yes	25	750	455	2,7
LV-GDSW-02	DJ:Debulha	0,38	20,62	10,05	0,89	0,43	0.0833	Yes	25	750	455	2,7
LV-GDSW-02 (DJ0:LV-GDSW-02 Line Side)	DJ0:LV-GDSW-02	0,38	20,62	10,05	3,66	1,79	0.0833	Yes	25	765	455	2,8
LV-GDSW-02 (DJ0:LV-GDSW-02 Line Side)	R-SW-02 (FU:TR-2.1)	0,38	20,62	10,05	16,97	8,27	0.21	Yes	25	1502	455	8,5
LV-GDSW-02.2	DJ0:LV-GDSW-02.2	0,38	22,75	10,87	22,75	10,87	0.08	Yes	25	786	455	2,9
LV-GDSW-02.2 (DJ0:LV-GDSW-02.2 Line Side)	R-SW-02 (FU:TR-2.2)	0,38	22,75	10,87	22,75	10,87	0.21	Yes	25	1683	455	10
LV-GDSW-03.1	DJ0:LV-GDSW-03.1	0,38	26,65	12,33	17,74	8,21	0.05	Yes	25	641	455	2,1
LV-GDSW-03.1	DJ1:CCM-23A	0,38	26,65	12,33	2,07	0,96	0.0833	Yes	25	738	455	2,6
LV-GDSW-03.1	DJ1:CCM-23B	0,38	26,65	12,33	2,07	0,96	0.0833	Yes	25	738	455	2,6
LV-GDSW-03.1	DJ:Vent1D1-500A	0,38	26,65	12,33	2,39	1,10	0.0833	Yes	25	738	455	2,6
LV-GDSW-03.1	DJ:Vent2D1-500A	0,38	26,65	12,33	2,38	1,10	0.0833	Yes	25	738	455	2,6
LV-GDSW-03.1 (DJ0:LV-GDSW-03.1 Line Side)	DJ0:LV-GDSW-03.1	0,38	26,65	12,33	8,91	4,12	0.0833	Yes	25	875	455	3,5

Barramento	Equipamento de proteção	Tensão da barra (kV)	Falta franca na barra (kA)	Falta por arco na barra (kA)	Corrente de falta franca no equip. de proteção (kA)	Corrente de falta por arco no equip. de proteção (kA)	Tempo de disparo (s)	Ground	Gap (mm)	Fronteira de arco (mm)	Distância de trabalho (mm)	Energia incidente (cal/cm <sup>2</sup> )
LV-GDSW-03.1 (DJ0:LV-GDSW-03.1 Line Side)	R-SW-03 (FU:TR-3.1)	0,38	26,65	12,33	15,72	7,27	0.13	Yes	25	1354	455	7,2
LV-GDSW-03.2	DJ0:CCM-03B	0,38	31,74	14,18	8,65	3,86	0.06	Yes	25	786	455	2,9
LV-GDSW-03.2	DJ0:LV-GDSW-03.2	0,38	31,74	14,18	23,10	10,32	0.08	Yes	25	901	455	3,7
LV-GDSW-03.2 (DJ0:LV-GDSW-03.2 Line Side)	DJ0:CCM-03B (DJ0:LV-GDSW-03.2)	0,38	31,74	14,18	8,65	3,86	0.06	Yes	25	786	455	2,9
LV-GDSW-03.2 (DJ0:LV-GDSW-03.2 Line Side)	R-SW-03 (FU:TR-3.2)	0,38	31,74	14,18	20,53	9,17	0.13	Yes	25	1484	455	8,3
LV-GDSW-03.3	DJ0:CCM-04B	0,38	34,43	15,13	8,65	3,80	0.06	Yes	25	820	455	3,1
LV-GDSW-03.3	DJ0:LV-GDSW-03.3	0,38	34,43	15,13	22,93	10,07	0.08	Yes	25	944	455	4,0
LV-GDSW-03.3	DJ:CCM Aquecedor	0,38	34,43	15,13	2,87	1,26	0.0833	Yes	25	947	455	4,0
LV-GDSW-03.3 (DJ0:LV-GDSW-03.3 Line Side)	DJ0:LV-GDSW-03.3	0,38	34,43	15,13	11,51	5,06	0.08	Yes	25	977	455	4,2
LV-GDSW-03.3 (DJ0:LV-GDSW-03.3 Line Side)	R-SW-03 (FU:TR-3.3)	0,38	34,43	15,13	20,62	9,06	0.13	Yes	25	1538	455	8,8
LV-GDSW-04.1	DJ1:MCC-24C	0,38	28,84	13,14	0,95	0,43	0.0833	Yes	25	913	455	3,7
LV-GDSW-04.1	DJ:3D2	0,38	28,84	13,14	1,98	0,90	0.0833	Yes	25	913	455	3,7
LV-GDSW-04.1	DJ:4D2	0,38	28,84	13,14	1,98	0,90	0.0833	Yes	25	913	455	3,7
LV-GDSW-04.1	DJ:CCM-22B-500A	0,38	28,84	13,14	2,36	1,07	0.0833	Yes	25	913	455	3,7
LV-GDSW-04.1	DJ:CCM-22C-500A	0,38	28,84	13,14	3,98	1,81	0.0833	Yes	25	913	455	3,7
LV-GDSW-04.1	DJ0:LV-GDSW-04.1	0,38	28,84	13,14	17,61	8,02	0.14	Yes	25	1132	455	5,3
LV-GDSW-04.1 (DJ0:LV-GDSW-04.1 Line Side)	DJ0:LV-GDSW-04.1	0,38	28,84	13,14	11,24	5,12	0.0833	Yes	25	913	455	3,7
LV-GDSW-04.1	DJ0:LV-GDSW-04.1	0,38	28,84	13,14	17,61	8,02	0.14	Yes	25	1132	455	5,3

Barramento	Equipamento de proteção	Tensão da barra (kV)	Falta franca na barra (kA)	Falta por arco na barra (kA)	Corrente de falta franca no equip. de proteção (kA)	Corrente de falta por arco no equip. de proteção (kA)	Tempo de disparo (s)	Ground	Gap (mm)	Fronteira de arco (mm)	Distância de trabalho (mm)	Energia incidente (cal/cm <sup>2</sup> )
LV-GDSW-04.1 (DJ0:LV-GDSW-04.1 Line Side)	DJ0:LV-GDSW-04.1	0,38	28,84	13,14	11,24	5,12	0.0833	Yes	25	913	455	3,7
LV-GDSW-04.1 (DJ0:LV-GDSW-04.1 Line Side)	R-SW-04 (FU:TR-4.1)	0,38	28,84	13,14	15,65	7,13	0.16	Yes	25	1473	455	8,2
LV-GDSW-04.2	DJ0:CCM-03A	0,38	32,66	14,51	9,60	4,26	0.06	Yes	25	797	455	3,0
LV-GDSW-04.2	DJ0:LV-GDSW-04.2	0,38	32,66	14,51	23,07	10,25	0.08	Yes	25	912	455	3,7
LV-GDSW-04.2 (DJ0:LV-GDSW-04.2 Line Side)	DJ0:CCM-03A (DJ0:LV-GDSW-04.2)	0,38	32,66	14,51	9,60	4,26	0.06	Yes	25	797	455	3,0
LV-GDSW-04.2 (DJ0:LV-GDSW-04.2 Line Side)	R-SW-04 (FU:TR-4.2)	0,38	32,66	14,51	20,50	9,10	0.16	Yes	25	1602	455	9,4
LV-GDSW-04.3	DJ0:CCM-04A	0,38	32,54	14,46	9,60	4,27	0.06	Yes	25	796	455	3,0
LV-GDSW-04.3	DJ0:LV-GDSW-04.3	0,38	32,54	14,46	22,94	10,20	0.08	Yes	25	910	455	3,7
LV-GDSW-04.3 (DJ0:LV-GDSW-04.3 Line Side)	DJ0:CCM-04A (DJ0:LV-GDSW-04.3)	0,38	32,54	14,46	9,60	4,27	0.06	Yes	25	796	455	3,0
LV-GDSW-04.3 (DJ0:LV-GDSW-04.3 Line Side)	R-SW-04 (FU:TR-4.3)	0,38	32,54	14,46	20,39	9,06	0.16	Yes	25	1599	455	9,4
LV-GDSW-QTA	DJ:1.1-1000A	0,38	17,13	7,37	8,57	4,33	0.08	Yes	25	677	455	2,3
LV-GDSW-QTA	DJ:1.2-1000A	0,38	17,13	7,37	8,57	3,68	0.1868	Yes	25	840	455	3,3
LV-GDSW-QTA (DJ:1.2-1000A Line Side)	DJ:1.1-1000A (DJ:1.2-1000A)	0,38	17,13	8,67	8,57	4,33	0.08	Yes	25	677	455	2,3
LV-GDSW-QTA (DJ:1.2-1000A Line Side)	R-SW-01 (FU:TR-1.2)	0,38	17,13	8,67	17,13	8,67	0.3	Yes	25	1316	455	6,8
MCC Paletizador	DJ:MCC Paletizador	0,38	7,30	4,39	7,30	4,39	0.08	Yes	25	432	455	1,1
MCC-07C	DJ MCC-07C	0,38	16,72	8,50	14,80	7,52	0.0137	Yes	25	228	455	0,38
MCC-15-B1	DJ MCC-15-B1	0,38	11,17	5,24	11,17	5,24	0.0355	Yes	25	296	455	0,59
MCC-16-B1	DJ MCC-16-B1	0,38	11,17	5,24	11,17	5,24	0.0355	Yes	25	296	455	0,59
MCC-24A	DJ:3D2	0,38	9,66	5,48	8,13	4,62	0.0605	Yes	25	422	455	1,1
MCC-24B	DJ:4D2	0,38	9,66	5,48	8,13	4,62	0.0605	Yes	25	422	455	1,1

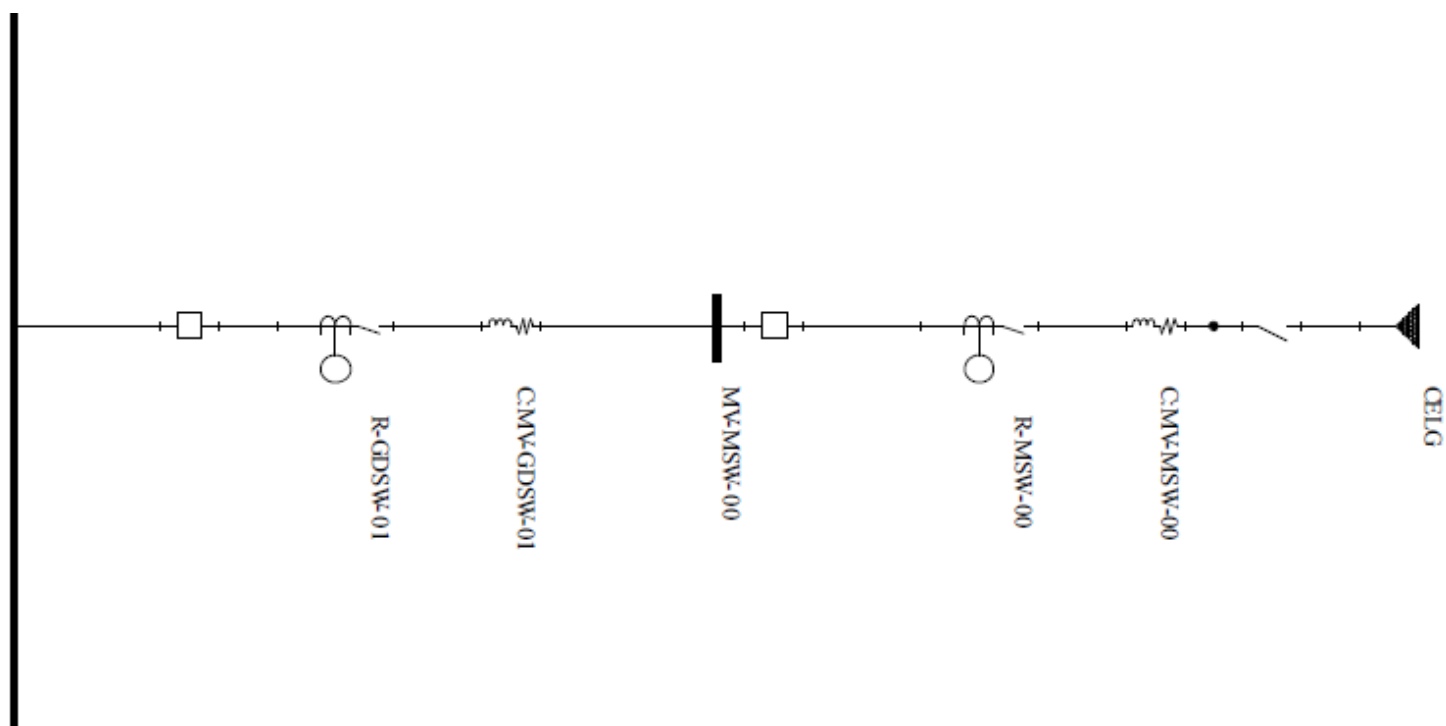
Barramento	Equipamento de proteção	Tensão da barra (kV)	Falta franca na barra (kA)	Falta por arco na barra (kA)	Corrente de falta franca no equip. de proteção (kA)	Corrente de falta por arco no equip. de proteção (kA)	Tempo de disparo (s)	Ground	Gap (mm)	Fronteira de arco (mm)	Distância de trabalho (mm)	Energia incidente (cal/cm <sup>2</sup> )
MCC-24C	DJ1:MCC-24C	0,38	15,04	7,81	14,12	7,33	0.0614	Yes	25	538	455	1,6
Motriz Descarga	DJ:Motriz Descarga	0,38	2,04	1,58	2,04	1,58	0.02	Yes	25	95	455	0,09
MV-GDSW-01	R-SW-02	34,50	1,50	1,50	0,03	0,03	0.0833	Yes	152	1360	910	2,7
MV-GDSW-01	R-SW-03	34,50	1,50	1,50	0,23	0,23	0.0833	Yes	152	1360	910	2,7
MV-GDSW-01	R-SW-04	34,50	1,50	1,50	0,24	0,24	0.0833	Yes	152	1360	910	2,7
MV-GDSW-01	R-GDSW-01	34,50	1,50	1,50	1,00	1,00	0.25	Yes	152	2354	910	8,0
MV-GDSW-01 (R-GDSW-01 Line Side)	R-GDSW-01	34,50	1,50	1,50	0,50	0,50	0.0833	Yes	152	1360	910	2,7
MV-GDSW-01 (R-GDSW-01 Line Side)	R-MSW-00	34,50	1,50	1,50	1,00	1,00	0.28	Yes	152	2447	910	8,6
MV-GDSW-01	R-SW-04	34,50	1,50	1,50	0,24	0,24	0.0833	Yes	152	1360	910	2,7
MV-GDSW-01	R-GDSW-01	34,50	1,50	1,50	1,00	1,00	0.25	Yes	152	2354	910	8,0
MV-GDSW-01 (R-GDSW-01 Line Side)	R-GDSW-01	34,50	1,50	1,50	0,50	0,50	0.0833	Yes	152	1360	910	2,7
MV-GDSW-01 (R-GDSW-01 Line Side)	R-MSW-00	34,50	1,50	1,50	1,00	1,00	0.28	Yes	152	2447	910	8,6
MV-MSW-00	R-GDSW-01	34,50	1,50	1,50	0,50	0,50	0.0833	Yes	152	1361	910	2,7
MV-MSW-00	R-MSW-00	34,50	1,50	1,50	1,00	1,00	0.28	Yes	152	2450	910	8,7
MV-MSW-00 (R-MSW-00 Line Side)	R-MSW-00	34,50	1,50	1,50	0,50	0,50	0.0833	Yes	152	1361	910	2,7
MV-SW01	R-SW-01	34,50	1,50	1,50	1,50	1,50	0.05	Yes	152	1607	910	3,7
MV-SW02	FU:TR-2.1	34,50	1,50	1,50	0,03	0,03	0.0833	Yes	152	1358	910	2,7
MV-SW02	R-SW-02	34,50	1,50	1,50	1,46	1,46	0.07	Yes	152	1696	910	4,2
MV-SW03	DJ0:LV-GDSW-03.2 (FU:TR-3.2)	34,50	1,50	1,50	0,07	0,07	0.08	Yes	152	1329	910	2,5
MV-SW03	DJ0:LV-GDSW-03.3 (FU:TR-3.3)	34,50	1,50	1,50	0,09	0,09	0.08	Yes	152	1329	910	2,5
MV-SW03	FU:TR-3.1	34,50	1,50	1,50	0,07	0,07	0.0833	Yes	152	1354	910	2,6
MV-SW03	R-SW-03	34,50	1,50	1,50	1,26	1,26	0.05	Yes	152	1602	910	3,7
MV-SW04	DJ0:LV-GDSW-04.2 (FU:TR-4.2)	34,50	1,50	1,50	0,08	0,08	0.08	Yes	152	1331	910	2,6
MV-SW04	DJ0:LV-GDSW-04.3 (FU:TR-4.3)	34,50	1,50	1,50	0,08	0,08	0.08	Yes	152	1331	910	2,6

Barramento	Equipamento de proteção	Tensão da barra (kV)	Falta franca na barra (kA)	Falta por arco na barra (kA)	Corrente de falta franca no equip. de proteção (kA)	Corrente de falta por arco no equip. de proteção (kA)	Tempo de disparo (s)	Ground	Gap (mm)	Fronteira de arco (mm)	Distância de trabalho (mm)	Energia incidente (cal/cm <sup>2</sup> )
MV-SW04	FU:TR-4.1	34,50	1,50	1,50	0,08	0,08	0.0833	Yes	152	1356	910	2,7
MV-SW04	R-SW-04	34,50	1,50	1,50	1,26	1,26	0.16	Yes	152	2049	910	6,1
QTA	DJ:Rede	0,38	16,73	8,50	16,73	8,50	0.08	Yes	25	668	455	2,2
QTA (DJ:Rede Line Side)	DJ:1.1-1000A	0,38	16,73	7,23	8,36	4,25	0.08	Yes	25	668	455	2,2
QTA (DJ:Rede Line Side)	DJ:1.2-1000A	0,38	16,73	7,23	8,36	3,61	0.1952	Yes	25	846	455	3,3
Restaurante	DJ:Restaurante	0,38	1,42	1,19	1,42	1,19	0.02	Yes	25	78	455	0,07
Sala Baterias	DJ:Sala Baterias	0,38	4,80	3,14	4,80	3,14	0.0603	Yes	25	292	455	0,58
Serv Classif	DJ:Serv Classif	0,38	2,77	2,03	2,77	2,03	0.0224	Yes	25	120	455	0,13
Serv Deposito	DJ:Serv Deposito	0,38	1,92	1,51	1,92	1,51	0.02	Yes	25	92	455	0,09
Serv Descarte	DJ:Serv Descarte	0,38	2,04	1,58	2,04	1,58	0.02	Yes	25	95	455	0,09
Serv Desgranado	DJ:Serv Desgranado	0,38	2,77	2,03	2,77	2,03	0.0224	Yes	25	120	455	0,13
Serv Escritorio	DJ:Serv Escritorio	0,38	4,97	3,23	4,97	3,23	0.02	Yes	25	152	455	0,20
Serv Manut	DJ:Serv Manut	0,38	2,77	2,03	2,77	2,03	0.0224	Yes	25	120	455	0,13
Serv Oficinas	DJ:Serv Oficinas	0,38	2,45	1,56	2,45	1,56	0.0391	Yes	25	141	455	0,18
Serv Portaria	DJ:Serv Portaria	0,38	1,72	1,38	1,72	1,38	0.02	Yes	25	87	455	0,08
Serv Recepcao	DJ:Serv Recepcao	0,38	1,55	1,27	1,55	1,27	0.02	Yes	25	82	455	0,07
Serv Recreacao	DJ:Serv Recreacao	0,38	1,55	1,27	1,55	1,27	0.02	Yes	25	82	455	0,07
Serv Sala Bat	DJ:Serv Sala Bat	0,38	1,55	1,27	1,55	1,27	0.02	Yes	25	82	455	0,07
Serv Sec 1	DJ:Serv Sec 1	0,38	2,25	1,71	2,25	1,71	0.02	Yes	25	100	455	0,10
Serv Selecao	DJ:Serv Selecao	0,38	2,77	2,03	2,77	2,03	0.0224	Yes	25	120	455	0,13
Ventilador 1D1	DJ:Vent1D1-500A	0,38	16,50	8,41	14,08	7,17	0.0401	Yes	25	435	455	1,1
Ventilador 2D1	DJ:Vent2D1-500 <sup>a</sup>	0,38	16,27	8,32	13,85	7,08	0.0409	Yes	25	438	455	1,1



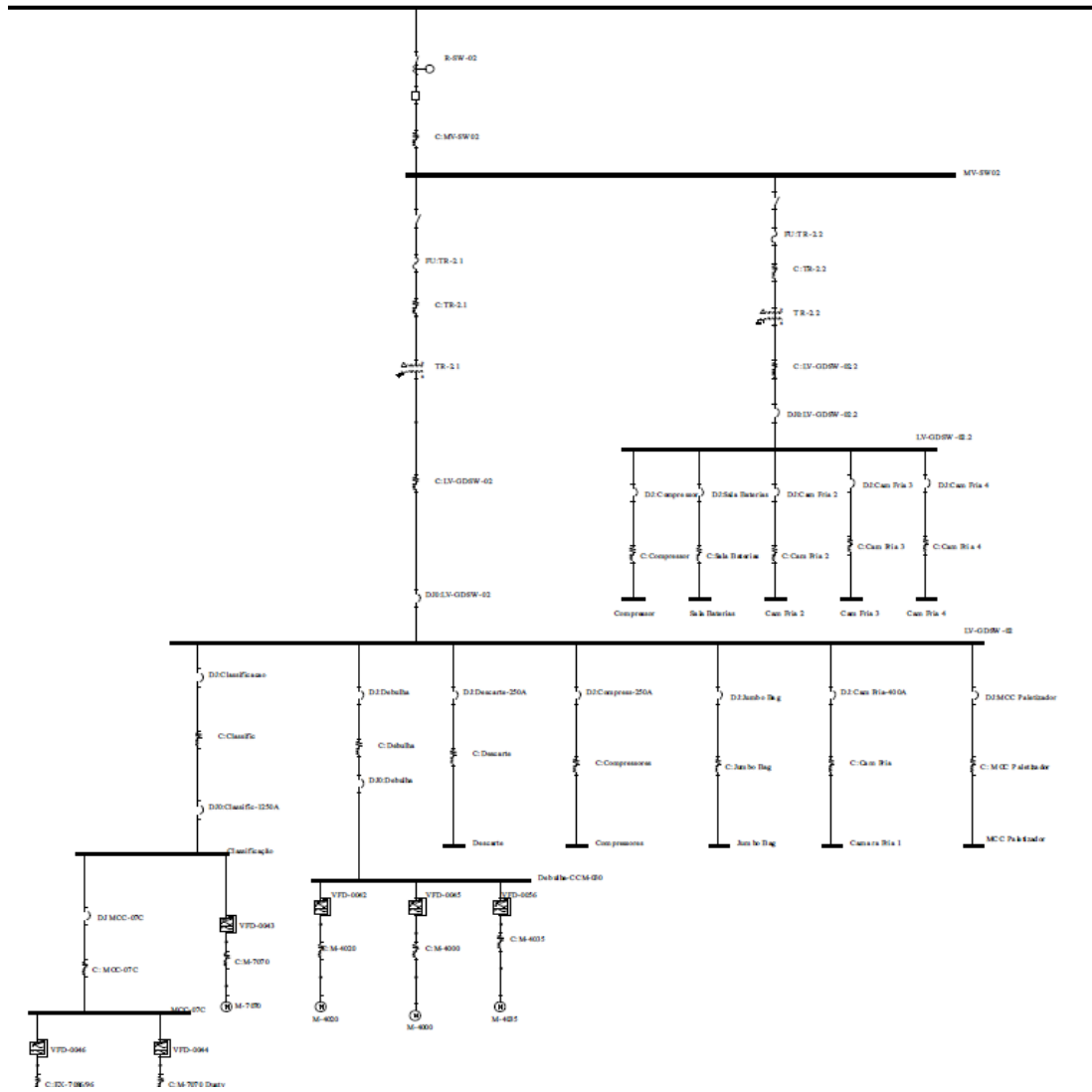
## ANEXO C – DIAGRAMA UNIFILAR GERAL

### ANEXO C1 – CABINE DE ENTRADA

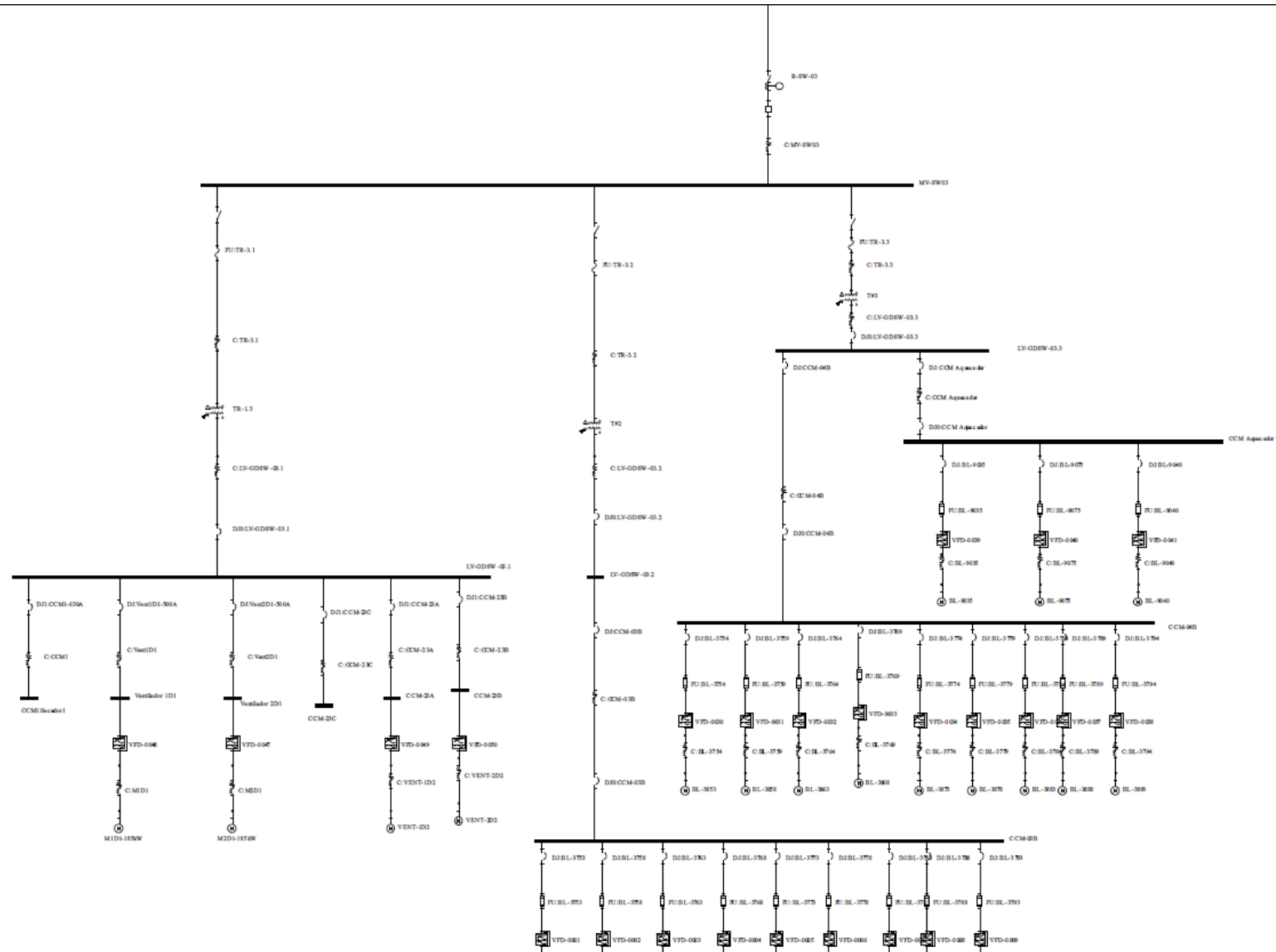




## ANEXO C3 – SUBESTAÇÃO 02



# ANEXO C4 – SUBESTAÇÃO 03



# ANEXO C5 – SUBESTAÇÃO 04

