



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE  
CENTRO DE ENGENHARIA ELÉTRICA E INFORMÁTICA  
COORDENAÇÃO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA**

**ESTUDOS SOBRE O CÁLCULO DA ENERGIA  
INCIDENTE DE ARCOS ELÉTRICOS**

**Regis Isael da Silva  
Matrícula: 20611876**

**Orientador: Leimar de Oliveira**

**Campina Grande – Paraíba  
Setembro/2008**



Biblioteca Setorial do CDSA. Fevereiro de 2021.

Sumé - PB

**ESTUDOS SOBRE O CÁLCULO DA ENERGIA INCIDENTE DE  
ARCOS ELÉTRICOS**

**REGIS ISRAEL DA SILVA**

**MATRÍCULA: 20611876**

Trabalho de conclusão de curso apresentado como avaliação da disciplina Projeto de Engenharia Elétrica, do Departamento de Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Campina Grande como requisito para graduação no Curso de Engenharia Elétrica.

**LEIMAR DE OLIVEIRA**

**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA**

**Campina Grande – Paraíba**

**Setembro/2008**

## AGRADECIMENTOS

A Deus que me tem dado força nas horas de fraqueza e que nunca me abandonou e desamparou durante toda minha vida.

A minha família que não mediu esforços para que eu conquistasse sucesso, principalmente.

A minha mãe Edileuza Santana Aragão da Silva, pedagoga, que com carinho me ensinou a praticar o bem não importasse a circunstância.

A meu pai Isael Manoel da Silva que sempre priorizou os estudos na nossa vida e fez com que seus três filhos se formassem em universidades públicas mesmo com todas as dificuldades.

A meus irmãos Ronaldo e Reginaldo que sempre me deram apoio durante a vida acadêmica.

A Angélica Magna por todo apoio durante a realização desse trabalho.

Ao professor Leimar de Oliveira que me ajudou a desenvolver minhas potencialidades mesmo quando parecia impossível, ele apresentou uma orientação valiosa.

Ao professor Damásio pelos préstimos demonstrados na realização deste trabalho.

## SIMBOLOGIA

- A – Ampere.
- ASTM – American Society for Testing and Materials.
- Bus – Barramento.
- C/A – Cloro Soda.
- Cal – Caloria.
- CCM – Central de Controle de Motores.
- cd – candela.
- CDL – Curva de Distribuição Luminosa [cd].
- CENELEC – Comitê Européen de Normalisation Electrotechnique.
- $E$  – Energia incidente.
- $E$  – Iluminância ou Iluminamento [lux].
- $E_{\text{Jou}}$  – Energia Incidente em Joule.
- $E_{\text{máx}}$  – Iluminância Máxima [lx].
- $E_{\text{mcz}}$  – Iluminância Média pelo método das Cavidades Zonais [lx].
- $E_{\text{méd}}$  – Iluminância Média [lx].
- $E_{\text{mín}}$  – Iluminância Mínima [lx].
- $E_{\text{n}}$  – Energia Incidente Normalizada.
- EPE – Equipamento de Proteção Elétrica.
- EPI – Equipamento de Proteção Individual.
- $F_u$  – Fator de Utilização.
- $G$  – Distância dos condutores.
- HCl – Acido Clorídrico.
- HP – Horse Power (= 473 W).
- $I$  – Intensidade Luminosa [cd].
- $I_a$  – Corrente do arco elétrico.
- $I_{\text{bf}}$  – Corrente presumida de curto-circuito sólido trifásico simétrico valor r.m.s.
- $I_{\text{cc}}$  – Corrente de Curto-circuito Simétrico Trifásico.
- IEC – International Electrotechnical Commission.
- IRC ou  $R_a$  – Índice de reprodução de cores [R].
- J – Joule.

$K$  – Índice do Recinto.  
 $K$  – Kelvin.  
 $L$  – Luminância [ $\text{cd}/\text{m}^2$ ].  
 $\text{lm}$  – Lúmen.  
 $\text{lx}$  – Lux.  
NR – Norma Regulamentadora.  
PER – Percloroetileno.  
PG – Propilenoglicol.  
PO – Óxido de Propileno.  
 $\text{pu}$  – por unidade.  
 $R$  – Resistência Elétrica.  
 $\text{Seq}$  – Potência equivalente.  
 $T$  – Temperatura de Cor [ $K$ ].  
TET – Tetracloroeto de Carbono.  
 $V$  – Volt.  
 $V_{\text{al}}$  – Tensão do Alimentador.  
 $V_{\text{bs}}$  – Tensão de base do Sistema.  
 $W$  – Watts.  
 $Z_{\text{eq}}$  – Impedância.  
 $\eta_{\text{l}}$  – Eficiência de luminária (rendimento da luminária).  
 $\eta_{\text{R}}$  – Eficiência do Recinto.  
 $\eta_{\text{R}}$  – Eficiência do Recinto.  
 $\eta_{\text{w}}$  ou  $K$  – Eficiência energética.  
 $\rho$  – Resistividade Elétrica.  
 $\phi$  – Fluxo Luminoso [ $\text{lm}$ ].  
 $\Omega$  – Ohm.

## RESUMO

As falhas elétricas, ou curtos-circuitos, em instalações elétricas industriais com formação de arco elétrico são fenômenos freqüentes que liberam uma enorme quantidade de calor e podem ser fatais para os trabalhadores que estiverem executando manutenção ou manobra. Este fenômeno, além do calor, libera partículas de metais ionizadas que podem conduzir correntes, provocar deslocamento de ar com aparecimento de alta pressão prejudicial ao sistema auditivo, emitir raios ultravioletas prejudiciais à visão e liberação de gases tóxicos como resultado da combustão dos materiais internos ao painel. Para que esse calor, chamado de Energia Incidente, não cause acidentes é necessária a determinação desse nível de energia para escolha de equipamento de proteção adequado, utilizando para isso o valor da corrente de curto-circuito trifásica, calculada para o equipamento em questão, levando em consideração a contribuição do sistema, motores e demais equipamentos de proteção elétrica interligados. Na adequação as normas regulamentadoras brasileiras, em especial à NR-10 – Segurança em serviços elétricos, tornou-se necessária a determinação da Energia Incidente, sobre o trabalhador, em ocasião de arco elétrico gerado por curto-circuito em painéis elétricos, principalmente. Através desses cálculos pode-se garantir a segurança do trabalhador que executa a manutenção elétrica bem como na execução de uma simples manobra, determinando a roupa de proteção ao arco elétrico que ele deve utilizar em caso de manobra ou manutenção.

Palavras-Chave: Energia Incidente, Arco elétrico, Curto-circuito.

## SUMÁRIO

<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>1</b>
Objetivo .....	2
<b>CAPÍTULO I – FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....</b>	<b>3</b>
1.1. Arco Elétrico e Energia Incidente.....	3
1.1.1. Introdução .....	3
1.1.2. EPI – Equipamento de Proteção Individual – Proteção contra arcos elétricos .....	4
1.1.3. Equipamento elétrico à prova de arco .....	5
1.1.4. Corrente de curto-circuito - proteção de equipamento e circuitos elétricos .....	6
1.1.5. Arcos Elétricos .....	6
1.1.6. O novo modelo matemático .....	8
1.1.7. Cálculo da energia do arco – Tensão entre 208 V e 15.000 Volts e configuração do equipamento dentro do modelo.....	10
1.1.7.1. Corrente de arco elétrico .....	10
1.1.7.2. Energia Incidente Normalizada.....	11
1.1.7.3. Energia Incidente.....	12
1.1.7.4. Ajuste da corrente de arco para definição da energia do arco.....	13
<b>CAPÍTULO II – MATERIAIS E MÉTODOS .....</b>	<b>15</b>
<b>CAPÍTULO III – RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>16</b>
3.1. Energia Incidente .....	16
3.1.1. Corrente de Curto-circuito .....	16
3.1.2. Corrente de Arco e Energia Incidente .....	23
3.1.3. EPI necessário .....	27
<b>CAPÍTULO IV – CONCLUSÃO.....</b>	<b>29</b>
<b>BIBLIOGRAFIA.....</b>	<b>30</b>
<b>APÊNDICE .....</b>	<b>31</b>



## INTRODUÇÃO

Esse trabalho consiste do estudo da determinação da Energia Incidente que atinge o trabalhador em eletricidade na ocasião de falha elétrica em equipamento ou painel com surgimento de arco elétrico.

Para o cálculo dessa Energia serão utilizadas as equações apresentadas por pesquisadores do IEEE, e também será necessário o cálculo da corrente de curto-circuito trifásico sólido para cada equipamento bem como a contribuição nos ramos que contêm dispositivos de proteção como fusíveis e disjuntores.

Após a determinação da corrente de curto-circuito se tornará possível calcular a Energia Incidente e determinar a roupa de proteção adequada para o trabalhador de serviços elétricos, de maneira que ele esteja protegido, tanto contra descargas elétricas provenientes da ionização do ar gerador pelo próprio arco, bem como contra o calor dissipado pelo arco elétrico que pode ocasionar a morte de trabalhador.

No Capítulo I será apresentada a fundamentação teórica, desde a definição de arco elétrico e energia incidente, bem como os equipamentos de proteção individuais. Será apresentado um modelo matemático baseado no modelo desenvolvido por Ralph Lee, para cálculo da corrente de arco gerado por curto-circuito em barramentos de painéis e a energia resultante desse arco elétrico.

No Capítulo II serão apresentados os materiais e métodos utilizados, onde constam os recursos tecnológicos necessários ao cálculo da corrente de curto-circuito trifásica, e sobre o levantamento de dados nas indústrias Dow.

No Capítulo III estão os resultados do trabalho que são apresentados em forma de tabelas do Excel®, onde constam dados como, corrente de curto-circuito trifásica dos barramentos do sistema em estudo, corrente de arco e energia incidente. Através desses dados foi possível determinar o equipamento de proteção individual necessário para manobra ou manutenção de cada equipamento da planta.

Posteriormente é feita a conclusão do trabalho, onde são analisados os dados e apresentadas sugestões para trabalhos posteriores.

## **Objetivo**

Este trabalho objetiva a determinação da Energia Incidente, energia essa que incide sobre o funcionário quando da ocorrência de arco elétrico em painéis elétricos sob manutenção, com a finalidade de determinar a roupa de proteção mais adequada a cada painel da empresa.

A importância do cálculo da energia incidente fica notória com os exemplos que serão apresentados de valores de energia que um painel, aparentemente inofensivo, pode emitir em ocasião de um curto, devido às várias contribuições dos equipamentos elétricos componentes do sistema elétrico.

## **CAPÍTULO I – FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA**

### **1.1. Arco Elétrico e Energia Incidente**

#### **1.1.1. Introdução**

Desde a publicação de Ralph Lee em 1982, quando foi apresentado um modelo teórico para cálculo do calor liberado por arco elétrico numa falha a fim de proteger o trabalhador, foram realizados vários estudos e ensaios em laboratórios para estabelecer um modelo que pudesse obter resultado o mais próximo da realidade, simulando varias configurações de equipamentos e sistemas elétricos de distribuição.

Em 2000, foi publicado no Brasil um artigo com resumo dos trabalhos publicados até então conhecidos. Várias indústrias realizam os estudos para análise de riscos provenientes do calor para escolha adequada dos Equipamentos de Proteção Individual para proteção do trabalhador contra a queimadura.

Em setembro de 2002 o IEEE, publicou um documento, mais completo e atualizado com recomendações e métodos de cálculo para determinação da energia do arco que um trabalhador fica exposto nos seus locais de trabalho. As fórmulas para cálculos foram obtidas pela modelagem dos resultados de ensaios até então realizados.

Este artigo tem como objetivo apresentar resumidamente o modelo matemático desenvolvido para determinação da energia do arco e as considerações feitas na análise dos resultados dos ensaios e um resumo das metodologias para determinar o desempenho de tecidos e roupas para proteção contra queimaduras por arcos elétricos do IEC- (International Electrotechnical Commission), CENELEC - (Comitê Européen de Normalisation Electrotechnique), e ASTM. – American Society for Testing and Materials.

Deve ser enfatizado que a determinação da energia do arco e a escolha da roupa de proteção adequada (EPI) é uma análise de risco que envolve um estudo complexo de engenharia elétrica para determinação dos parâmetros a serem utilizados nas formulas. A aplicação do modelo apresentado deve ser sempre realizada e supervisionada por profissionais legalmente qualificados e habilitados considerando a natureza das falhas, características dos

equipamentos e sistema elétricos e as respectivas tecnologias e operabilidade dos dispositivos de proteção.

### 1.1.2. EPI – Equipamento de Proteção Individual – Proteção contra arcos elétricos

No Brasil, a NR-6 - Norma Regulamentadora do Ministério do Trabalho e Emprego estabelece as exigências legais para Equipamentos de Proteção Individual (EPI) para proteção dos trabalhadores contra riscos susceptíveis de ameaçar a segurança e a saúde no trabalho. Nesta NR não está explícita a necessidade de proteção contra arcos elétricos, mas estabelece que o EPI deve proteger os trabalhadores contra agentes térmicos tanto para cabeça, face, membro superior e inferior e corpo inteiro. É entendimento do autor que o arco elétrico é um agente térmico, assim como superfícies de equipamentos e chamas e o calor pode ser quantificado, portanto o arco elétrico é um risco susceptível de ameaça a segurança e a saúde do trabalhador e este deve ser protegido pelo EPI da mesma maneira que é feito com capacete, calçado, óculos de segurança, luvas e outros equipamentos de segurança utilizados para serviços em eletricidade (Figura 1.1).



Figura 1.1 – Equipamento de Proteção Individual para serviços elétricos.

Nos Estados Unidos e na Europa, em função da necessidade e obrigatoriedade legal para proteção contra os efeitos térmicos do arco elétrico, foram desenvolvidas normas para verificar e determinar o desempenho dos tecidos e vestimentas utilizados como EPI's pelas

entidades como a ASTM nos EUA, a CENELEC na Europa e o IEC com abrangência internacional (Quadro 1.1).

Quadro 1.1 – Guia para escolha da roupa de proteção em função da energia calculada, e valores típicos de ATPV.

Faixa de Energia Incidente cal/cm <sup>2</sup>	Classe da Roupa	Descrição da Roupa (Número total de camadas)	Gramatura Total Grama/m <sup>2</sup>	ATPV OU E <sub>BT</sub>
0-2	0	Algodão Não tratado (1)	153 - 237	NÃO APLICÁVEL
2-5	1	Camisa e Calça com Fibra de Nomex® (1)	153-271	5-7
5-8	2A	Roupa Interna de algodão mais Calça e Camisa de Fibra de Nomex® (2)	305-407	8-18
5-16	2B	Roupa de baixo mais a Calça e Camisa de Fibra de Nomex® (2)	340-476	16-22
8-25	3	Roupa Interna de algodão, mais Calça e Camisa, mais avental de Fibra de Nomex® (3)	542-678	25-50
25-40	4	Roupa Interna de algodão, mais Calça e Camisa e mais avental duplo de Fibra de Nomex® (4)	813-1107	40 - >60

Nota: O número entre parênteses refere-se ao número de camadas do tecido.

### 1.1.3. Equipamento elétrico à prova de arco.

As normas técnicas internacionais e brasileiras prescrevem que os equipamentos elétricos devem ser dimensionados e construídos para suportar os esforços mecânicos e térmicos em casos de curto-circuito sem danificar o equipamento. No caso de equipamentos a prova de arco todo o material da combustão deve ser direcionado para cima para evitar atingir o trabalhador de modo que as portas e coberturas de proteção não abram, não haja rajadas de fragmentos, o arco não provoque furos no painel, a integridade do aterramento seja mantida, e amostra de tecido colocada a uma certa distância na posição vertical e horizontal não inflame. Esta condição é encontrada em situações normais de operação, onde o equipamento é mantido fechado, porém para manutenção ou inspeção e verificação, muitas vezes precisamos abrir a

porta, remover as coberturas de proteção, ou remover ou inserir componentes, como disjuntores, alterando toda a condição de segurança estabelecida pelas normas. Portanto, mesmo para equipamentos a prova de arco ainda o trabalhador especializado fica exposto ao risco (Figura 1.2).



Figura 1.2 – Danos causados a um switchgear devido ocorrência de arco elétrico.

#### 1.1.4. Corrente de curto-circuito - proteção de equipamento e circuitos elétricos

O cálculo da corrente de curto-circuito e o estudo de coordenação e seletividade de proteção é uma prática básica para qualquer engenharia de projeto elétrico, e tem como objetivo principal dimensionar e proteger os equipamentos e instalação elétrica em caso de falhas e aumentar a continuidade operacional através da segregação da área afetada pela falha.

A metodologia de cálculo da corrente de curto-circuito é consagrada e conhecida na engenharia elétrica. Existem várias ferramentas e metodologias que conseguem resultados muito próximos do real, uma vez que os parâmetros de cálculo são mais conhecidos e fixos.

Este mesmo cálculo e estudo de coordenação podem e devem ser utilizados como base para proteger as pessoas como veremos mais adiante.

#### 1.1.5. Arcos Elétricos.



O arco elétrico é um fenômeno da eletricidade inerente dos sistemas elétricos. Podem liberar calor intenso e controlado como nos casos de solda elétrica e fornos industriais ou com liberação de pequena quantidade de calor como nos casos de interruptores para lâmpadas.

As falhas elétricas, ou curtos-circuitos, com formação de arco é um fenômeno indesejável que libera uma enorme quantidade de calor. Este fenômeno, além do calor, libera partículas de metais ionizadas que podem conduzir correntes, provocar deslocamento de ar com aparecimento de alta pressão prejudicial ao sistema auditivo, emitir raios ultravioletas prejudiciais à visão e liberação de gases tóxicos como resultado da combustão dos materiais internos ao painel (Figura 1.3).

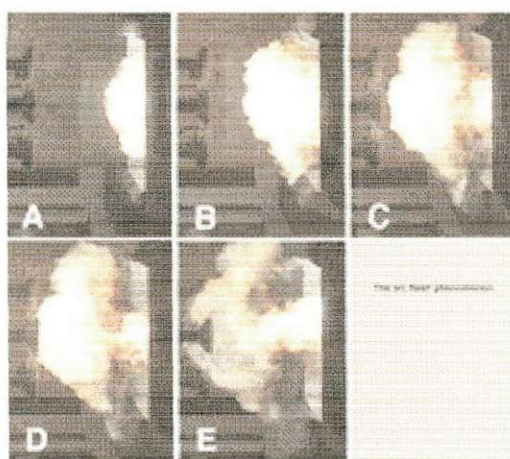


Figura 1.3 – Expansão do fogo em arco elétrico.

As falhas elétricas com arcos em equipamentos elétricos podem aparecer em consequência de mau contato, depreciação da isolação, defeito de fabricação de componentes e equipamento ou mau dimensionamento, projeto e manutenção inadequada, contatos acidentais ou inadvertidos de ferramentas ou quedas de peças soltas durante manobras etc. Todos estes fatores podem contribuir para o aparecimento do arco elétrico no momento ou durante a intervenção nos equipamentos como aberturas de portas, remoção de componentes etc. Numa eventualidade de uma pessoa estar presente durante a ocorrência do arco sem o equipamento de proteção adequado, o calor poderá provocar a queima da roupa e ferir gravemente podendo levar a morte por queimadura. Se conseguirmos quantificar o calor do arco, podemos tomar medidas de proteção e procurar medidas eficientes de proteção do trabalhador, como fazemos para proteger os equipamentos (Figura 1.4).

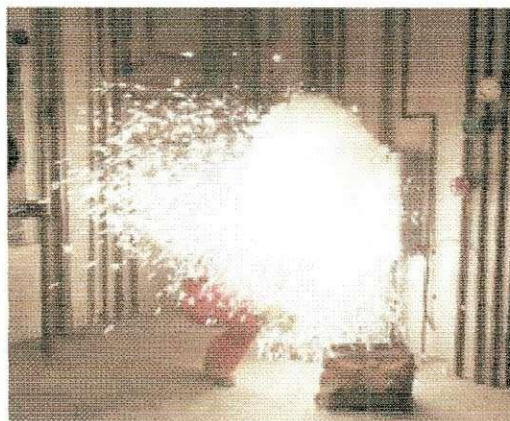


Figura 1.4 – Arco elétrico em painel. Energia incidindo sobre funcionário com EPI adequado.

#### 1.1.6. O novo modelo matemático

O modelo publicado anteriormente, foi baseado no modelo teórico de Ralph Lee e nos resultados dos ensaios realizados até então, e apresenta limitações quanto à aplicabilidade e precisão para situações mais reais.

O novo modelo foi desenvolvido baseado na avaliação de engenharia e nos ensaios anteriores e levando em consideração os fatores que mais influenciam no nível de energia incidente liberado na forma de calor, são eles:

- a) tempo do arco
- b) distância do arco
- c) tensão do circuito
- d) corrente de curto-circuito franco.
- e) relação X/R do circuito
- f) distância dos eletrodos (barramento)
- g) número de fases
- h) aterramento do sistema (isolado ou aterrado)
- i) arco enclausurado ou em área aberta
- j) tamanho do invólucro
- k) formato do invólucro
- l) configuração dos eletrodos (em triangulo ou alinhados)
- m) distância dos eletrodos com o invólucro
- n) frequência.



O método escolhido para verificar e avaliar o inter-relacionamento de todos estes fatores foi o método estatístico denominado “Design of Experiments” (DOE) ou Plano de Experimentos. Este método consiste em obter os dados (energia incidente), através de ensaios, para cada combinação dos fatores, alterando os respectivos valores de uma forma organizada e preestabelecida. A maneira ideal seria estabelecer a máxima faixa de variação de cada fator, selecionar um ou mais pontos intermediários e realizar os ensaios para cada combinação possível e medir o resultado.

Pela quantidade de fatores, mesmo que fossem escolhidos 3 valores para cada fator e analisasse a influencia dos demais, significaria aproximadamente 4.800.000 ensaios diferentes, uma missão impraticável em função do tempo e de custo. Assim o grupo de estudos, utilizando os conhecimentos de engenharia elétrica em relação ao comportamento do arco, metodologia do DOE e analisando os resultados dos ensaios anteriores, fracionaram as combinações eliminando algumas delas para reduzir o número de ensaios sem afetar a precisão do resultado final. Por exemplo, foi verificado que a energia variava linearmente com o tempo em todas as situações e o fator tempo poderia ser utilizado como multiplicador no cálculo, então foi fixado o tempo de 0,20 segundos (200 ms) para realização de todos os ensaios. Da mesma maneira, a energia variava na forma inversamente proporcional com a distância e assim foi fixada a distância de 610 mm.

Resumindo, o resultado da modelagem foi validado para as seguintes condições:

- Tensão entre 208 e 15.000 V – trifásico
- Frequência de 50 Hz e 60 Hz
- Corrente de curto-circuito franci entre 700 A e 106.000 A
- Aterramento de sistema sólido e isolado com e sem resistência
- Arco dentro do invólucro de equipamentos e em locais abertos
- Espaçamento entre condutores entre 13 mm e 152 mm.
- Curtos-circuitos trifásicos.

Para situações fora destas condições é recomendado o uso do modelo teórico de Ralph Lee (1), enquanto não forem realizados para estas situações.

Definidos os principais fatores e suas respectivas faixas de variação a serem consideradas e definidos os valores e combinações para ensaios, o grupo procurou um modelo matemático que pudesse expressar os resultados na forma de equações, utilizando as técnicas de análise estatística e teoria dos erros. As equações foram ajustadas através de software específico para obter o melhor valor dentro de uma faixa de tolerância e precisão aceitável conseguindo assim resultado mais próximo do valor verdadeiro.

Assim o modelo foi fracionado em primeiro determinar uma equação para cálculo da corrente do arco elétrico, normalmente menor do que a corrente de curto-circuito sólido, em seguida, uma equação para calcular a energia normalizada para a distância de 610 mm e tempo de 0,2 segundos (200 ms), e finalmente uma equação para cálculo da energia com introdução do fator distância e tempo.

1.1.7. Cálculo da energia do arco – Tensão entre 208 V e 15.000 Volts e configuração do equipamento dentro do modelo

#### 1.1.7.1. Corrente de arco elétrico

O estudo demonstrou que para tensão do sistema abaixo de 1.000 Volts a energia do arco dependia do confinamento do arco em invólucro, da tensão do sistema, da corrente de curto-circuito sólido e da distância entre os barramentos (condutores), enquanto que para sistema com tensão entre 1.000 Volts e 15.000 Volts a corrente do arco era função somente da corrente de curto-circuito sólido, e assim foi ajustada uma equação para tensão menor que 1.000 Volts e outra para tensão do sistema entre 1.000 Volts e 15.000 Volts.

##### a) Tensão do sistema menor que 1.000 V

Para tensão do sistema abaixo de 1.000 Volts, o estudo chegou na equação {1} para cálculo da corrente de arco.

$$\text{Log } I_a = K + 0,662 \times \text{Log}(I_{bf}) + 0,0966 \times V + 0,000526 \times G + 0,5588 \times V \times \text{Log}(I_{bf}) - 0,00304 \times G \times \text{Log}(I_{bf}) \quad \{1\}$$

e

$$I_a = 10^{\text{Log } I_a}$$

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 franco trifásico simétrico valor r.m.s (kA)

$V$  = Tensão do sistema (kV)

$G$  = Distância dos condutores (mm) – ver tabela I

### **b) Tensão do sistema entre 1.000 V e 15.000 V**

Para tensão do sistema entre 1.000 Volts e 15.000 Volts, deve ser usada a equação {2} para cálculo da corrente de arco.

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

$$I_a = 10^{\text{Log } I_a}$$

### **c) Tensão do sistema acima de 15.000 V**

Como os ensaios não foram realizados para sistema acima de 15.000 Volts, o IEEE – 1584TM recomenda utilizar o modelo teórico de Ralph Lee, considerando a corrente de arco igual à corrente de curto-circuito sólido, ou seja, a equação {3}.

$$I_a = I_{bf}$$

#### *1.1.7.2. Energia Incidente Normalizada*

O segundo passo é determinar a energia normalizada do arco para distância de 610 mm e duração do arco de 0,2 segundos (200 ms), cujo estudo chegou na equação {4}.

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

e

$$E_n = 10^{\text{Log } E_n}$$

Onde:

$E_n$  = energia incidente (J/cm<sup>2</sup>) 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

$G$  = a distância dos condutores em mm (barramento) – ver tabela (1.1)

Tabela 1.1 – Distância dos condutores em mm (barramento).

Tensão do sistema (kV)	Tipo de equipamento	Distância típica dos condutores / barramentos (mm)	Expoente de distância x
0,208 - 1	Painel de distribuição	32	1,473
	CCM	25	1,641
>1-5	Painéis	13-102	0,973
>5 - 15	Painéis	153	0,973

### 1.1.7.3. Energia Incidente

E finalmente introduziram-se as variáveis tempo e distância e os respectivos coeficientes de ajuste sobre a energia normalizada, obtendo-se a equação {5} para determinar a energia liberada pelo arco em função da energia normalizada.

$$E_{\text{Jou}} = 4,184 \times C_f \times E_n \times (t/0,2) \times (610/D)^x$$

Onde

$E$  = É a energia incidente (J/cm<sup>2</sup>)

$C_f$  = É o fator de cálculo:

1,5 para tensão igual ou menor do que 1 kV

1,0 para tensão acima de 1 kV

$E_n$  = É a energia incidente normalizada

$t$  = Tempo do arco (segundos)

$D$  = Distância do ponto do arco (mm)

$x$  = É o expoente de distância (ver tabela 1)

O fator de cálculo foi determinado por regressão linear dos resultados dos ensaios para ajustar a equação e atingir 95 % de nível de confiança no resultado do cálculo com base nos dados experimentais.

O expoente de distância foi determinado por regressão, pois os ensaios mostraram que em locais abertos a energia diminui inversamente proporcional ao quadrado da distância, mas no caso de arcos em compartimentos, o expoente variava em função da configuração do equipamento e da tensão.

Na situação de linhas aéreas e cabos sobre bandejas ou em locais fora dos painéis, o expoente de distância continua sendo igual a 2.

Nota:

1- O expoente para painel de distribuição de 208 volts a 1.000 Volts foi obtido pela regressão dos valores experimentais obtidos com arco em caixas de 508x508x508 mm

2- O expoente para CCM de 208 volts a 1.000 Volts foi obtido pela regressão dos valores experimentais obtidos com arco em caixa de 305 x 356 x 191 mm

3- O expoente para painéis para tensão do sistema entre 1.000 e 5.000 volts, como para tensão do sistema entre 5.000 volts e 15.000 volts foi obtido pela regressão dos valores experimentais obtidos com ensaios na tensão de 2.400 volts e caixa de 1.143 x 762 x 762 mm.

#### *1.1.7.4. Ajuste da corrente de arco para definição da energia do arco.*

Como a energia é proporcional à intensidade da corrente e do tempo de extinção do arco e o tempo de extinção depende da magnitude da corrente para acionar o dispositivo de proteção, verificou-se que, para uma pequena variação na corrente o tempo de interrupção poderia sofrer uma grande variação e conseqüentemente a energia do arco também sofreria uma grande variação. Os ensaios demonstraram que esta variação pode ser significativa dentro da faixa de 100% a 85 % da corrente do arco calculado. Portanto, se utilizarmos uma segunda corrente igual a 85% da corrente de arco calculada e determinarmos o respectivo tempo de

interrupção e calcularmos a segunda energia, podemos obter um segundo valor, comparar os dois resultados e escolher o de maior valor para ser mais conservador e a favor da segurança.

## CAPÍTULO II – MATERIAIS E MÉTODOS

O cálculo da energia incidente é baseado nos artigos da área e foi executado sob orientação do engenheiro eletricitista Varela da empresa Engepower, também prestadora de serviços a Dow química. O cálculo será realizado para as instalações elétricas da Planta A, unidade produtora de PO / PG, que tem como coordenador de elétrica Jorge Lúcio Albino, que também forneceu importantes informações e suporte para realização das tarefas.

Será utilizado como material uma pasta do Excel ®, que auxiliará nos cálculos de corrente de curto, corrente de arco e energia incidente, em todas as etapas. Todos os dados foram coletados em inspeções realizadas na planta de PO / PG, nas instalações elétricas, em arquivos técnicos no setor de engenharia da Dow, na rede eletrônica de arquivos técnicos da Dow, incluindo o próprio software de gerenciamento de manutenção da empresa, que continha informações sobre equipamentos e serviços de manutenção nos mesmos.

Após a realização dos cálculos será determinada a roupa de proteção contra arco elétrico (ATPV) adequada que o trabalhador responsável pela manutenção deve utilizar em virtude de execução de manobra ou manutenção em cada um dos vários equipamentos, painéis, e CCM's da Planta A. Essa determinação segue padrões internacionais estabelecidos para a Dow química como um todo e será encaminhada para os setores responsáveis pela aprovação e aplicação dos dados levantados.

Encerrando será feita a identificação dos painéis em CCM's, segundo as normas de sinalização, para informar ao profissional habilitado o nível de energia incidente e a roupa de proteção necessária para se manobrar ou dar manutenção naquele equipamento, a fim de evitar acidentes elétricos.

## CAPÍTULO III – RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 3.1. Energia Incidente

Em virtude do cumprimento de metas dos líderes de elétrica de plantas da Dow foi solicitado o serviço de cálculo de energia incidente em painéis elétricos da planta A, para determinação da roupa de proteção para serviços elétricos (ATPV) mais adequada para cada local tendo em vista a segurança dos próprios executantes de manutenção elétrica da Tenace.

Primeiramente foram levantados os desenhos elétricos da planta A. Também foram levantados os dados dos transformadores, disjuntores, fusíveis, relés, maiores motores, CCM's e outros equipamentos envolvidos na rede elétrica dessa planta.

A partir daí foram determinados os valores de corrente de curto-circuito em barramentos do sistema elétrico da planta. Com esses valores de corrente foi determinado a corrente de arco para cada equipamento e com essa determinou-se a energia incidente em cada ponto do sistema elétrico da planta, levando em consideração a contribuição do alimentador (Chesf) até a contribuição dos motores e tempo de atuação da proteção (disjuntores, fusíveis e relés de proteção). Com posse desses valores foi realizado a determinação da roupa de proteção seguindo os critérios de segurança da Dow química. Finalmente esses valores foram apresentados para aprovação do corpo de engenheiros da Dow química, e provisoriamente foram fabricadas identificações e coladas em todos os painéis da planta informando o nível de energia incidente e a roupa de proteção necessária.

Vamos detalhar todos os passos a seguir.

#### 3.1.1. Corrente de Curto-circuito

Foi feito o levantamento de dados, tanto de desenhos da rede Dow, como em inspeções em equipamentos da planta. Esses valores de potência, impedância foram compilados em um diagrama unifilar. (Figura 3.1).

Para que pudéssemos utilizar os dados com maior rapidez foi atribuída uma numeração a cada barra componente do sistema (Ex.: #01, #02) para poder identificá-la,



também foi observado o nível de tensão em cada uma dessas barras. É visível que algumas dessas barras representam barramentos, de painéis, outras terminais de equipamentos como motores e transformadores e até para cada fusível definimos uma barra antes e após o fusível para que pudéssemos comparar os dados experimentais e determinar a eficácia do dispositivo de proteção.

Os alimentadores foram identificados com uma numeração distinta contendo a letra F e o número correspondente (Ex. *F01*, *F02*) para facilitar a identificação de cada alimentador.

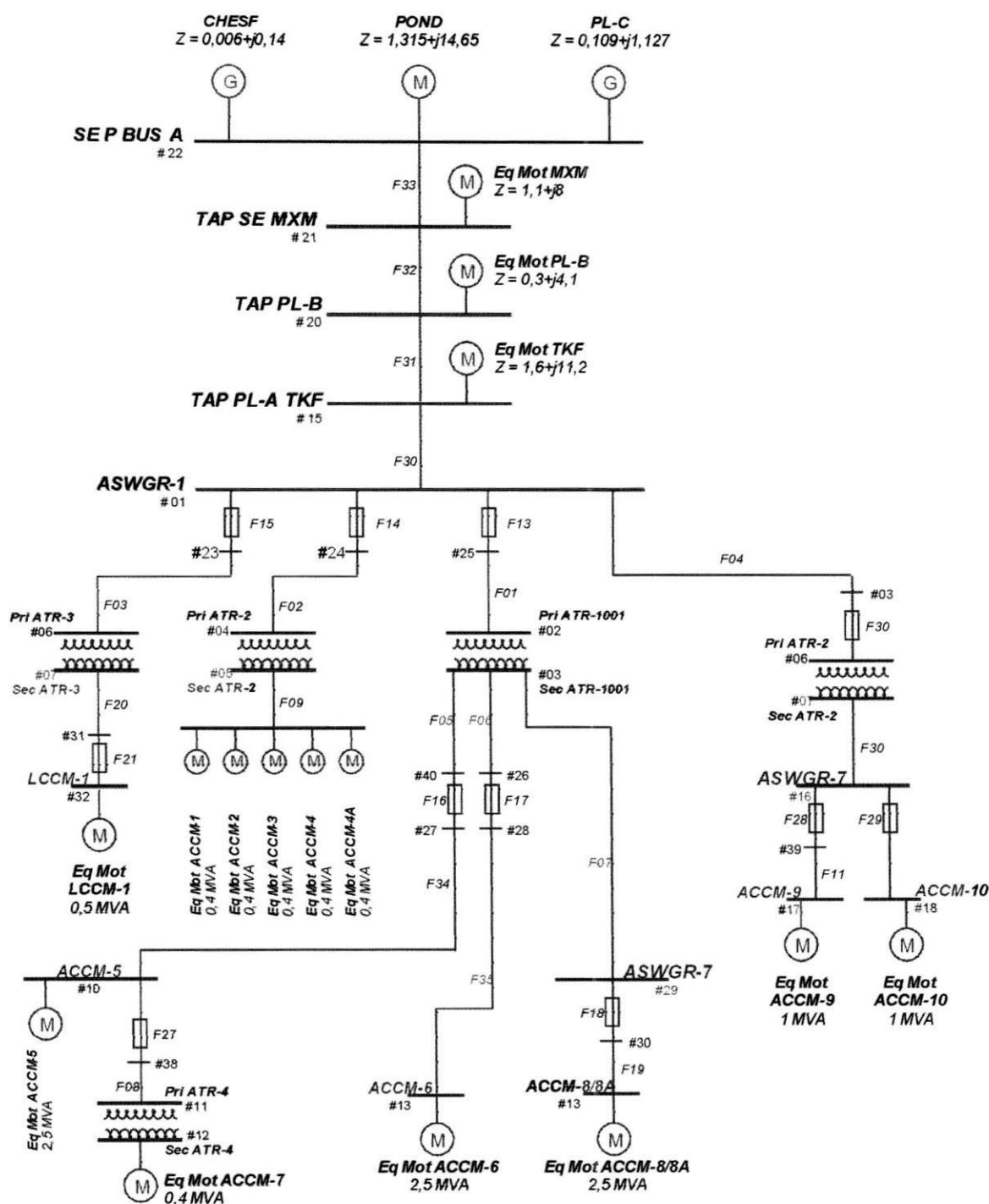


Figura 3.1 – Diagrama unifilar representando a carga instalada na planta em estudo.

Os dados de cada barramento foram inseridos na pasta de trabalho do Excel<sup>®</sup> para cálculo de curto-circuito e energia incidente, na planilha *Lts\_Bus* que é a guia de lista de barramento, suportando até 40 barramentos. Escolhemos uma potência base de 100 MVA e consideramos a contribuição do sistema Chesf e dos motores de todo o site. (Figura 3.2)

As células da planilha em amarelo são os campos de entrada e as em branco são informações e cálculos internos da planilha. Toda a planilha foi desenvolvida à luz da literatura tradicional para cálculo de corrente de curto-circuito trifásica e energia incidente.

Para cada barra entramos com os valores de tensão de linha de cada barra  $V_{bs}$ , Identificação e número da barra. A planilha já demonstra o cálculo da corrente de curto-circuito em cada barra  $I_{cc}$  e a Impedância equivalente  $Z_{eq}$ , mas para tal ela usa inúmeros outros dados e cálculos que serão detalhados a seguir.

DOW BRASIL S.A. - SITE DE ARATU - Planta A	
Conf. Manobra: TR-1 e TR-2 Operando em Separado	
Curto-circuito e da Energia Incidente	(Sistema + Motores)

**BARRAMENTOS = 40 - (Max. = 40)**

Potência Base ( $S_b$ )      100 MVA

Item	Bus de Conexão				Zeq @ Vbs, Sb	
	#	Identificação	Vbs	Icc	(R+jX)	
			[kV]	[A]	[pu]	
B1	1	ASWGR-1	14,40	26.209	0,0301	0,1500
B2	2	Pri ATR-1001	14,40	26.054	0,0311	0,1507
B3	3	Sec ATR-1001	2,40	45.530	0,0555	0,5254

Figura 3.2 – Planilha *Lst\_Bus* que identifica os barramentos do sistema elétrico.

Depois disso é necessário alimentar os valores das cargas e do alimentador principal. Isso é feito na planilha *Fontes*, onde são colocados os dados principais, como a planta onde está instalado o equipamento, nome do equipamento, tipo que pode ser sistema (Sist), no caso do alimentador da Chesf, ou motor (Mot) no caso de ser uma carga de instalação industrial. Inserimos o número do barramento ao qual o motor ou sistema está interligado (Ex.: o sistema da Chesf está ligado no barramento #22 que é o *SE P BUS A*). E também inserimos a tensão nominal do equipamento ou sistema em kV (Figura 3.3 A).

Resta inserirmos a potência de base em cada equipamento, tipo da potência equivalente utilizada, e a potência equivalente  $S_{eq}$ , ou impedância equivalente  $Z_{eq}$ , todos em pu. Alguns valores de potência equivalente estavam disponíveis no sistema de documentação da Dow outros foram estimados em virtude da natureza da carga instalada e da potência total de cada equipamento. (Figura 3.3 B) Todos os dados podem ser considerados confiáveis já que foram adotadas margens de segurança para garantir a validade dos cálculos.

Por fim a planilha calcula a admitância equivalente e impedância equivalente para cada componente a fim de determinar a matriz admitância usada no cálculo da corrente de curto-circuito trifásico. (Figura 3.3 C).

**DOW BRASIL S.A. - SITE DE ARATU - Planta A**  
**Conf. Manobra: TR-1 e TR-2 Operando em Separado**  
**Curto-circuito e da Energia Incidente (Sistema + Motores)**

**FONTES E MOTORES EQUIVALENTES = 18 - (Max. = 40)**

**Potênc**

Item	Planta	Identificação da Fonte	Tipo		Bus de Conexão			
			Sist	Ref	#	Identificação	Vf	Vbs
			Mot				[kV]	[kV]
S1	Planta A	Eq ACCM-5	Mot	0	10	ACCM-5	2,30	2,40
S2	Planta A	Eq ACCM-6	Mot	0	13	ACCM-6	2,30	2,40
S3	Planta A	Eq ACCM-8 / 8A	Mot	0	14	ACCM-8 / 8A	2,30	2,40

(A)

**Capacidade Base (Sb) = 100 MVA**

Sf ou SbZ	Tipo do Equival.	S eq CC (Seq)		Z eq CC (Zeq)		Contrib. ao Curto-circuito		
		Scc/Sf	X/R	Zf @ Vf, SbZ		Valor Máximo no Terminal		
		S equiv		(R+jX)		[MVA]	(r,θ)	
[kVA]	Z equiv	[pu]	[pu]	[pu]				[kA] / [grau]
2.500	S equiv	5,00	18,00			13,61	3,27	-86,82
2.500	S equiv	5,00	18,00			13,61	3,27	-86,82
2.500	S equiv	5,00	8,00			13,61	3,27	-82,87

(B)

Item	Bus Referênc	Bus Conexão	Admitância		Impedância	
			Yf @ Vbs, Sbs		Zf @ Vb, Sb	
			(G+jB)		(R+JX)	
			[pu]		[pu]	
S1	0	10	0,0075	-0,1359	0,4076	7,3359
S2	0	13	0,0075	-0,1359	0,4076	7,3359
S3	0	14	0,0169	-0,1351	0,9113	7,2905

(C)

Figura 3.3 – Planilha *Fontes* para cálculo de contribuição de motores e sistema.

Os dados dos alimentadores foram inseridos na planilha *Alim* e além da identificação da planta e identificação do alimentador foi inserido o número dos barramentos de saída e chegada de cada alimentador, e a tensão do alimentador Val. (Figura 3.4 A)



No caso dos alimentadores existe a possibilidade de se informar a impedância equivalente (*Zequiv*) ou os parâmetros físicos dos cabos que compunham cada alimentador (*Par Fis*). No nosso estudo não foi necessário já que os alimentadores eram identificados através de desenhos da própria Dow. Para efeitos de cálculo consideramos os fusíveis e disjuntores como alimentadores de impedância desprezível ( $Z_{eq} = 0,0001 + j0,0001$ ), o que não introduz erros no nosso cálculo (Figura 3.4 B).

Por fim a planilha nos retorna os valores de admitância e impedância de cada alimentador para fins de cálculos da corrente de curto (Figura 3.4 C).

### DOW BRASIL S.A. - SITE DE ARATU - Planta A

#### Conf. Manobra: TR-1 e TR-2 Operando em Separado

Curto-circuito e da Energia Incidente

(Sistema + Motores)

ALIMENTADORES = 35 - (Max = 100)

Potência Base (Sb)

100

Item	Planta	Identificação	Bus de Saída		Bus de Chegada		Val	Vbs
			#	Identificação	#	Identificação		
							[kV]	[kV]
F1	Planta A	AI 14,4 ATR-1001	25	Fus ATR-1001	2	Pri ATR-1001	14,40	14,40
F2	Planta A	AI 14,4 ATR-01	24	Fus ATR-02	4	Pri ATR-02	14,40	14,40
F3	Planta A	AI 14,4 ATR-02	23	Fus ATR-03	6	Pri ATR-03	14,40	14,40

(A)

#### MVA

Sbs ou SbZ	Dados do Equiv	Z eq CC (Z equiv)		Dados dos Parâmetros Físicos (Par Fis)			
		Zal @ Vm, SbZ		Seção	Cond. p/ Fase	Exten.	Z unitária Alim
		(R+jX)					R+jX
[kVA]	Par Fis	[pu]		[mm <sup>2</sup> ]		[m]	[Ω / km]
100.000	Z equiv	0,0010	0,0007				
100.000	Z equiv	0,0066	0,0043				
100.000	Z equiv	0,1586	0,0579				

(B)

Item	Bus Saída	Bus Chegada	Admitância		Impedância	
			Yal @ Vb, Sb		Zal @ Vb, Sb	
			(G+jB)		(R+jX)	
			[pu]		[pu]	
F1	25	2	671,1409	-469,7987	0,0010	0,0007
F2	24	4	106,3658	-69,2990	0,0066	0,0043
F3	23	6	5,5637	-2,0311	0,1586	0,0579

(C)

Figura 3.4 – Planilha *Alim* que parametriza os cabos e linhas de transmissão do sistema.

Os transformadores foram alimentados na planilha *Transf*. Consideramos o primário e secundário do transformador como sendo um barramento, então inserimos o número desse barramento e os valores de tensão no lado de baixa e no lado de alta, respectivamente (Figura 3.5 A).

Os valores de potência nominal e impedância foram coletados nos dados de placa de cada transformador. A planilha fornece os valores de contribuição máxima ao curto para cada transformador, a admitância e impedância de cada transformador (Figura 3.5 B).

**DOW BRASIL S.A. - SITE DE ARATU - Planta A**  
**Conf. Manobra: TR-1 e TR-2 Operando em Separado**  
**Curto-circuito e da Energia Incidente (Sistema + Motores)**

**TRANSFORMADORES = 5 - (Max. = 15) Potência Base (Sb) 100 MVA**

Item	Planta	Identificação	Bus do Primário				Bus do Secundário			
			#	Identificação	VnP [kV]	VbP [kV]	#	Identificação	VnS [kV]	VbS [kV]
T1	Planta A	ATR-1001	2	Pri ATR-1001	14,40	14,40	3	Sec ATR-1001	2,40	2,40
T2	Planta A	ATR-02	4	Pri ATR-02	14,40	14,40	5	Sec ATR-02	0,48	0,48
T3	Planta A	ATR-03	6	Pri ATR-03	14,40	14,40	7	Sec ATR-03	0,48	0,48
T4	Planta A	ATR-04	11	Pri ATR-04	2,40	2,40	12	Sec ATR-04	0,48	0,48
T5	Planta A	ATR-05	8	Pri ATR-05	14,40	14,40	9	Sec ATR-05	0,48	0,48

(A)

Sn	Z <sub>tf</sub> @ V <sub>n</sub> , S <sub>n</sub>	X/R	Contrib. Máxima ao Curto			Item	Bus Saída	Bus Chegada	Admitância		Impedância	
			[MVA]	(r, θ)	[kA] / [grau]				Y <sub>tf</sub> @ V <sub>b</sub> , S <sub>b</sub>	Z <sub>tf</sub> @ V <sub>b</sub> , S <sub>b</sub>		
[kVA]	[%]	[pu]						(G+JB)	(R+JX)			
								[pu]	[pu]			
7.500	5,23	14,00	143,40	34,50	-85,91	T1	2	3	0,1022	-1,4304	0,0497	0,6956
2.000	6,00	8,00	33,33	40,09	-82,87	T2	4	5	0,0413	-0,3308	0,3721	2,9768
750	6,16	5,00	12,18	14,64	-78,69	T3	6	7	0,0239	-0,1194	1,6108	8,0538
500	4,25	4,00	11,76	14,15	-75,96	T4	11	12	0,0285	-0,1141	2,0616	8,2462
2.000	6,00	8,00	33,33	40,09	-82,87	T5	8	9	0,0413	-0,3308	0,3721	2,9768

(B)

Figura 3.5 – Planilha *Transf* que agrega as informações sobre transformadores.

Tendo alimentado todos os dados partimos para o cálculo da corrente de curto-circuito. A planilha responsável por esse cálculo é a *Calc\_Icc*. Essa planilha nos fornece o cálculo da corrente de curto-circuito trifásica  $I_{cc}$  em [A] nos alimentadores entre o barramento de saída e de entrada, quando há um curto-circuito em cada barramento do sistema. Ou seja, é fornecida uma matriz onde no topo de cada coluna está o barramento que



está sofrendo o curto e fornece o fluxo das contribuições à corrente de curto para cada alimentador do sistema (Figura 3.6). Assim, se ocorrer um curto-circuito em um motor, podemos saber a corrente que percorrerá nos fusíveis do próprio motor em curto e nos fusíveis de outros equipamentos localizados acima do motor em curto.

**DOW BRASIL S.A. - SITE DE ARATU - Planta A**  
**Conf. Manobra: TR-1 e TR-2 Operando em Separado**  
 Curto-circuito e da Energia Incidente (Sistema + Motores)

\* Quantidade Total de Elementos: 58  
 \* Barramentos: 40  
 \* Fontes e Motores Equivalentes: 18  
 \* Alimentadores: 35  
 \* Transformadores: 5

Matriz Fluxo de Icc no Ramos

Matriz Y-BUS:

Matriz G-BUS:

Matriz jB-BUS:

Matriz Z-BUS:

Matriz V-BUS:

Células de Icc1:

<b>N15:BA54</b>	<b>N15:BA54</b>
<b>N178:BA217</b>	<b>N178:BA217</b>
<b>BE178:CR217</b>	<b>BE178:CR217</b>
<b>CS178:EF217</b>	<b>CS178:EF217</b>
<b>N223:BA262</b>	<b>N223:BA262</b>
<b>N269:BA308</b>	<b>N269:BA308</b>
<b>N316:BA355</b>	<b>N316:BA355</b>

Potência Base (Sb) 100 MVA

Item	Bus Saída	Bus Chegada	Admittância				
			Val @ Vb, Sb				
			(G-jB)				
			[pu]				
			Bus de Saída		Bus de Chegada		
1	2	3	4	5	6	7	
15	8	9	0,0413	-0,3308	Pr ATR-05	Sec ATR-05	1
14	11	12	0,0285	-0,1147	Pr ATR-04	Sec ATR-04	2
13	5	7	0,0249	-0,1194	Pr ATR-03	Sec ATR-03	3

Fluxo de Icc em [A] nos ALIMENTADORES entre BS e BC, quando de curto-circuito no BI

Fluxo de Icc nos Ramos	1	2	3	4
	1	2	3	4
Referência: M14	ASWGR-1	Pr ATR-1001	Sec ATR-1001	Pr ATR-02
Vb	14,4	14,4	2,4	14,4
Icc	28.208	28.054	45.532	25.285
0,48	8,677	8,480	27,781	8,367
0,48	1,775	1,773	2,320	1,712
0,48	2,870	2,853	6,32	2,766

Figura 3.6 – Planilha *Calc\_Icc* para o cálculo das contribuições a corrente de curto de cada ramo do sistema.

Com esses valores de corrente de curto será possível calcular a corrente de arco para cada barramento que se deseja calcular.

### 3.1.2. Corrente de Arco e Energia Incidente

A corrente de arco, como visto, para tensão de linha maior que 208 V e menor que 1000 V será dada pela fórmula:

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

e

$$I_a = 10^{\text{Log } I_a}$$

E para tensão de linha maior que 1000 V e menor que 15000 V, pela fórmula:

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

e

$$I_a = 10^{\text{Log } I_a}$$

Para o cálculo da corrente de arco e energia incidente analisaremos o caso da barra ASWGR-1 (#1) com tensão de trabalho de 14,4kV, que representa o switchgear principal da planta A.

Um switchgear é um conjunto de painéis contendo chaves elétricas, fusíveis e/ou disjuntores utilizados para isolar equipamentos elétricos. São utilizados também para desenergizar o equipamento para permitir o trabalho seguro e eliminar falhas a jusante (Figura 3.7).

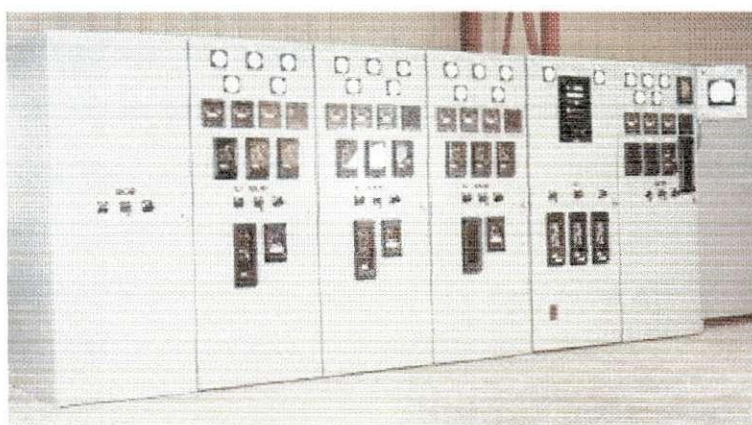


Figura 3.7 – Representação de um switchgear de média tensão.

A planilha responsável pelo cálculo da corrente de arco e da energia incidente é a *Ener\_Inc*. Inicialmente inserimos o número da barra aonde se deseja calcular o valor de energia incidente, no nosso caso será o número 1. A tabela retorna além da identificação da barra, e tensão de base, a corrente de curto, onde no ASWGR-1 temos uma corrente de curto-circuito sólido trifásico simétrico de 26,21 kA (rms). O fator real deve ser de 100% e de 85% conforme norma.

Devemos escolher o tipo de aterramento utilizado: equipamento isolado, aterramento através de resistor ou diretamente aterrado. Esse tipo de aterramento é o responsável pela determinação da constante  $K_2$ . Optamos pelo diretamente aterrado apesar de toda instalação das grandes indústrias ser feita através de resistor de aterramento (geralmente de 55 Ohms). Isso nos dá uma garantia de que em caso de curto a energia incidente sempre será menor ou igual do que a calculada, já que o resistor de aterramento serve para diminuir a corrente de curto quando se envolve a terra.



Temos que determinar também a configuração do equipamento se é aberto ou fechado. No nosso caso quase todos os equipamentos serão fechados, por se tratarem de painéis, switchgears, etc. Esse valor determina a constante K.

Por último deve-se informar o tipo de equipamento: Espaço aberto, Switchgear, Painel / CCM ou Cabo elétrico. Que no caso em demonstração é um Switchgear. Esse tipo de equipamento define o afastamento típico entre as barras, ou seja, o afastamento G. (Figura 3.8)

DOW BRASIL S.A - SITE DE ARATU - Planta A  
Conf. Manobra: TR-1 e TR-2 Operando em Separado  
Curto-circuito e da Energia Incidente (Sistema + Motores)

CÁLCULO DA ENERGIA INCIDENTE COM CURTO-CIRCUITO NO PONTO								F1 Sep	
Item	#	Identificação	Barramento / Sistema					Equipament	
			Vb	I cc	Fator Red	Tipo de	Config.	Tipo	
			[kV]	[kA]	I arc - FRIA [%]	Aterram			
1	1	ASWGR-1	14,40	26,21	100	Dtr. Atterr	Fechado	SWGR	
					85				

Figura 3.8 – Planilha *Ener\_Inc* responsável pelo cálculo da energia incidente

Para que o cálculo da energia incidente seja mais completo a corrente de arco será considerada como uma soma de contribuição das várias correntes que circulam nos ramos adjacentes a barra onde ocorreu o arco. Isso porque se sabe que a corrente de curto é uma soma das contribuições das fontes de energia (no caso o sistema Chesf) e também dos motores (ou carga indutiva) da instalação.

Para tal usam-se as informações de corrente nos ramos onde há dispositivos de proteção, alimentador, ou cargas. No caso do *ASWGR-1* temos um alimentador representado pelo *TAP PL-A TKF* e quatro dispositivos de proteção ligados à barra que são os fusíveis de alta tensão *F15*, *F14*, *F13* e *F30*. (Figura 3.9)

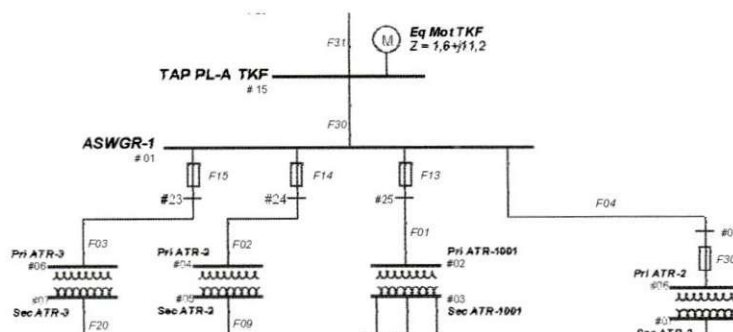


Figura 3.9 – Diagrama unifilar dos ramos adjacentes à barra ASWGR-1.

Inserir-se o número de cada barra adjacente (Ex.: #19 para o *Tap Planta A / TKF*) bem como o barramento de saída e entrada (Ex.: #19 e #01, respectivamente), e daí se insere o valor da corrente de curto que passa entre esses respectivos barramentos que nada mais é do que a corrente que percorre os diversos dispositivos de proteção adjacentes ao curto ou a contribuição dos alimentadores. Esse valor de corrente de curto é facilmente visualizado na planilha *Icc\_Alim* que nada mais é do que uma melhor disposição dos cálculos de corrente de curto executados na planilha *Calc\_Icc*. Esse valor de corrente de curto no dispositivo de proteção não considera o valor da resistência do arco, ou seja, será um pouco maior dando aos nossos cálculos maior margem de segurança. (Figura 3.10)

**Fluxos de Corrente pelos Ramos dos Dispositivos de Proteção**

Item	Bus Adjacente ao Defeito				Ramo do Dispositivo de Proteção				Fluxo I cc [kA]	
	#	Identificação	Vb [kV]	I cc pf Arc FI [kA]	Bus Saida		Bus Chegada			Identificação do Disp. de Proteção
					#	Vb [kV]	#	Vb [kV]		
1	19	Tap Planta A / TKF	14,40	24,121	19	14,40	1	14,40	Eq Mot TAP PLA	24,121
2	23	Fus ATR-03	14,40	0,098	23	14,40	1	14,40	Eq Mot ATR-03	0,098
3	24	Fus ATR-02	14,40	0,341	24	14,40	1	14,40	Eq Mot ATR-02	0,341
4	25	Fus ATR-1001	14,40	1,374	25	14,40	1	14,40	Eq Mot ATR-1001	1,374
5	8	Pn ATR-05	14,40	0,289	8	14,40	1	14,40	Eq Mot ATR-05	0,289
6										
7										
8										
9										
10										

Figura 3.10 – Planilha *Ener\_Inc* considerando a contribuição dos ramos adjacentes.

As características do dispositivo de proteção são necessárias para determinar o tempo de duração da corrente em cada ramo que contribui para a corrente de arco (Figura 3.11). Sempre que ocorre um arco em instalações com motores indutivos temos uma contribuição do motor que se comportará como gerador por alguns instantes. Geralmente a contribuição dos motores para o curto dura um tempo equivalente a seis ciclos, ou seja, em 60 Hertz temos 60 ciclos por segundo, daí seis ciclos serão 0,1 segundo. (Figura 3.12)

**Características do Dispositivo de Proteção**

Fabric	Modelo	Tipo	I nom [A]	I @ 0,010 s [kA]	Correntes de Pickup			Fluxo 100 % I arc DP			Fluxo 85 % I arc DP		
					Unid L [kA]	Unid S [kA]	Unid I [kA]	I arc [kA]	top pf I arc [s]	t total [s]	I arc [kA]	top pf I arc [s]	t total [s]
					[kA]	[kA]	[kA]	[kA]	[s]	[s]	[kA]	[s]	[s]
		Motor Equiv						23,03	0,100	0,100	49,58	0,100	0,100
		Motor Equiv						0,08	0,100	0,100	0,08	0,100	0,100
		Motor Equiv						0,33	0,497	0,100	0,28	0,497	0,100
		Motor Equiv						1,31	0,497	0,100	1,11	0,497	0,100
		Motor Equiv						0,28	0,100	0,100	0,23	0,100	0,100
								0,00		0,000	0,00		0,000
								0,00		0,000	0,00		0,000
								0,00		0,000	0,00		0,000
								0,00		0,000	0,00		0,000
								0,00		0,000	0,00		0,000

Figura 3.11 – Característica dos dispositivos de proteção e tempo de contribuição dos motores à falta.

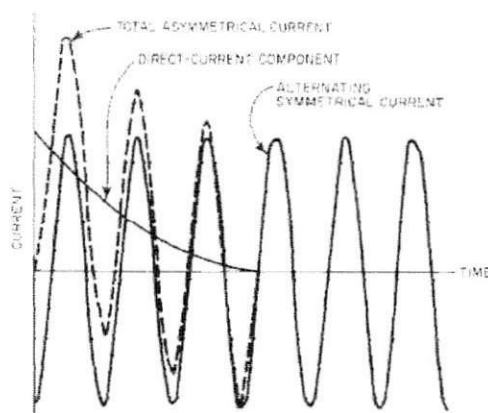


Figura 3.12 – Curva típica de contribuição de motores à falta.

Então a planilha nos fornecerá os valores de energia incidente para 100% e 85% do valor da corrente de curto (Figura 3.13).

Energia Incidente no Ponto de Trabalho E		Fronteira de Prot. do Arco [m]	Coeficientes de Cálculo						
[J/cm <sup>2</sup> ]	[cal/cm <sup>2</sup> ]		Fator K	Fator K1	Fator K2	Afast. G	Dist Arco D	CF	Exp x
						[mm]	[mm]		
14,5	3,5		0,000	-0,566	-0,113	152	910	1,0	0,973
12,2	2,9								

Figura 3.13 – Energia incidente para 100% e 85% de  $I_{cc}$ .

Como no caso o maior valor de energia incidente é para 100% de  $I_{cc}$  escolhemos esse valor como o valor de energia incidente para o ASWGR-1.

O valor de 3,5 cal/cm<sup>2</sup> pode parecer pequeno em se tratando de um switchgear de 14,4 kV, mas é um valor aceitável já que acima de 1,2 cal/cm<sup>2</sup> se torna obrigatório o uso de roupa contra arco elétrico.

### 3.1.3. EPI necessário

As empresas Dow seguem rigorosas normas de segurança que reúnem as mais restritivas normas de segurança internacionais ou nacionais e ainda garantido uma margem de segurança.

Para trabalhos elétricos energizados e manobras é obrigatório o uso de roupa contra arco elétrico, não importando se o nível de energia incidente é mínimo.



Mesmo assim existe uma norma interna que especifica os nível de energia incidente e a proteção correspondente obrigatória.

Energia Incidente (cal/cm <sup>2</sup> )	EPI necessário
0 – 1,2	Roupa Resistente a Chama não requerida
1,2 – 8	Roupa Resistente a Chama
8 – 25	Roupa contra arco dimensionada para 25 cal/cm <sup>2</sup> ou acima
25 – 50	Roupa contra arco dimensionada para 50 cal/cm <sup>2</sup> ou acima
Acima de 50	Contate o seu Especialista em Atividades da Disciplina Elétrica.

No caso do ASWGR-1 temos a obrigação de usar roupa resistente à chama (8 cal/cm<sup>2</sup> ou mais). A roupa resistente à chama é composta por macacão de tecido resistente a chama, luvas de borracha isolante elétrica, luva de couro resistente a chama, capuz com capacete e visor resistente a chama. (Figura 3.14)



Figura 3.14 – Componentes do EPI para trabalhos elétricos energizados e manobras.

Porém em todo CCM nas empresas Dow é disponibilizada uma roupa para 50 cal/cm<sup>2</sup> que deve sempre ser usada em manobras ou manutenção energizada.

Vale salientar que o funcionário que executar tarefas sem a utilização correta do EPI a ele fornecido pode ser demitido por justa causa, segundo as leis trabalhistas brasileiras. O foco principal da segurança do trabalho é a vida (ou qualidade de vida) do funcionário e o uso da roupa contra arco elétrico pode ser o que determina, quando da ocorrência de arco elétrico, o funcionário retornar para casa depois de um dia de trabalho ou passar meses se tratando de queimaduras em um hospital ou até perder a própria vida.

## CAPÍTULO IV – CONCLUSÃO

Na adequação as normas regulamentadoras, em especial à NR-10 – Segurança em serviços elétricos, tornou-se necessária a determinação da energia incidente, sobre o trabalhador, em ocasião de arco elétrico gerado por curto-circuito em painéis elétricos, principalmente. Através desses cálculos pode-se garantir a segurança do trabalhador que executa a manutenção elétrica bem como na execução de uma simples manobra, determinando a roupa de proteção a arco elétrico que ele deve utilizar em caso de manobra ou manutenção.

Por se tratar de uma área nova, muitas empresas têm negligenciado essa proteção, colocando sobre o executante das tarefas de manutenção e manobras a responsabilidade por sua própria segurança. Já outras têm tomado ações super protecionistas e adquirido equipamentos de segurança com o mais alto nível de proteção, desperdiçando recursos que poderiam ser investidos em pesquisas e cálculos para determinação da proteção necessária em cada ambiente.

Também é necessária a aplicação uma visão protecionista no ponto de vista de segurança em serviços elétricos já que o que está em risco é a vida do funcionário que é insubstituível e pode gerar inúmeros processos judiciais ocasionando perdas não só financeiras, mais de popularidade da indústria.

Seria uma interessante contribuição se fosse possível estudar o arco elétrico e a energia incidente em laboratório apropriado, garantindo a segurança em primeiro lugar, para fins de comprovação da teoria apresentada.

Outra contribuição interessante seria o desenvolvimento de um programa para cálculo de corrente de curto-circuito trifásico, que pudesse ser utilizado pelos profissionais como mais uma ferramenta de trabalho para o cálculo da energia incidente.

**BIBLIOGRAFIA**

BODDINGTONS ELECTRICAL LTD. *Arc Flash Protective Wear and Equipment*. Essex: 2007. Disponível em: <[http://www.boddingtons-electrical.com/arc\\_protective\\_equipment/arc\\_protective\\_wear.html](http://www.boddingtons-electrical.com/arc_protective_equipment/arc_protective_wear.html)>. Acesso em: 22 ago 2008.

LEITE, Fábio Correa; TOMIYOSHI, Luiz K. *Abordagem 6 Sigma para redução de arcos elétricos*. III ESW Brasil 2007 – Seminário Internacional de Engenharia Elétrica na Segurança do Trabalho. IEEE The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc. - Industry Applications Society - South Brazil & Rio de Janeiro Sections. Arquivo em pdf: Arc-Flash-6sigma-Fabio-Leite.pdf. 2007.

NORTH AMERICAN SERVO LTD. *Arc Flash Safety Awareness Training*. 2008. Disponível em: <<http://www.northamericanservo.com/training.html>>. Acesso em: 16 ago 2008.

PFEIFFER, John C. *Arc Flash: Do You Understand The Dangers?*. Pfeiffer Engineering Co., Inc., Louisville, Kentucky, 2006.

STEVENSON JR, William D. *Elementos de Análise de Sistemas de Potência*. 1ª reimpressão. 1. ed. McGraw Hill: São Paulo, 1975.

THE ELECTRICITY FORUM. *Arc Flash Clothing*. Pickering: 2008. Disponível em: <<http://www.electricityforum.com/arc-flash/arc-flash-clothing.html>>. Acesso em: 22 ago 2008.

TOMIYOSHI, Luiz K. *Proteção contra queimaduras por arcos elétricos: nova metodologia para cálculo de energia*. Junho de 2004

\_\_\_\_\_. *Proteção contra queimaduras por arcos elétricos: Estimativa de energia e escolha da roupa de proteção*. DuPont do Brasil S.A. disponível em: <<http://www.viaseg.com.br/artigos/nomex.htm>>. Acesso em 15 ago 2008.

TRAINING PRESS RELEASES. *New arc flash safety training from Coastal Training Technologies*. Coastal Training Technologies. Virginia Beach, VA. Fev 2007. Disponível em: <<http://www.trainingpressreleases.com/newsstory.asp?NewsID=2601>>. Acesso em: 14 ago 2008.

WHITE, Jim. *5 Minute Safety Topic: There's Nothing Common About Common Sense*. NEC Digest, Out 2006. Disponível em: <[http://www.c-ad.bnl.gov/esfd/monday/safety\\_10\\_19\\_06.htm](http://www.c-ad.bnl.gov/esfd/monday/safety_10_19_06.htm)>. Acesso em: 15 ago 2008.

## APÊNDICE

Lista de Barras do Sistema – Planilha: *Lst\_Bus*.

DOW BRASIL S.A. - SITE DE ARATU - Planta A	
Conf. Manobra: TR-1 e TR-2 Operando em Separado	
Curto-circuito e da Energia Incidente	(Sistema +

BARRAMENTOS = 40 - (Max. = 40)

Potência Base (Sb) 100 MVA

Item	Bus de Conexão				Zeq @ Vbs, Sb	
	#	Identificação	Vbs	Icc	(R+jX)	
			[kV]	[A]	[pu]	
B1	1	ASWGR-1	14,40	26.209	0,0301	0,1500
B2	2	Pri ATR-1001	14,40	26.054	0,0311	0,1507
B3	3	Sec ATR-1001	2,40	45.530	0,0555	0,5254
B4	4	Pri ATR-02	14,40	25.284	0,0366	0,1543
B5	5	Sec ATR-02	0,48	51.822	0,2975	2,3019
B6	6	Pri ATR-03	14,40	14.329	0,1871	0,2080
B7	7	Sec ATR-03	0,48	17.799	1,3727	6,6167
B8	8	Pri ATR-05	14,40	25.299	0,0366	0,1542
B9	9	Sec ATR-05	0,48	158.022	0,0917	0,7556
B10	10	ACCM-5	2,40	44.877	0,0595	0,5327
B11	11	Pri ATR-04	2,40	11.468	1,7223	1,1974
B12	12	Sec ATR-04	0,48	14.599	2,7605	7,7628
B13	13	ACCM-6	2,40	44.336	0,0623	0,5390
B14	14	ACCM-8 / 8A	2,40	44.341	0,0625	0,5389
B15	15	ASWGR-2	0,48	48.673	0,3162	2,4509
B16	16	ASWGR-7	0,48	224.461	0,0593	0,5326
B17	17	ACCM-9	0,48	224.374	0,0595	0,5328
B18	18	ACCM-10	0,48	224.419	0,0594	0,5327
B19	19	Tap Planta A / TKF	14,40	26.470	0,0292	0,1486
B20	20	Tap Planta B	14,40	27.941	0,0244	0,1414
B21	21	Tap Se MxM	14,40	28.804	0,0218	0,1375
B22	22	Se P Bus A 14,4 kV	14,40	34.704	0,0065	0,1153
B23	23	Fus ATR-03	14,40	26.189	0,0302	0,1501
B24	24	Fus ATR-02	14,40	26.189	0,0302	0,1501
B25	25	Fus ATR-1001	14,40	26.190	0,0302	0,1501
B26	26	ASWGR-3 (6)	2,40	44.352	0,0622	0,5388
B27	27	Fus ACCM-5	2,40	44.885	0,0594	0,5327
B28	28	Fus ACCM-6	2,40	44.344	0,0622	0,5389
B29	29	ASWGR-5	2,40	44.357	0,0623	0,5387
B30	30	Fus ACCM-8/8A	2,40	44.349	0,0624	0,5388
B31	31	LCCM-1	0,48	17.799	1,3728	6,6168
B32	32	Fus LCCM-1	0,48	17.799	1,3728	6,6169
B33	33	Fus ACCM-1	0,48	48.671	0,3163	2,4510
B34	34	Fus ACCM-2	0,48	48.671	0,3163	2,4510
B35	35	Fus ACCM-3	0,48	48.671	0,3163	2,4510
B36	36	Fus ACCM-4	0,48	48.671	0,3163	2,4510
B37	37	Fus ACCM-4A	0,48	48.671	0,3163	2,4510
B38	38	Fus ATR-4	2,40	44.868	0,0596	0,5328
B39	39	Fus ACCM-9	0,48	224.417	0,0594	0,5327
B40	40	ASWGR-3 (5)	2,40	44.892	0,0593	0,5326
40						

(Sistema + Motores)

(Sistema)

(Motores)



DOW BRASIL S.A. - SITE DE ARATU - Planta A  
 Conf. Manobra: TR-1 e TR-2 Operando em Separado  
 Curto-circuito e da Energia Incidente (Sistema + Motores)

FONTES E MOTORES EQUIVALENTES = 18 - (Max. = 40) Potência Base (Sb) = 100 MVA

Item	Planta	Identificação da Fonte	Tipo	Bus de Conexão			Sf ou Sbz	Tipo do Equival.	Seq CC (Seq)		Z eq CC (Zeq)		Contrib. ao Curto-circuito					
				Sist	Ref	#			Identificação	Vf [kV]	Vbs [kV]	Scc/Sf	X/R	Zf @ Vf, Sbz		Valor Máximo no Terminal		
														S equiv	Z equiv	(R+X) [pu]	[MVA]	(r,θ) [ka] / [grau]
S1	Planta A	Eq ACCM-5	Mot	0	10	ACCM-5	2,30	2,40	2.500	S equiv	5,00	18,00	13,61	3,27	-86,82			
S2	Planta A	Eq ACCM-6	Mot	0	13	ACCM-6	2,30	2,40	2.500	S equiv	5,00	18,00	13,61	3,27	-86,82			
S3	Planta A	Eq ACCM-8 / 8A	Mot	0	14	ACCM-8 / 8A	2,30	2,40	2.500	S equiv	5,00	8,00	13,61	3,27	-82,87			
S4	Planta A	Eq ACCM-7	Mot	0	12	Sec ATR-04	0,44	0,48	400	S equiv	5,00	7,00	2,38	2,86	-81,87			
S5	Planta A	Eq ACCM-1	Mot	0	33	Fus ACCM-1	0,44	0,48	400	S equiv	5,00	8,00	2,38	2,86	-82,87			
S6	Planta A	Eq ACCM-2	Mot	0	34	Fus ACCM-2	0,44	0,48	400	S equiv	5,00	8,00	2,38	2,86	-82,87			
S7	Planta A	Eq ACCM-3	Mot	0	35	Fus ACCM-3	0,44	0,48	400	S equiv	5,00	8,00	2,38	2,86	-82,87			
S8	Planta A	Eq ACCM-4	Mot	0	36	Fus ACCM-4	0,44	0,48	400	S equiv	5,00	8,00	2,38	2,86	-82,87			
S9	Planta A	Eq ACCM-4A	Mot	0	37	Fus ACCM-4A	0,44	0,48	400	S equiv	5,00	8,00	2,38	2,86	-82,87			
S10	Planta A	Eq Lime CCM-1	Mot	0	32	Fus LCCM-1	0,44	0,48	500	S equiv	5,00	6,00	2,98	3,58	-80,54			
S11	Planta A	Eq ACCM-9	Mot	0	17	ACCM-9	0,44	0,48	1.000	S equiv	5,00	8,00	5,95	7,16	-82,87			
S12	Planta A	Eq ACCM-10	Mot	0	18	ACCM-10	0,44	0,48	1.000	S equiv	5,00	8,00	5,95	7,16	-82,87			
S13	Se 230	Sistema CHESF	Sist	0	22	Se P Bus A 14,4 kV	14,40	14,40	100.000	Z equiv			0,0061	0,1477	676,47	27,12	-87,64	
S14	Se 230	Eq Mot PONDISA	Mot	0	22	Se P Bus A 14,4 kV	14,40	14,40	100.000	Z equiv			1,3165	14,6508	6,80	0,27	-84,87	
S15	Se 230	Eq Mot Planta C	Mot	0	22	Se P Bus A 14,4 kV	14,40	14,40	100.000	Z equiv			0,1088	1,1271	88,31	3,54	-84,49	
S16	Al Mot Power	Eq Mot Se MxM	Mot	0	21	Tap Se MxM	14,40	14,40	100.000	Z equiv			1,0991	7,9969	12,39	0,50	-82,17	
S17	Al Mot Power	Eq Mot Planta B	Mot	0	20	Tap Planta B	14,40	14,40	100.000	Z equiv			0,3596	4,0717	24,46	0,98	-84,95	
S18	Al Mot Power	Eq Mot Tank Farm	Mot	0	19	Tap Planta A / TKF	14,40	14,40	100.000	Z equiv			1,6031	11,1802	8,85	0,35	-81,84	

Item	Bus Referência	Bus Conexão	Admitância		Impedância	
			Yf @ Vbs, Sbs		Zf @ Vb, Sb	
			(G+jB)		(R+jX)	
			[pu]	[pu]	[pu]	[pu]
S1	0	10	0,0075	-0,1359	0,4076	7,3359
S2	0	13	0,0075	-0,1359	0,4076	7,3359
S3	0	14	0,0169	-0,1351	0,9113	7,2905
S4	0	12	0,0034	-0,0236	5,9417	41,5916
S5	0	33	0,0030	-0,0236	5,2112	41,6895
S6	0	34	0,0030	-0,0236	5,2112	41,6895
S7	0	35	0,0030	-0,0236	5,2112	41,6895
S8	0	36	0,0030	-0,0236	5,2112	41,6895
S9	0	37	0,0030	-0,0236	5,2112	41,6895
S10	0	32	0,0049	-0,0293	5,5256	33,1538
S11	0	17	0,0074	-0,0590	2,0845	16,6758
S12	0	18	0,0074	-0,0590	2,0845	16,6758
S13	0	22	0,2791	-6,7590	0,0061	0,1477
S14	0	22	0,0061	-0,0677	1,3165	14,6508
S15	0	22	0,0849	-0,8790	0,1088	1,1271
S16	0	21	0,0169	-0,1227	1,0991	7,9969
S17	0	20	0,0215	-0,2437	0,3596	4,0717
S18	0	19	0,0128	-0,0876	1,6031	11,1802



Lista de alimentadores do sistema. Planilha: *Alim.*

DOW BRASIL S.A. - SITE DE ARATU - Planta A  
 Conf. Manobra: TR-1 e TR-2 Operando em Separado  
 (Sistema + Motores)  
 Curto-circuito e da Energia Incidente

ALIMENTADORES = 35 - (Max = 100) Potência Base (Sb) 100 MVA

Item	Planta	Identificação	Bus de Saída		Bus de Chegada	Val	Vbs	Sbs ou Sbz [MVA]	Dados do Equip do Equip		Z eq CC (Z equiv)		Dados dos Parâmetros Físicos (Par Fis)		Impedância		
			#	Identificação					#	Identificação	[MVA]	[kV]	Z equiv	Par Fis		Z @ Vm, Sbz (R-X)	Exten.
F1	Planta A	Al 14.4 ATR-001	25	Fus ATR-001	2	14,40	14,40	100,000	Z equiv	0,0010	0,0007			671,1409	-493,7987	0,0010	0,0007
F2	Planta A	Al 14.4 ATR-01	24	Fus ATR-02	4	14,40	14,40	100,000	Z equiv	0,0066	0,0043			108,3658	-69,2990	0,0066	0,0043
F3	Planta A	Al 14.4 ATR-02	23	Fus ATR-03	6	14,40	14,40	100,000	Z equiv	0,1566	0,0576			5,5507	-2,0311	0,1566	0,0579
F4	Planta A	Al 14.4 ATR-05	1	ASWGR-1	8	14,40	14,40	100,000	Z equiv	0,0066	0,0043			108,3658	-69,2990	0,0066	0,0043
F5	Planta A	Al ACCM-5	3	Sec ATR-001	40	2,40	2,40	100,000	Z equiv	0,0079	0,0156			25,6364	-9,1018	0,0079	0,0156
F6	Planta A	Al ACCM-6	3	Sec ATR-001	26	2,40	2,40	100,000	Z equiv	0,0079	0,0156			25,6364	-9,1018	0,0079	0,0156
F7	Planta A	Al ACCM-8/BA	3	Sec ATR-001	26	2,40	2,40	100,000	Z equiv	0,0079	0,0156			25,6364	-9,1018	0,0079	0,0156
F8	Planta A	Al 2,4 ATR-04	38	Fus ATR-4	11	2,40	2,40	100,000	Z equiv	1,7500	0,6597			0,5043	-0,1640	1,7500	0,6597
F9	Planta A	Al ASWGR-2	5	Sec ATR-02	15	0,48	0,48	100,000	Z equiv	0,0442	0,3381			0,3802	-2,9690	0,0442	0,3381
F10	Planta A	Al ASWGR-7	9	Sec ATR-05	16	0,48	0,48	100,000	Z equiv	0,0442	0,3381			0,3802	-2,9690	0,0442	0,3381
F11	Planta A	Al ACCM-9	36	Fus ACCM-9	17	0,48	0,48	100,000	Z equiv	0,0001	0,0001			5000,0000	-5000,0000	0,0001	0,0001
F12	Planta A	Al ACCM-10	40	ASWGR-3 (5)	18	0,48	0,48	100,000	Z equiv	0,0001	0,0001			5000,0000	-5000,0000	0,0001	0,0001
F13	Planta A	Fus ATR-001	25	Fus ATR-001	2	14,40	14,40	100,000	Z equiv	0,0001	0,0001			5000,0000	-5000,0000	0,0001	0,0001
F14	Planta A	Fus ATR-02	1	ASWGR-1	24	14,40	14,40	100,000	Z equiv	0,0001	0,0001			5000,0000	-5000,0000	0,0001	0,0001
F15	Planta A	Fus ATR-03	1	ASWGR-1	24	14,40	14,40	100,000	Z equiv	0,0001	0,0001			5000,0000	-5000,0000	0,0001	0,0001
F16	Planta A	Fus ACCM-5	40	ASWGR-3 (5)	27	2,40	2,40	100,000	Z equiv	0,0001	0,0001			5000,0000	-5000,0000	0,0001	0,0001
F17	Planta A	Fus ACCM-6	26	ASWGR-3 (6)	28	2,40	2,40	100,000	Z equiv	0,0001	0,0001			5000,0000	-5000,0000	0,0001	0,0001
F18	Planta A	Fus ACCM-8/BA	29	ASWGR-6	30	2,40	2,40	100,000	Z equiv	0,0001	0,0001			5000,0000	-5000,0000	0,0001	0,0001
F19	Planta A	Fus ACCM-8/BA	30	Fus ACCM-8/BA	14	2,40	2,40	100,000	Z equiv	0,0001	0,0001			5000,0000	-5000,0000	0,0001	0,0001
F20	Planta A	Fus LCCM-1	7	Sec ATR-03	31	0,48	0,48	100,000	Z equiv	0,0001	0,0001			5000,0000	-5000,0000	0,0001	0,0001
F21	Planta A	Fus LCCM-1	31	LCCM-1	32	0,48	0,48	100,000	Z equiv	0,0001	0,0001			5000,0000	-5000,0000	0,0001	0,0001
F22	Planta A	Fus ACCM-1	15	ASWGR-2	33	0,48	0,48	100,000	Z equiv	0,0001	0,0001			5000,0000	-5000,0000	0,0001	0,0001
F23	Planta A	Fus ACCM-2	15	ASWGR-2	34	0,48	0,48	100,000	Z equiv	0,0001	0,0001			5000,0000	-5000,0000	0,0001	0,0001
F24	Planta A	Fus ACCM-3	15	ASWGR-2	35	0,48	0,48	100,000	Z equiv	0,0001	0,0001			5000,0000	-5000,0000	0,0001	0,0001
F25	Planta A	Fus ACCM-4	15	ASWGR-2	36	0,48	0,48	100,000	Z equiv	0,0001	0,0001			5000,0000	-5000,0000	0,0001	0,0001
F26	Planta A	Fus ACCM-4A	15	ASWGR-2	37	0,48	0,48	100,000	Z equiv	0,0001	0,0001			5000,0000	-5000,0000	0,0001	0,0001
F27	Planta A	Fus ATR-4	10	ACCM-5	38	2,40	2,40	100,000	Z equiv	0,0001	0,0001			5000,0000	-5000,0000	0,0001	0,0001
F28	Planta A	Fus ACCM-9	16	ASWGR-7	39	0,48	0,48	100,000	Z equiv	0,0001	0,0001			5000,0000	-5000,0000	0,0001	0,0001
F29	Planta A	Fus ACCM-10	16	ASWGR-7	40	0,48	0,48	100,000	Z equiv	0,0001	0,0001			5000,0000	-5000,0000	0,0001	0,0001
F30	Al Mat Power	Al Planta A	1	ASWGR-1	19	14,40	14,40	100,000	Z equiv	0,0011	0,0011			125000,0000	-125000,0000	0,0011	0,0011
F31	Al Mat Power	Tap PR ATR-PR B	19	Tap Planta A / TKF	20	14,40	14,40	100,000	Z equiv	0,0011	0,0011			291,7772	-424,4632	0,0011	0,0011
F32	Al Mat Power	Planta B - Se MatM	20	Tap Planta B	21	14,40	14,40	100,000	Z equiv	0,0060	0,0037			53,7201	-77,8942	0,0060	0,0037
F33	Al Mat Power	Se MatM - Se P	21	Tap Se MatM	22	14,40	14,40	100,000	Z equiv	0,0035	0,0025			91,4794	-133,2865	0,0035	0,0025
F34	PLANTA A	AL F-ACCM-5	27	Sec P Bus A 14.4 AV	10	2,40	2,40	100,000	Z equiv	0,0001	0,0001			15,9497	-23,1341	0,0001	0,0001
F35	PLANTA A	AL F-ACCM-6	28	Fus ACCM-6	13	2,40	2,40	100,000	Z equiv	0,0001	0,0001			5000,0000	-5000,0000	0,0001	0,0001





DOW BRASIL S.A. - SITE DE ARATU - Planta A  
 Conf. Manobra: TR-1 e TR-2 Operando em Separado  
 Curto-circuito e da Energia Incidente (Sistema + Motores)

- \* Quantidade Total de Elementos: 58
- \* Barramentos: 40
- \* Fontes e Motores Equivalentes: 18
- \* Alimentadores: 35
- \* Transformadores: 5

Matriz Fluxo de Icc no Ramos

Matriz Y-BUS:

Matriz G-BUS:

Matriz JB-BUS:

Matriz Z-BUS:

Matriz V-BUS:

Matriz de Icc:

N15:BA54	N15:BA54
N178:BA217	N178:BA217
BE178:CR217	BE178:CR217
CS178:EF217	CS178:EF217
N223:BA262	N223:BA262
N269:BA308	N269:BA308
N316:BA355	N316:BA355

Potência Base (Sb) 100 MVA

Item	Bus Saída	Bus Chegada	Admitância		Bus de Saída	Bus de Chegada
			Y <sub>af</sub> @ V <sub>b</sub> Sb	(G-JB)		
1	2	3	4	5	6	7
15	8	9	0,0414	-0,3305	Pn ATR-05	Sec ATR-05
14	11	12	-0,0229	-0,1142	Pn ATR-04	Sec ATR-04
13	11	7	0,0236	-0,1194	Pn ATR-03	Sec ATR-03
12	4	5	0,0443	-0,3339	Pn ATR-02	Sec ATR-02
11	3	5	0,1022	-1,4901	Pn ATR-1001	Sec ATR-1001
33	37	37	0,0030	-0,0130	Referencia	Fus ACCM-4A
34	38	38	0,0030	-0,0236	Referencia	Fus ACCM-4
37	39	39	0,0030	-0,0130	Referencia	Fus ACCM-3
38	39	39	0,0030	-0,0236	Referencia	Fus ACCM-2
35	31	31	0,0030	-0,0130	Referencia	Fus ACCM-1
34	12	12	0,0034	-0,0236	Referencia	Sec ATR-04
33	14	14	0,0169	-0,1351	Referencia	ACCM8 / BA
32	13	13	0,0075	-0,1369	Referencia	ACCM6
31B	19	19	0,0126	-0,0873	Referencia	Tap Planta A / TKF
317	20	20	0,0215	-0,2477	Referencia	Tap Planta B
316	21	21	0,0169	-0,1227	Referencia	Tap Sa MaM
315	22	22	0,0249	-0,0790	Referencia	Se P Bus A 14,4 kV
314	23	23	0,0061	-0,0077	Referencia	Se P Bus A 14,4 kV
313	23	23	0,2591	-0,7667	Referencia	Se P Bus A 14,4 kV
312	16	16	0,0074	-0,0991	Referencia	ACCM-10
311	17	17	0,0074	-0,0960	Referencia	ACCM-9
310	39	39	0,0049	-0,0150	Referencia	Fus LCCM-1
31	10	10	0,0075	-0,1369	Referencia	ACCM5

Fluxo de Icc em [A] nos ALIMENTADORES entre BS e BC, quando de curto-circuito no BUS indicado no topo de cada COLUNA - Valores referidos à tensão base Vb BC

Fluxo de Icc nos Ramos	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Referencia: M14	ASWGR-1	Pn ATR-1001	Sec ATR-1001	Pn ATR-02	Sec ATR-02	Pn ATR-03	Sec ATR-03	Pn ATR-05	Sec ATR-05	ACCM5	Pn ATR-04
Vb	14,4	14,4	2,4	14,4	0,48	14,4	0,48	14,4	0,48	2,4	2,4
Icc	26.209	26.064	45.532	25.285	51.824	14.338	17.800	25.300	158.027	44.878	11.468
0,48	8,677	8,480	27,781	8,367	4,26	4,734	168	9,510	33,750	28,191	7,073
0,48	1,775	1,773	2,320	1,712	87	968	32	1,724	1,515	2,340	2,383
0,48	2,870	2,863	6,32	2,768	141	2,976	14,225	2,770	462	621	156
0,48	10,238	10,174	2,256	10,242	38,067	5,586	186	9,873	1,612	2,215	556
2,40	8,241	8,274	26,910	7,947	404	4,437	150	7,732	16,446	26,265	6,550
0,48	2,048	2,036	451	2,048	2,751	1,117	37	1,976	322	443	111
0,48	2,048	2,036	451	2,048	2,751	1,117	37	1,976	322	443	111
0,48	2,048	2,036	451	2,048	2,751	1,117	37	1,976	322	443	111
0,48	2,048	2,036	451	2,048	2,751	1,117	37	1,976	322	443	111
0,48	2,048	2,036	451	2,048	2,751	1,117	37	1,976	322	443	111
0,48	1,775	1,773	2,320	1,712	87	968	32	1,724	1,515	2,340	2,383
2,40	2,486	2,483	3,267	2,397	122	1,366	45	2,414	2,070	3,193	801
2,40	2,486	2,484	3,267	2,397	122	1,366	45	2,414	2,071	3,193	801
14,40	361	349	77	339	17	192	6	339	66	76	19
14,40	914	908	201	881	45	496	17	882	144	198	50
14,40	447	444	96	431	22	244	8	431	70	97	24
14,40	2,568	2,560	568	2,474	126	1,400	47	2,476	404	656	138
14,40	196	196	44	190	10	108	4	191	31	43	11
14,40	19,664	19,532	4,330	18,952	964	10,724	357	18,966	3,084	4,255	1,088
0,48	5,430	5,425	7,098	5,236	266	2,963	99	5,274	4,636	7,155	1,796
0,48	5,430	5,425	7,098	5,236	266	2,963	99	5,274	4,636	7,155	1,796
0,48	2,870	2,863	6,32	2,768	141	2,976	14,225	2,770	462	621	156
2,40	2,484	2,482	3,247	2,395	122	1,366	45	2,413	2,121	3,274	822

DOW BRASIL S.A. - SITE DE ARATU - Planta A  
 Conf. Manobra: TR-1 e TR-2 Operando em Separado  
 Curto-circuito e da Energia Incidente (Sistema + Motores)

CÁLCULO DA ENERGIA INCIDENTE COM CURTO-CIRCUITO NO PONTO **F1 Sep**

Item	Barramento / Sistema								Energia Incidente no Ponto de Trabalho E		Fronteira de Prot. do Arco [m]	Coeficientes de Cálculo						
	#	Identificação	Vb [kV]	I cc [kA]	Fator Red I arc - FRIA [%]	Tipo de Aterram	Equipamento		[J/cm <sup>2</sup> ]	[cal/cm <sup>2</sup> ]		Fator K	Fator K1	Fator K2	Afast. G [mm]	Dist Arco D [mm]	Cf	Exp x
							Config.	Tipo										
1	1	ASWGR-1	14,40	26,21	100 85	Dir. Aterr	Fechado	SWGR	14,5	3,5		0,000	-0,555	-0,113	152	910	1,0	0,973

Fluxos de Corrente pelos Ramos dos Dispositivos de Proteção

Item	Bus Adjacente ao Defeito				Ramo do Dispositivo de Proteção				Fluxo I cc [kA]	Características do Dispositivo de Proteção					Fluxo 100 % I arc DP			Fluxo 85 % I arc DP						
	#	Identificação	Vb [kV]	I cc pf Arc FI [kA]	Bus Saída		Bus Chegada			Identificação do Disp. de Proteção	Fabric	Modelo	Tipo	I nom [A]	I @ 0,010 s [kA]	Correntes de Pickup			I arc [kA]	top pf I arc [s]	t total [s]	I arc [kA]	top pf I arc [s]	t total [s]
					#	Vb [kV]	#	Vb [kV]								Unid L [kA]	Unid S [kA]	Unid I [kA]						
1	19	Tap Planta A / TKF	14,40	24,121	19	14,40	1	14,40	Eq Mot TAP PLA								23,03	0,100	0,100	19,58	0,100	0,100		
2	23	Fus ATR-03	14,40	0,066	23	14,40	1	14,40	Eq Mot ATR-03								0,09	0,100	0,100	0,08	0,100	0,100		
3	24	Fus ATR-02	14,40	0,341	24	14,40	1	14,40	Eq Mot ATR-02								0,33	0,100	0,100	0,28	0,100	0,100		
4	25	Fus ATR-1001	14,40	1,374	25	14,40	1	14,40	Eq Mot ATR-1001								1,31	0,100	0,100	1,11	0,100	0,100		
5	8	Phi ATR-05	14,40	0,289	8	14,40	1	14,40	Eq Mot ATR-05								0,28	0,100	0,100	0,23	0,100	0,100		
6																	0,00		0,000	0,00		0,000	0,000	
7																	0,00		0,000	0,00		0,000	0,000	
8																	0,00		0,000	0,00		0,000	0,000	
9																	0,00		0,000	0,00		0,000	0,000	
10																	0,00		0,000	0,00		0,000	0,000	

## 8. BIBLIOGRAFIA *A Bibliografia vem antes do Apêndice*

BODDINGTONS ELECTRICAL LTD. *Arc Flash Protective Wear and Equipment*. Essex: 2007. Disponível em: <[http://www.boddingtons-electrical.com/arc\\_protective\\_equipment/arc\\_protective\\_wear.html](http://www.boddingtons-electrical.com/arc_protective_equipment/arc_protective_wear.html)>. Acesso em: 22 ago 2008.

LEITE, Fábio Correa; TOMIYOSHI, Luiz K. *Abordagem 6 Sigma para redução de arcos elétricos*. III ESW Brasil 2007 – Seminário Internacional de Engenharia Elétrica na Segurança do Trabalho. IEEE The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc. - Industry Applications Society - South Brazil & Rio de Janeiro Sections. Arquivo em pdf: Arc-Flash-6sigma-Fabio-Leite.pdf. 2007.

NORTH AMERICAN SERVO LTD. *Arc Flash Safety Awareness Training*. 2008. Disponível em: <<http://www.northamericanservo.com/training.html>>. Acesso em: 16 ago 2008.

STEVENSON JR, William D. *Elementos de Análise de Sistemas de Potência*. 1ª reimpressão. 1. ed. McGraw Hill: São Paulo, 1975.

THE ELECTRICITY FORUM. *Arc Flash Clothing*. Pickering: 2008. Disponível em: <<http://www.electricityforum.com/arc-flash/arc-flash-clothing.html>>. Acesso em: 22 ago 2008.

TOMIYOSHI, Luiz K. *Proteção contra queimaduras por arcos elétricos: nova metodologia para cálculo de energia*. Junho de 2004

\_\_\_\_\_. *Proteção contra queimaduras por arcos elétricos: Estimativa de energia e escolha da roupa de proteção*. DuPont do Brasil S.A. disponível em: <<http://www.viaseg.com.br/artigos/nomex.htm>>. Acesso em 15 ago 2008.

TRAINING PRESS RELEASES. *New arc flash safety training from Coastal Training Technologies*. Coastal Training Technologies. Virginia Beach, VA. Fev 2007. Disponível em: <<http://www.trainingpressreleases.com/newsstory.asp?NewsID=2601>>. Acesso em: 14 ago 2008.

WHITE, Jim. *5 Minute Safety Topic: There's Nothing Common About Common Sense*. NEC Digest, Out 2006. Disponível em: <[http://www.c-ad.bnl.gov/esfd/monday/safety\\_10\\_19\\_06.htm](http://www.c-ad.bnl.gov/esfd/monday/safety_10_19_06.htm)>. Acesso em: 15 ago 2008.