

Energia incidente e risco de arco elétrico em quadros de distribuição de força: Estudo de caso em um pavimento de edificação da UFERSA

Ana Luiza da Silva Fonseca ^[1], Isaac Barros Tavares da Silva ^[2] e Ednardo Pereira da Rocha ^[3]

^[1] Universidade Federal Rural do Semiárido; ana.fonseca45384@ufersa.edu.br

^[2] Universidade Federal Rural do Semiárido; isaac.barros@ufersa.edu.br

^[3] Universidade Federal Rural do Semiárido; ednardo.pereira@ufersa.edu.br

Resumo: É notória a necessidade do cumprimento das normas de segurança estabelecidas por entidades tanto de cunho mundial, como é o caso do *Institute of Electrical and Electronic Engineers* (IEEE). Devido a constância em acidentes de origem elétrica torna-se cada vez mais importante a prevenção de riscos, com isso, o presente trabalho avaliou a energia incidente gerada nos quadros de distribuição das instalações elétricas e determinou a distância segura de trabalho (ATPV) do pavimento 1 do Centro de Engenharias I (CE I) da Universidade Federal Rural do Semi-Árido - Campus Central, Mossoró/RN. Por meio do estudo foi constatado que dois quadros de energia, dos 16 avaliados, necessitam de vestimenta ATPV nível 2 para manuseio, segundo a NFPA 70E e distâncias seguras, para transeuntes, de pouco mais de um metro.

Palavras-chave: Arco-elétrico; Energia incidente; Distância de trabalho, ATPV, Quadro de distribuição de força.

Abstract: The need for compliance with conditional safety standards by entities of such a global nature, such as the Institute of Electrical and Electronic Engineers (IEEE), is well known. Due to the constant occurrence of accidents of electrical origin, risk prevention becomes increasingly important. Therefore, the present work evaluated the energy incident generated in the distribution boards of electrical installations and determined the safe working distance (ATPV) from the pavement. 1 of the Engineering Center I (CE I) of the Federal Rural University of Semi-Árido - Central Campus, Mossoró/RN. Through the study, it was found that two energy panels, of the 16 evaluated, were found to have ATPV level 2 clothing for them, according to NFPA 70E and safe distances, for passersby, of little more than a subway.

Key-words: Electric arc; Incident energy; Working distance, ATPV, Force distribution chart.

1. INTRODUÇÃO

O arco elétrico é um fenômeno físico onde, por meio da ruptura dielétrica, em uma superfície energizada, ocorre a condução de corrente elétrica. Uma descarga de plasma em um meio dielétrico como o ar, ocorre, quando o campo elétrico entre os terminais dos condutores é muito intenso, o que causa uma ruptura dielétrica do isolante, ionizando-o e possibilitando a condução de corrente por entre os condutores [1].

A energia incidente consiste na quantidade de energia, em forma de calor, produzida durante o fenômeno de arco elétrico a uma determinada distância da fonte de incidência, e pode ser calculada de acordo com a quantidade de energia pela área de distância do corpo ou face do trabalhador [2], avaliando e classificando o risco para, nesses casos, pautar níveis menos danosos de distâncias seguras de trabalho e equipamentos específicos para cada nível. A proteção contra arco elétrico é sempre baseada no nível de energia incidente [3].

De acordo com a Associação Brasileira de Conscientização para os perigos da Eletricidade – ABRACOPEL [4], nos últimos 10 anos, a média de acidentes ocasionados por choque elétrico, seja fatal ou não, foi de 832 por ano, além disso, no ano de 2022 de 853 acidentes ocorridos por meio de choques elétricos, 592 resultaram em óbitos (um total de 69,4%), que incluem queimaduras provocadas por arco elétrico.

Portanto, sendo evidente os perigos em trabalho com eletricidade, torna-se cada vez mais relevante a adoção das medidas de prevenção estabelecidas pela Norma Regulamentadora 10 (NR 10), que atrelada a Norma Regulamentadora 6 (NR 6), que rege a aprovação, comercialização, fornecimento e utilização dos Equipamentos de Proteção Individuais (EPIs), garantem mais segurança aos operários de Sistemas Elétricos de Potência (SEP).

Considerando tais conceitos descritos acima como riscos presentes em todo o SEP, até mesmo em sistemas de baixa tensão, o presente trabalho tem por objetivo calcular a Distância de Trabalho segura quanto aos níveis de Energia Incidente dos quadros de distribuição das instalações elétricas do pavimento 1 do Centro de Engenharias I da Universidade Federal Rural do Semi-Árido - Campus Central, Mossoró/RN, a fim de avaliar os níveis de risco da passagem de transeuntes por meio dos corredores de tal edificação.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

A metodologia adotada teve fundamento através da Norma IEEE 1584:2018, padrão internacional para cálculo de energia incidente advinda de arco elétrico. A referida norma prescreve que, para utilizar o método nela descrito, faz-se necessário que a instalação a ser estudada tenha como requisito os seguintes pontos:

- Tensão entre 208 V – 1500 V;
- Sistema trifásico;
- Frequência de 50 Hz – 60 Hz;
- Corrente de curto-circuito entre 700 A – 106 kA;
- Espaçamento entre condutores entre 13 mm – 152 mm.

Dessa forma, tal metodologia segue de acordo com o fluxograma apresentado na Figura 1, onde serão, posteriormente, descritas com maiores detalhes.

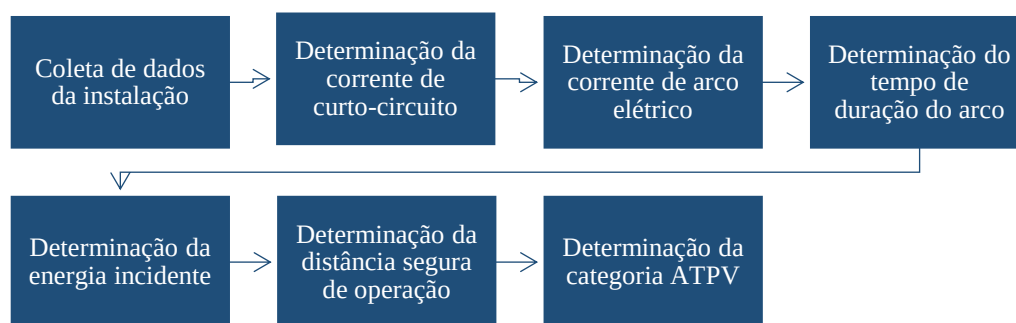


FIGURA 1. Fluxograma metodológico (autoria própria)

2.1. Coleta de dados da instalação

Por meio dos projetos elétricos da edificação, cedidos pelo Setor de Projetos e Obras da instituição, em conjunto com a concessionária de distribuição de energia elétrica, foi possível gerar o diagrama unifilar de distribuição de cargas, conforme apresentado na Figura 2. Vale salientar que, apesar da edificação conter quatro pavimentos, apenas o primeiro foi analisado, visto que, após realização de levantamento de cargas, averiguou-se que este concentrava a maior carga instalada do prédio.

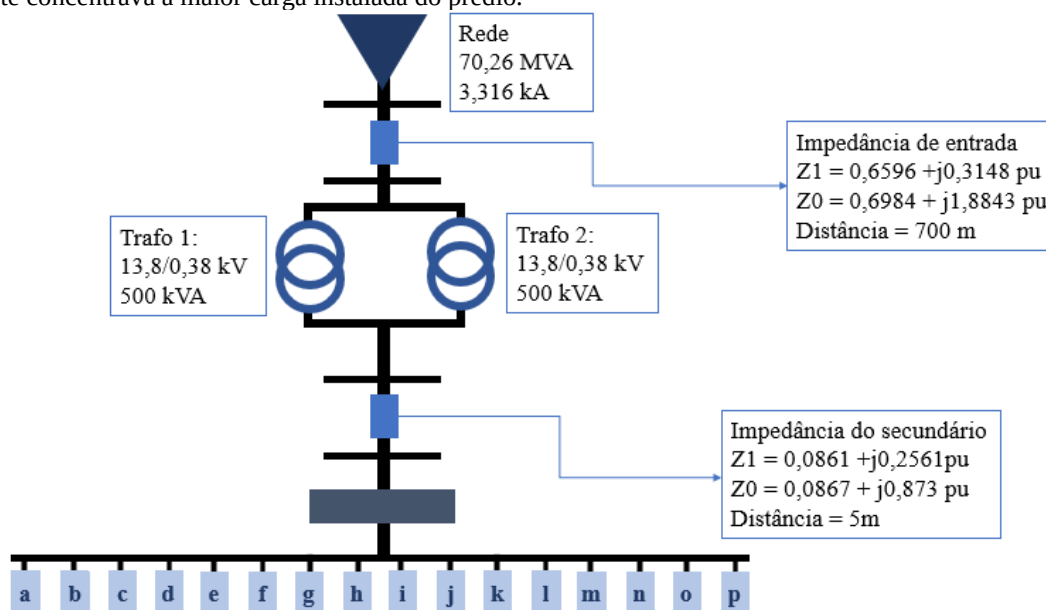


FIGURA 2. Diagrama unifilar de distribuição de força. ADAPTADO [2]

Verifica-se na Figura 2, o pavimento em estudo possui 16 quadros elétricos, titulados de a-p. Os módulos das cargas, apresentados na Tabela 1, são essenciais para o cálculo das correntes de curto-circuito trifásico. A planta baixa do pavimento, bem como a descrição e localização dos 16 quadros encontram-se no Anexo A.

TABELA 1. Cargas dos quadros de distribuição do pavimento em estudo.

Representação	Quadro	Carga (W)
a	Lab. de Soldagem	484.400
b	Lab. De Projetos Mecânicos	7.060
c	Lab. De Técnicas de Construção	13.580
d	Lab. De Usinagem	112.100
e	Lab. De Ensaio Mecânicos	32.560
f	Lab. De Materiais de Construção	21.900
g	Lab. De Mecânica dos Solos	8.620
h	Lab. De Misturas Asfálticas	16.460
i	Elevadores	6.000
j	Lab. De Estradas	4.900
k	Auditório	3.200
l	Quadro Distribuição 3	40.900
m	Quadro Distribuição 4	33.400
n	CPD	9.704
o	Quadro Distribuição 1	12.272
p	Quadro Distribuição 2	5.340

Fonte: Projetos de instalações elétricas do local

2.2. Corrente de curto-circuito

Para a determinação da corrente de curto circuito trifásica, o IEEE faz recomendação de uso de algum *software* comercial, sendo possível a inserção de dados dos equipamentos, bem como informações do diagrama unifilar [2].

2.3. Corrente de arco elétrico

A Norma IEEE 1584, define a Equação (1) como o método para determinação de corrente de arco elétrico.

$$\log_{10} I_a = K + \log_{10} I_{bf} \times [0,662 - (0,00304 \times G) + (0,5588 \times V)] + (0,0966 \times V) + (0,000526 \times G) \quad (1)$$

Onde,

I_a = Corrente de arco (kA);

K = Constante de ambiente, sendo -0,153 para arco em ambiente aberto e -0,097 para arco em ambiente fechado;

I_{bf} = Corrente de curto circuito trifásica (kA);

G = Distância entre condutores (mm);

V = Tensão do sistema (kV).

O parâmetro G , correspondente à distância entre condutores, é expresso na Tabela 2 com os padrões adotados.

TABELA 2. Parâmetros de equipamentos [5].

Tensão do sistema (kV)	Tipo de equipamento	Dist. Entre condutores (mm)	Fator de distância (x)
$0,20 \leq V \leq 1,0$	Ambiente aberto	10 a 40	2,0
	Painel de distribuição	32	1,473
	CCM e painel	25	1,641
	Cabos	13	2,0
$1,0 \leq V \leq 5,0$	Ambiente aberto	102	2,0
	Painel de distribuição	13 a 102	0,973
	Cabos	13	2,0
$5,0 \leq V \leq 15,0$	Ambiente aberto	13 a 153	2,0
	Painel de distribuição	153	0,973
	Cabos	13	2,0

Adaptado de [5].

2.4. Tempo de duração de arco elétrico

Esta sessão corresponde ao tempo de atuação das proteções do sistema. Para esta determinação, faz-se necessário o conhecimento dos equipamentos de proteção instalados, sendo uma opção utilizar o catálogo dos fabricantes. Além disso, é possível utilizar tempos, de acordo a IEEE 5418, apresentados na Tabela 3.

TABELA 3. Tempo de atuação da proteção [5].

<i>Tipo de equipamento de proteção</i>	<i>Tempo de abertura (x)</i>
Baixa tensão, caixa moldada e relé de proteção integrado	0,025
Baixa tensão, caixa isolada com relé de proteção integrado ou operado por relé externo	0,05
Média tensão	0,08
Alta tensão	0,130

Adaptado de [5].

2.5. Energia incidente

Antes do cálculo da energia incidente, é necessário calcular a energia incidente normalizada, cujos parâmetros considerados para normalização são: arco com 200 ms de duração a uma distância de 610 mm. A Equação 2 representa o cálculo da energia incidente normalizada [2,5].

$$\log_{10} E_n = K_1 + K_2 + (1,08 \times \log_{10} I_a) + (0,0011 \times G) \quad (2)$$

Onde,

E_n = Energia incidente normalizada (J/cm^2);

K_1 = Constante de ambiente, sendo -0,792 para arco em ambiente aberto e -0,0555 para arco em ambiente fechado;

K_2 = Constante de ambiente, sendo 0 em ambiente isolado ou aterrado por alta resistência e -0,113 para sistema solidamente aterrado;

I_a = Corrente de arco (kA);

G = Distância entre condutores (mm).

Posteriormente, para obter a energia incidente, utiliza-se a Equação 3.

$$E = C_f \times E_n \times \left(\frac{t}{0,2}\right) \times \left(\frac{610^x}{D^x}\right) \quad (3)$$

Onde,

E = Energia incidente (cal/cm^2);

C_f = Fator de cálculo, sendo 1 para tensões superiores à 1 kV e 1,5 para tensão igual ou menor que 1 kV;

E_n = Energia incidente normalizada (J/cm^2);

t = Tempo de duração de arco (s);

x = Fator de distância (vide Tabela 2);

D = Distância do ponto de arco para o transeunte (mm).

2.6. Distância segura de operação

A distância segura de aproximação equivale, segundo a IEEE 1584/2018, à distância da fonte do arco na qual uma energia de calor de 1,2 (cal/cm^2), ou 5,0 (J/cm^2), incide sobre uma pessoa sem equipamento de proteção causando-lhe danos físicos [2]. A distância segura é calculada conforme a Equação 4.

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

Onde,

D_b = Distância segura de operação (mm).

C_f = Fator de cálculo, sendo 1 para tensões superiores à 1 kV e 1,5 para tensão igual ou menor que 1 kV;

E_n = Energia incidente normalizada (J/cm^2);

t = Tempo de duração de arco (s);

x = Fator de distância (vide Tabela 2);

E = Energia incidente (cal/cm^2);

2.7. Determinação da categoria ATPV

Para cada nível de energia incidente existe um tipo de vestimenta adequado para a aproximação das superfícies energizadas, esse padrão estabelecido é o *Arc Thermal Performance Value* (ATPV), regido pela norma internacional NFPA 70E, que remete ao valor de desempenho térmico de arco, já a NR 6 atua na definição das exigências para aprovação, comercialização, fornecimento e utilização de tais vestimentas.

Na Tabela 4, estão presentes os parâmetros que constituem a determinação do tipo de vestimenta para cada intervalo de taxa da energia incidente.

TABELA 4. Vestimentas de proteção [1].

<i>Faixa de energia incidente</i>	<i>Níveis de proteção</i>	<i>Vestimenta</i>	<i>ATPV</i>
0-2	0	Vestimenta comum, sem tratamento antichama "FR", com tecido não fundente.	NA
2-5	1	Vestimenta antichama "FR" - 1 camada	5-7
5-16	2	Vestimenta antichama "FR", roupa de baixo em algodão - 1 ou 2 camadas	8-22
16-25	3	Vestimenta antichama "FR", roupa de baixo em algodão antichama "FR" - 2 ou 3 camadas	25-50
25-32	4	Vestimenta antichama "FR", roupa de baixo em algodão antichama "FR" - 3 ou mais camadas	40-60

Adaptado de [1].

O Termo "FR" *Fire Retardant*, remete ao quanto o tecido retarda o calor até o corpo do indivíduo. O termo "FR" refere-se aos tecidos com gramaturas superiores aos tecidos utilizados na confecção de uniformes em geral [1].

3. RESULTADOS

Ao realizar os cálculos pré-determinados anteriormente, foram obtidos os resultados declarados na Tabela 5.

Tabela 5. Resultados obtidos após aplicação da Metodologia (autoria própria).

<i>Quadro</i>	<i>Curto Trifásicos (kA)</i>	<i>Corrente de arco elétrico (kA)</i>	<i>Energia incidente (cal/cm²)</i>	<i>Distância Segura de Operação (mm)</i>	<i>ATPV</i>
a	1,17	1,01	7,51	1138,18	2
b	0,47	0,47	1,2	586,69	0
c	0,47	0,47	1,2	586,69	0
d	1,11	0,96	6,72	1076,45	2
e	0,67	0,63	2,95	712,80	1
f	0,67	0,63	2,95	712,80	1
g	0,47	0,47	1,2	586,69	0
h	0,47	0,47	1,2	586,69	0
i	0,35	0,36	1,52	511,35	0
j	0,47	0,47	1,2	586,69	0
k	0,47	0,47	1,2	586,69	0
l	0,83	0,76	4,04	834,88	1
m	0,67	0,63	2,95	712,80	1
n	0,47	0,47	1,2	586,69	0
o	0,47	0,47	1,2	586,69	0
p	0,47	0,47	1,2	586,69	0

Em posse dos dados obtidos e dispostos na Tabela 5, foi possível observar que os quadros a e d, referentes aos laboratórios de soldagem e usinagem, respectivamente, possuem as maiores cargas do pavimento e, consequentemente, maiores seções transversais de cabos de alimentação, tiveram maior corrente de curto-circuito trifásica calculada, bem como corrente de arco e energia incidente. Com isso, foi possível observar que os dois quadros dos 16 analisados atingiram um nível de energia incidente que, segundo normatização, se faz necessária a utilização de vestimenta específica nível 2, conforme Tabela 4.

A carga de alimentação dos dois laboratórios em questão é fundamentada nos equipamentos instalados, que requerem altas correntes e alimentação trifásica, conforme demonstrados na Tabela 6.

TABELA 6. Cargas dos equipamentos presentes nos laboratórios de soldagem e usinagem (autoria própria).

<i>Laboratório</i>	<i>Quantidade dos equipamentos</i>	<i>Equipamento</i>	<i>Potência</i>
Usinagem	1	Compressor	1,5 kW
		Furadeira de bancada	1,28 kW
		Furadeira de topo	1,38 kW
		Moto esmeril	0,357 kW
		Serra corte	2 kW
		Torno	7,8 kW
		Torno CNC	9 kW
		Serra fita	0,37 kW
		Fresadora industrial	2,2 kW
Soldagem	4	Retificador de solda	25,2 kVA
	1	Lixadeira/Politriz	0,37 kW
		Serra corte	2 kW
		Máquina de soldagem MIG/MAG	14,6 kVA
		Moto esmeril	0,357 kW

4. CONCLUSÃO

Ao analisar, por meio de normas internacionalmente adotadas, a energia incidente de um pavimento da edificação supracitada, foi possível observar que os laboratórios de soldagem e usinagem utilizam equipamentos de grandes proporções que necessitam de uma alimentação elétrica em ordens de grandeza maiores.

Portanto, para atividades de manutenção nos quadros elétricos dos laboratórios de usinagem e soldagem, é necessária a utilização de vestimenta ATPV nível 2, que corresponde à vestimenta antichama “FR” de baixo algodão, sendo uma ou duas camadas. Além disso, para transeuntes, é indicado manter distância de aproximadamente, 1,076 m e 1,138 m dos quadros dos laboratórios de usinagem e soldagem, respectivamente. Por fim, torna-se importante estudos futuros que analisem outros prédios da instituição que também possuem altas cargas instaladas, visando sempre garantir a segurança de pessoas que circulam nos ambientes.

AGRADECIMENTOS

Agradeço à Superintendência de Infraestrutura, em especial ao Diretor de Divisão de Projetos e Obras, Nícolas Araújo por ceder os projetos elétricos da edificação avaliada no presente estudo, bem como o Diretor do Centro de Engenharias, professor Manoel Quirino pela liberação do acesso aos laboratórios avaliados.

REFERÊNCIAS

- [1] CAMPOS, M. P., Estudo da Energia Incidente do Arco Elétrico em Quadros/Painéis Elétricos, Trabalho de Conclusão de Curso, Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Belo Horizonte/MG, 2016.
- [2] CARVALHO, A. E. O.; ANDRADE, H. D., Estudo de Energia Incidente para Diagnóstico de Escolha de Equipamento de Proteção Individual Utilizados na Manutenção de uma Subestação de 1000kVA, Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade Federal Rural do Semiárido, Mossoró/RN.
- [3] WINTER, R. J., Análise das normas IEEE 1584:2002 e IEEE 1584:2018 para estudo de Energia Incidente e ATPV em Instalações Industriais de Baixa Tensão, Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre/RS, 2022.
- [4] ABRACOPEL. Anuário Estatístico Brasileiro Dos Acidentes De Origem Elétrica, 2022.
- [5] IEEE STD. IEEE 1584-2018: IEEE Guide for Performing Arc-Flash Hazard Calculations. 2018.
- [6] Ministério do Trabalho e Emprego. NR 10 – Segurança em Instalações e Serviços em Eletricidade. Brasília: Ministério do Trabalho e Emprego, 2004.
- [7] Ministério do Trabalho e Emprego. NR 6 – Equipamento de Proteção Individual – EPI. Brasília: Ministério do Trabalho e Emprego, 2015.

ANEXO A - Planta baixa para localização dos quadros de distribuição elétrica.

