



## ANÁLISE DE RISCO HUMANO DEVIDO AO ARCO ELÉTRICO E COMPARAÇÃO DOS MÉTODOS DE CÁLCULO DE ENERGIA INCIDENTE

Marcelo Carvalho B. de Moraes\*<sup>1</sup>, Carlos E. Tavares<sup>1</sup>

<sup>1</sup>FEELT – Universidade Federal de Uberlândia

*Resumo – O fenômeno do arco elétrico esteve presente nos sistemas elétricos desde o início das aplicações práticas de engenharia. Apenas há algumas décadas, entretanto, os estudos deste fenômeno foram sistematizados em normas, principalmente nos Estados Unidos. A principal norma em eletricidade do Brasil, a NR-10, não trata explicitamente deste tema, o que obriga engenheiros e técnicos a recorrer às publicações internacionais. Neste contexto, o presente trabalho visa estudar e comparar as possibilidades de aplicação de duas das principais normas utilizadas: a NFPA-70E e a IEEE-1584, a partir de um estudo de caso realizado em um supermercado que verifica os resultados obtidos na análise de segurança ao arco elétrico. Discutem-se, então, as especificidades de cada um dos métodos e os resultados obtidos a partir do estudo realizado.*

**Palavras-Chave - Arco elétrico. Risco Humano. Norma de Proteção Elétrica. Energia Incidente. Distância de Segurança.**

### HUMAN RISK ANALYSIS DUE TO ELECTRIC ARC AND COMPARISON OF INCIDENT ENERGY CALCULATION METHODS

**Abstract - The electric arc phenomenon has been present in electrical systems since the beginning of practical engineering applications. Only a few decades ago, however, the studies of this phenomenon were systematized in norms, mainly in the United States. The main standard in electricity in Brazil, the NR-10, does not explicitly address this issue, which forces engineers and technicians to resort to international publication. In this context, the present work aims to study and compare the possibilities of applying two of the main standards used: the NFPA-70E and the IEEE-1584, based on a case study that verifies the results obtained in the analysis of safety to the electric arc carried out in a supermarket. Then, the specificities of each method and the results obtained from the carried-out study are discussed.**

**Keywords - Electric Arc. Human Risk. Electrical Protection Norm. Incident Energy. Safety Distance.**

### NOMENCLATURA

IEEE	Instituto de Engenheiros Eletricistas e Eletrônicos
NFPA	National Fire Protection Association
NR	Norma Regulamentadora
OSHA	Occupational Safety and Health Administration
EPI	Equipamento de Proteção Individual
QGBT	Quadro Geral de Baixa Tensão
CEMIG	Companhia Energética de Minas Gerais
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
NBR	Norma Técnica Brasileira

### I. INTRODUÇÃO

Considerando todos os aspectos relacionados à operação dos Sistemas Elétricos, aqueles referentes à segurança durante a manutenção e o trabalho cotidianos em sistemas energizados são, certamente, itens centrais em termos de planejamento. A proteção da rede em si, através dos conhecidos dispositivos protetivos, bem como dos operadores é tema de estudo desde o início dos desenvolvimentos tecnológicos derivados da Engenharia Elétrica.

Neste contexto, o arco elétrico é conhecido por efeitos como aumento de temperatura e pressão; projeção de vapores, gases contaminantes e resíduos; bem como efeitos de luminosidade e estampidos [1].

Apesar da difícil caracterização analítica, o arco enquanto fenômeno físico vem sendo estudado há longo tempo, incluindo os períodos iniciais de aplicação sistemática da eletricidade. A partir da década de 50, a expansão do consumo de eletricidade levou à necessidade de aumento dos níveis de tensão tanto para transmissão quanto para distribuição, o que aumentou o risco de faltas por arco no secundário de transformadores.

Os estudos continuam, com foco principal na proteção do sistema elétrico, até que Ralph Lee publica, em 1982, seu primeiro trabalho com atenção aos perigos causados pelas explosões durante faltas elétricas [2]. Ao longo da década, desenvolveu diferentes técnicas de cálculo para energia incidente devido aos arcos, fundamentando os parâmetros de análise matemática até muito recentemente empregados.

\*marcelo.morais@ufu.br

Para além dos estudos de Ralph Lee, as instruções fornecidas pela norma americana NFPA-70E, a qual é responsável por propor medidas de segurança gerais contra o fogo, começam a incluir, durante a década de 90, os riscos devidos ao arco elétrico e meios de proteção adequados [3].

Em 2002, no início do século XXI, a publicação da IEEE-1584 torna-se o grande marco da normatização relativa aos riscos dos arcos elétricos, ao propor análises estatísticas que otimizam os cálculos inicialmente propostos por Ralph-Lee [4]. Nos anos seguintes, a NFPA-70E, em suas seções relativas ao arco, passa a incluir os cálculos previstos pela norma de 2002.

A norma brasileira NR-10, não define, entretanto, métodos específicos para essa análise. Assim, fica a cargo do responsável pelo projeto de determinada instalação elétrica definir qual método de cálculo deve ser empregado.

O presente trabalho visa, neste contexto, promover um estudo amplo dos métodos mais usados para determinação da energia incidente de arcos e, a partir de uma extensa revisão bibliográfica, promover análises específicas de caso, considerando diferentes pontos do sistema elétrico.

## II. ASPECTOS NORMATIVOS

A norma NFPA-70E tem por objetivo promover métodos e técnicas de proteção contra o fogo, mesmo aquelas que não tem origem na eletricidade. Com o avanço dos serviços em eletricidade, a OSHA entendeu ser necessário propor padrões sobre segurança no setor, dando origem à NFPA-70E [1].

A publicação foi desenvolvida com o objetivo principal de atender os requisitos em segurança propostos pela OSHA, uma Associação de grande referência, nos Estados Unidos, no combate aos riscos ocupacionais. O texto da norma expõe que o cálculo de energia incidente deve ser realizado a fim de que se determinem duas informações principais para a operação do sistema: a distância mínima de aproximação segura do operador e, também, qual ou quais tipos de EPI o trabalhador deve usar.

Os métodos de cálculo são, por sua vez, expostos no anexo da norma, com a definição de grupos de risco. A cada grupo de risco se associa um número que o categoriza e os EPIs adequados ao nível de energia incidente, conforme indicado na Tabela 1.

Tabela 1: Especificação das categorias de risco

CATEGORIAS DE RISCO	ENERGIA INCIDENTE (cal/cm <sup>2</sup> )
0	Até 1,2
1	1,2 a 4,0
2	4,1 a 8,0
3	8,1 a 25
4	25,1 a 40,0

Aplicada para sistemas que operem em tensões de até 600 V, os cálculos indicados pela norma incluem coleta de dados das características gerais do sistema, como valor da corrente de curto e descrição das dimensões geométricas de condutores, por exemplo.

Coletadas estas informações, basta empregar as equações (1) e (2) para que se obtenha o valor da energia incidente:

$$E_{MA} = 5271 \times D^{-1,9593} \times t_A (0,0016 \times I^2 - 0,0076 \times I + 0,8938) \quad (1)$$

$$E_{MB} = 1038,7 \times D^{-1,4738} \times t_A (0,0093 \times I^2 - 0,3453 \times I + 5,9675) \quad (2)$$

Nas equações, os termos  $E_{MA}$  e  $E_{MB}$  indicam as energias máximas dissipadas em áreas abertas e em ambientes fechados, respectivamente. O termo  $t_A$  indica o tempo de duração do arco,  $I$  representa o valor da corrente de curto trifásico e  $D$  a distância de trabalho do operador, em polegadas.

A distância segura dada pela norma é obtida via leitura de tabela a partir dos resultados de energia obtidos. O texto da IEEE-1584, entretanto, define uma fórmula analítica para esse cálculo, a qual será preferencialmente empregada neste trabalho.

Publicada pelo IEEE no ano de 2002, a norma IEEE-1584 se baseia numa série de análises estatísticas que incluem agrupar os dados de diversos experimentos e, a partir de técnicas de ajuste de curvas, estabelecer expressões que otimizam os cálculos realizados.

Para além da determinação de uma distância segura, o dado de energia incidente calculado através da norma da IEEE pode ser empregado para a determinação dos EPIs. Apesar do texto original da norma não contar com uma tabela descritiva dos equipamentos a serem usados, costuma-se empregar os dados presentes na NFPA-70E, que representa a maior referência em termos de segurança das vestimentas.

Assim como outras normas, a IEEE-1584 requer a coleta de alguns dados para a realização de cálculos. Em primeiro lugar, é feito o levantamento dos dados gerais da instalação, dentre os quais se destaca a obtenção do diagrama unifilar, com a representação de todos os elementos de potência e proteção presentes. Deve-se considerar ainda a contribuição de grandes motores para as correntes de curto durante uma falta.

É necessário levantar também os modos de operação do sistema, com atenção para os casos em que o sistema é não-radial, dado que a análise e o levantamento dos dados de curto-circuito tornam-se mais complexos.

Quanto à corrente estabelecida durante a falta, além da obtenção do valor da corrente de curto para uma falta franca, cujos métodos de cálculo são bastante conhecidos, a norma prevê uma expressão que determina o valor da corrente de arco elétrico em si, já que o valor desta não é necessariamente igual ao da falta franca. A norma prevê, para sistemas que operam com tensão até 1 kV, o cálculo apresentado na equação (3) para a corrente de arco:

$$\begin{aligned} \log I_a = & K + 0,662 \log I_{bf} + 0,0966V \\ & + 0,000526G \\ & + 0,5588V(\log I_{bf}) \\ & - 0,00304G(\log I_{bf}) \end{aligned} \quad (3)$$

Para instalações com tensão entre 1 kV e 15 kV, a expressão para correntes de arco se reduz a:

$$\log I_a = 0,00402 + 0,983 \log I_{bf} \quad (4)$$

Nas equações anteriores, K representa uma constante, que vale -0,153 para ambientes abertos e -0,097 para ambientes fechados;  $I_{bf}$  representa o valor da corrente de falta trifásica original, em kA; V é a tensão do sistema, em kV; G é a distância típica entre os condutores dos equipamentos de trabalho. O valor calculado para a corrente de arco efetiva é denotado por  $I_a$ . Deve-se notar que não há fator de distinção entre ambientes fechados e abertos para a equação (4).

Em geral, as grandezas anteriores são encontradas para o estudo particular de cada sistema. Ocorre que a distância G entre os condutores pode ser estimada de acordo com a própria norma, considerando diferentes ambientes de trabalho.

Obtidas as correntes efetivas de curto, a aplicação da norma caminha para análise dos tempos de atuação da proteção do sistema e, conseqüentemente, do tempo de duração do arco. Assim como a análise do curto trifásico, o tempo de atuação da proteção deve ser calculado caso a caso. Eventualmente, considerando que não haja informações suficientes sobre os equipamentos de proteção, é possível fazer estimativas para o tempo de atuação de fusíveis e disjuntores.

Para os fusíveis, caso seja conhecido apenas o tempo de fusão, o intervalo total para atuação, durante o arco, deve ser o tempo de fusão original aumentado em 15% do seu valor, isto para um intervalo de até 0,03 s para o tempo de fusão original. Para aqueles cujo intervalo original de fusão supera 0,03 s, o tempo de atuação deve ser o intervalo acrescido de 10% do seu valor original.

Para disjuntores, recomenda-se a análise da curva de tempo de atuação, principalmente para aqueles modelos muito específicos. Entretanto, a IEEE-1584 traz alguns valores típicos para atuação dos tipos mais comuns de disjuntores, de consulta também disponível em tabelas.

Em seguida, deve-se estimar a distância de trabalho do operador aos equipamentos. A norma é bem específica em determinar que essa distância é obtida para a cabeça e o tronco do corpo humano, que são as regiões mais sensíveis. Esta informação também é obtida via leitura de tabela presente na norma.

Coletados todos os dados e, contando com o valor da corrente de arco elétrico, é possível finalmente obter os valores de energia incidente e distância de trabalho. A princípio, calcula-se uma quantidade denominada Energia Incidente Normalizada, ou  $E_n$ , que leva em conta como variável apenas o valor calculado para as correntes de arco. Os valores de distância de operação e tempo de arco são normalizados para, respectivamente, 610 mm e 200 ms. A Energia Normalizada é dada, em J/cm<sup>2</sup>, por (5):

$$\log E_n = K_1 + K_2 + 1,081 \log I_a + 0,0011G \quad (5)$$

Em que G representa a distância normalizada entre os condutores, que pode ser estimada por tabelas presentes no texto da norma.  $K_1$  representa uma constante de valor -0,792 para ambientes abertos e -0,555 para locais fechados.  $K_2$ , por sua vez, vale zero para sistemas isolados ou -0,113 para sistemas de aterramento sólido.

O cálculo final da energia incidente E é feito, em cal/cm<sup>2</sup>, com base no valor normalizado obtido a partir da equação (5). Basta aplicá-lo, em J/cm<sup>2</sup>, na expressão dada por (6):

$$E = C_f E_n \left( \frac{t}{0,2} \right) \left( \frac{610}{D} \right)^x \quad (6)$$

Onde  $C_f$  representa uma constante de valor 1,0 para tensões acima de 1 kV ou 1,5 para tensões menores de 1 kV;  $E_n$  representa a energia normalizada; t o tempo de duração da falta em segundos; D representa a distância estimada do operador a aos equipamentos, em mm; o fator x é obtido via leitura de tabela, variando para diferentes valores de D.

O último ponto de análise proposto pela norma baseia-se, finalmente, no cálculo da distância segura de operação, em mm. A norma indica neste caso uma energia de incidência máxima no operador, denotada por  $E_B$  de 5,0 J/cm<sup>2</sup> como referência; seu valor deve ser empregado conforme indicado na equação (7):

$$D_B = \left[ 4,184 C_f E_n \left( \frac{t}{0,2} \right) \left( \frac{610^x}{E_B} \right) \right]^{\frac{1}{x}} \quad (7)$$

As demais variáveis, para além da energia  $E_B$ , são as mesmas empregadas na equação (6). É importante lembrar que o valor de  $E_B$  deve ser aplicado nesta equação em J/cm<sup>2</sup> diferentemente dos valores de energia aplicados nas outras expressões, empregados em cal/cm<sup>2</sup>.

A IEEE-1584 deve ser empregada, por fim, apenas em sistemas que respeitem características como Tensão entre 208 V e 15000 V, em sistemas trifásicos de frequências entre 50 Hz e 60 Hz. A corrente de curto-circuito deve apresentar valor entre 700 A e 106 kA. O espaçamento entre condutores, por fim, deve estar entre 13 mm e 152 mm. A Tabela 2, exposta na página a seguir, apresenta uma síntese das estratégias supracitadas.

Tabela 2: Especificação dos diferentes métodos de cálculo

FONTE	LIMITAÇÕES/PARÂMETROS	VANTAGENS
NFPA-70E	- Não permite calcular Distância de Segurança analiticamente.  Calcula a Energia Incidente para arcos em sistemas trifásicos com as seguintes características: - Tensão nominal ou inferior a 600 V; - Correntes de curto-circuito entre 16 kA e 50 kA;	- Cálculos mais simplificados; - Trabalha com valor conhecido da corrente de curto; - Define categorias de risco e EPIs adequados.
IEEE-1584	- Não define categorias de risco.  Calcula a energia incidente para arcos em sistemas trifásicos com as seguintes características: - Tensão entre 208 V e 15000 V; - Frequências entre 50 e 60 Hz; - Corrente de curto entre 700 A e 16 kA; - Espaçamento entre condutores de 13 mm a 152 mm.	- Melhor especificação do valor calculado de Energia Incidente; - Permite o cálculo analítico da Distância de Segurança.

### III. ESTUDO DE CASO

A fim de que os métodos de cálculo da energia incidente possam ser comparados de forma prática, realizou-se um estudo de caso para o sistema elétrico de baixa tensão de um supermercado localizado em Uberaba, Minas Gerais.

Considerando os objetivos do estudo, foram coletadas diversas informações necessárias para o emprego dos métodos previstos pela norma, dentre os quais se destacam: potência do transformador alimentador, esquema de aterramento e tipo do elemento protetor. Segundo informação fornecida pelo técnico responsável presente no supermercado, o transformador trifásico empregado na alimentação apresenta 225 kVA de potência, sendo responsável por transformar a tensão de distribuição primária de 13800 V para 220 V, com ligação delta-estrela aterrado. Além disso, verificou-se que o esquema de aterramento empregado é o TN-S, o qual é bastante utilizado neste tipo de instalação.

A Figura 2 mostra, pela inspeção no QGBT, o emprego do disjuntor da marca WEG tipo DWP225-125-3. O disjuntor em caixa moldada do tipo DWP é responsável pela proteção contra curto-circuito e sobrecarga do sistema; para o sistema analisado, a corrente de operação do aparelho é 125 A, sua capacidade de interrupção 22 kA e a tensão nominal de Isolação 800 V, em corrente alternada [5].

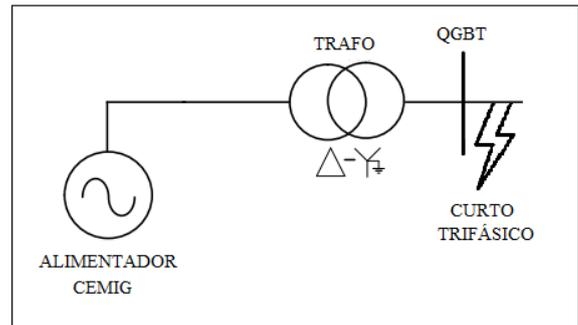
Figura 3: Disjuntor Geral do QGBT estudado



É possível considerar o sistema elétrico, do ponto de vista do consumidor, como um alimentador radial, em que a CEMIG entrega a energia ao transformador que, por sua vez, a transfere ao QGBT.

Neste caso, é razoável considerar que a única impedância relevante para a determinação do curto no Quadro Geral seria a do transformador, tomando o nível de curto-circuito da geração como infinito. Um melhor entendimento do circuito alimentador é dado pela figura 4.

Figura 4 - Diagrama unifilar simplificado do sistema



Sendo a impedância do transformador a mais relevante neste sistema, pode-se considerar uma simplificação na análise de curto-circuito.

Conhecidas a potência e a tensão nominal de um sistema elétrico trifásico, a corrente nominal pode ser estabelecida pela expressão (8) [6]:

$$I_n = \frac{S_n}{\sqrt{3}V_n} \quad (8)$$

A aplicação dos dados coletados para o sistema, considerando que se deseja obter a corrente nominal para o trecho de baixa tensão, a 220 V, resulta no seguinte valor:

$$I_n = \frac{225000}{\sqrt{3} \times 220} \rightarrow I_n = 590,47 \text{ A} \quad (9)$$

O valor encontrado denota um claro superdimensionamento do transformador quando considerada a corrente nominal do disjuntor, fato comum em instalações elétricas passíveis de expansão.

É necessário, ainda, obter uma estimativa do valor da impedância percentual do transformador, que não foi informada na coleta de dados. É possível obter uma aproximação para este valor a partir de leituras de normas nacionais, que aproximam a impedância percentual, ou a partir de tabelas empíricas que, a partir da dos grupos de potência do equipamento, estimam um valor para a impedância percentual.

Durante o presente trabalho, adotar-se á preferencialmente o segundo método, dada a prevalência de seu uso entre os engenheiros. Assim sendo, os dados necessários para a estimativa podem ser encontrados na Tabela 3, exposta na página seguinte [7]:

Tabela 3 - Estimativa da impedância percentual de transformadores

POTÊNCIA (kVA)	IMPEDÂNCIA (%)
112,5 a 150	3,0
150 a 350	3,5
350 a 630	4,0
630 a 1250	5,0
1250 a 3150	6,0
3150 a 6300	7,0
6300 a 12500	8,0

Finalmente, o valor final da corrente de curto é calculado conforme equação (10) [7]:

$$I_{cc} = \frac{I_n}{Z\%} \times 100 \quad (10)$$

Considerando o resultado obtido em (9) e aplicando em (10), a corrente de curto pode finalmente ser calculada como:

$$I_{cc} = \frac{590,47}{3,5} \times 100 \rightarrow I_{cc} = 16,87 \text{ kA} \quad (11)$$

Para o estudo que utiliza o método NFPA-70E, duas informações estão até este ponto bem determinadas, sendo elas a corrente de curto  $I$  e a distância de operação  $D$ , esta última encontrada via consulta de tabela presente no texto da norma; neste caso, a distância de trabalho é de 610 mm.

É necessário obter ainda o valor do tempo  $t_A$  de duração do arco. Para tanto, deve-se consultar a curva que descreve a relação entre tempo e corrente para atuação do disjuntor. Via tabela presente no site da WEG é possível determinar, para a corrente encontrada, um tempo de atuação do equipamento de 0,02 s [5].

Finalmente, basta converter a distância de trabalho, consultada em tabela presente no texto da norma, de milímetros para polegadas; neste caso, a distância de 610 mm corresponde 24,02 in. Aplica-se, assim, a equação (2) de energia incidente para ambientes fechados proposta pela NFPA-70E. Tem-se:

$$E_{MB} = 1038,7 \times 24,02^{-1,4738} \times 0,02(0,0093 \times 16,87^2 + -0,3453 \times 16,87 + 5,9675)$$

$$E_{MB} = 0,53 \text{ cal/cm}^2 \quad (12)$$

O valor calculado é condizente com o ambiente de trabalho, considerando um QGBT que opera a 220 V. Considerando a Tabela 1, disponibilizada pela norma, responsável por dividir os riscos do arco em faixas de energia incidente, é possível identificar a categoria de risco do trabalho que, neste caso, apresenta nível 0 ou mínimo.

Finalmente, basta recorrer à tabela 11 presente no texto da norma para que os EPIs adequados sejam especificados. Neste caso, prevê-se o uso de roupas de mangas e calças compridas, óculos de segurança, protetor auricular tipo plug e luvas de couro.

Para a aplicação do cálculo previsto pela IEEE-1584 o primeiro passo baseia-se em calcular a corrente de arco através do valor de curto franco. Para tanto, para além das informações já coletadas, basta consultar tabela presente no texto da norma para que se obtenha a distância de referência entre os condutores, neste caso de valor 32 mm. Basta, em seguida, aplicar a expressão dada pela Equação 3:

$$\log I_a = 0,78 \rightarrow I_a = 10^{0,78}$$

$$I_a = 6,09 \text{ kA} \quad (13)$$

Com o valor obtido em (13), pode-se obter a energia normalizada  $E_n$ , a partir do uso da equação (5). Assim, tem-se, considerando as constantes K1 e K2 adequadas ao estudo:

$$\log E_n = 0,22 \rightarrow E_n = 10^{0,22}$$

$$E_n = 1,64 \text{ J/cm}^2 \quad (14)$$

O cálculo de  $E$  envolve o tempo de duração do arco que para este caso, conforme método aplicado anteriormente, é de 0,02s. Finalmente, aplicando a equação (6) e considerando os dados tabelados na norma, tem-se:

$$E = 1,5 \times 1,64 \left(\frac{0,02}{0,2}\right) \left(\frac{610}{610}\right)^{1,473}$$

$$E = 0,25 \text{ cal/cm}^2 \quad (15)$$

O valor de energia incidente obtido pelo segundo método exibe valor menos conservador do que o obtido pelo primeiro. Caso este valor fosse considerado para a determinação da categoria de risco da operação, o resultado obtido via leitura da Tabela 1 seria o mesmo em relação anterior.

Seria previsto, neste caso, o uso de roupas de mangas e calças compridas, óculos de segurança, protetor auricular tipo plug e luvas de couro.

O cálculo da distância segura, por sua vez, pode ser realizado através do uso da equação (7), como exposto a seguir:

$$D_B = \left[ 4,184 \times 1,5 \left(\frac{0,02}{0,2}\right) \left(\frac{610^{1,473}}{5}\right) \right]^{\frac{1}{1,473}}$$

$$D_B = 163,99 \text{ mm} \quad (16)$$

Este resultado é interessante, pois mostra que a distância segura para suportar o arco encontra-se dentro da zona de trabalho típica de um trabalhador, como especificado pela própria norma.

É importante lembrar que, segundo a definição de distância segura, uma pessoa exposta ao arco a uma distância menor que a especificada, caso não tenha EPI, pode apresentar queimaduras de até segundo grau.

#### IV. CONCLUSÕES

O desenvolvimento do presente trabalho permitiu identificar como ocorreu a evolução dos estudos sobre o arco elétrico ao longo do tempo. Viu-se ainda que os itens elencados na NR-10 são deficitários em definir estratégias de análise para os arcos. Neste sentido, a aplicação de normas internacionais, com destaque para a NFPA-70E e a IEEE-1584 foi considerado ao longo do trabalho, com especificação detalhada do processo de desenvolvimento teórico de cada uma delas.

Percebeu-se, também, que o fenômeno do arco apresenta diferentes especificidades em termos de local de ocorrência no sistema elétrico e estratégias de proteção, o que o torna uma ocorrência muito particular, quando comparado ao choque elétrico, por exemplo. Assim, a constante revisão bibliográfica do fenômeno por parte dos agentes do sistema elétrico mostra-se bastante necessária.

Os dados obtidos com o estudo de caso mostram, por sua vez, as particularidades do modo de aplicação de cada uma das normas consideradas, com um cálculo prático que resultou em valores de energia incidente condizentes com o esperado pelo ambiente de trabalho e da previsão teórica, contribuindo para a confiabilidade de aplicação dos mesmos.

É comum, por exemplo, que a aplicação das normas para regiões de baixa tensão resulte em valores de energia incidente segundo a norma NFPA-70E que valem aproximadamente o dobro daqueles obtidos via IEEE-1584 [8]. Essa relação foi observada também no presente trabalho.

Além dos resultados elencados nesta conclusão, recomenda-se para trabalhos futuros a constante revisão dos meios de aplicação das normas responsáveis por definir a energia incidente dos arcos elétricos, por meio da aplicação de softwares, por exemplo, a fim de que os operadores do sistema elétrico estejam familiarizados com as técnicas de proteção a um fenômeno tão potencialmente perigoso como o arco elétrico.

#### REFERÊNCIAS

- [1] MARDEGAN, C.; PARISE, G. **Capítulo 1 – Estudos de Arco Elétrico – Cálculo de Energia Incidente**. O Setor Elétrico, 2018. Disponível em: <http://www.osetoelettrico.com.br/wp-content/uploads/documentos/fasciculos/Ed-144-Fasc%C3%ADculo-Capitulo-I-Protacao-contra-arco-eletrico.pdf>. Acesso em: 15 nov. 2020
- [2] LEE, Ralph H. **The Other Electrical Hazard: Electric Arc Blast Burns**. *IEEE Transactions on Industry Applications*, v. IA-18, 3 ed., p. 246–251, 1982
- [3] QUEIROZ, A.; SENGER, E. **Capítulo 4: A NFPA-70E e os Métodos para cálculo de Energia Incidente**. O Setor Elétrico, 2012. Disponível em: [http://www.osetoelettrico.com.br/wp-content/uploads/documentos/fasciculos/Ed75\\_fasc\\_arco\\_elet\\_rico\\_cap4.pdf](http://www.osetoelettrico.com.br/wp-content/uploads/documentos/fasciculos/Ed75_fasc_arco_elet_rico_cap4.pdf). Acesso em: 25 nov. 2020

[4] IEEE. **Guide for Performing Arc-Flash Hazard Calculations**. em *IEEE Std 1584-2018 (Revisão da IEEE Std 1584-2002)*, vol., no., pp.1-134, 30 nov. 2018.

[5] WEG. **Disjuntores em caixa moldada DWP**. 2020. Disponível em: [https://www.weg.net/catalog/weg/BR/pt/Automa%C3%A7%C3%A3o-e-Controle-Industrial/Controls/Prote%C3%A7%C3%A3o-de-Circuitos-El%C3%A9tricos/Disjuntores/Caixa-Moldada/Disjuntores-em-Caixa-Moldada-DWP/Disjuntores-em-Caixa-Moldada-DWP/p/MKT\\_WDC\\_BRAZIL\\_MOLDED\\_CASE\\_CIRCUIT\\_BREAKERS\\_DWP](https://www.weg.net/catalog/weg/BR/pt/Automa%C3%A7%C3%A3o-e-Controle-Industrial/Controls/Prote%C3%A7%C3%A3o-de-Circuitos-El%C3%A9tricos/Disjuntores/Caixa-Moldada/Disjuntores-em-Caixa-Moldada-DWP/Disjuntores-em-Caixa-Moldada-DWP/p/MKT_WDC_BRAZIL_MOLDED_CASE_CIRCUIT_BREAKERS_DWP). Acesso em: 07 dez.2020

[6] BOYLESTAD, R. L. **Introdução à Análise de Circuitos**. Prentice Hall/Pearson, 10ª. Ed, 2004.

[7] OLIVEIRA, D. **Riscos Elétricos. Uma abordagem sobre arco elétrico e estudo de caso**. Trabalho de Conclusão de Curso – Ijuí. Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul. Disponível em: <https://bibliodigital.unijui.edu.br:8443/xmlui/bitstream/handle/123456789/6849/Dandara%20de%20Oliveira.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 17 nov. 2020

[8] MATUMOTO, Keide. **Tópicos Especiais – NR-10 – Segurança em Instalações e Serviços em Eletricidade – Parte 2**. Disponível em: <https://www.dropbox.com/sh/wi5xshbtp0nxxwc/AAD4xkIMuL9bPB22IeWKOMla/keide%20matumoto%202/Seguran%C3%A7a%20em%20Instala%C3%A7%C3%B5es/nr10parte2.pdf?dl=0>. Acesso em: 06 dez.2020