



GRUPO DE ESTUDO DE DESEMPENHO DE SISTEMAS ELÉTRICOS - GDS

ENERGIA INCIDENTE DO ARCO ELÉTRICO E LIMITE SEGURO DE APROXIMAÇÃO – O DESAFIO DAS EMPRESAS DO SETOR ELÉTRICO E INDUSTRIAL NA PROTEÇÃO DOS TRABALHADORES.

**LUIZ HENRIQUE ZAPAROLI(1); LUCIANO BORGES PIVA(1)
FURNAS-CENTRAIS ELETRICAS S.A.(1)**

RESUMO

Este artigo apresenta o trabalho desenvolvido pela Eletrobrás Furnas para realização dos estudos sobre energia incidente de arco elétrico e limite seguro de aproximação. A confecção destes estudos, orienta a especificação das vestimentas resistentes a chamas, atende as exigências normativas, evita a autuação, multa e sanções dos órgãos fiscalizadores bem como agravamento da situação das empresas/empregadores em caso de acidentes. Para solução desta questão foi desenvolvido o software CEI ARC dedicado a este tipo de estudo, permitindo o cálculo de energia incidente do limite seguro de aproximação, emissão de relatórios e geração automática das placas de identificação

PALAVRAS-CHAVE

Arco Elétrico, Energia Incidente, Segurança, Software, Vestimenta FR

1.0 INTRODUÇÃO

Desde a publicação da revisão da Norma Regulamentadora 10 – Segurança em Instalações e Serviços com Eletricidade, ocorrida em 2004, muito tem-se falado e discutido a respeito do cálculo da energia incidente do arco elétrico e do limite ou distância segura de aproximação. Isto deve-se à introdução do item “10.2.9.2 As vestimentas de trabalho devem ser adequadas às atividades, devendo contemplar a condutibilidade, inflamabilidade e influências eletromagnéticas. Nota-se que no texto da Norma Regulamentadora, quando se fala de inflamabilidade, deixa claro a necessidade de utilização das vestimentas FR (resistente a chamas) para os profissionais que intervêm no sistema elétrico, sejam eles nas empresas de energia ou setores industriais.

Entretanto, a garantia da eficácia da proteção da vestimenta depende não somente da qualidade deste Equipamento de Proteção Individual - EPI, mas também da sua correta especificação. Neste caso, a correta especificação está na escolha de vestimenta cujo ATPV (Arc Thermal Performance Value) seja maior que o valor da energia incidente calculada para o ponto da instalação onde se deseja intervir. Dado ao exposto, fica evidente a necessidade de se obter o cálculo da energia incidente para todos os pontos passíveis de intervenção nas instalações que tenham risco de incidência de arco elétrico. Além disto, é necessário um cálculo diferenciado para mesma instalação quando de intervenções para diferentes propósitos (aterramento, manutenção, manobra etc). Tal fato fica mais explícito no novo texto proposto para a nova revisão da NR-10 que acaba de passar por consulta pública, sendo: “10.5.2 A organização deve adotar medidas de proteção coletiva contra arcos elétricos atendendo as condições prescritas no item 10.5.1 e a utilização de um ou mais dos seguintes meios: h) operação da instalação a uma distância segura, de acordo com o Limite de Aproximação Segura (LAS) definido por meio de cálculo da energia incidente adequada para cada cenário de atividade, conforme as normas técnicas oficiais estabelecidas pelos órgãos competentes e, somente no caso de ausência ou omissão destas, as normas internacionais cabíveis.

Dado aos fatos elencados anteriormente, era de se esperar que todas as empresas do setor de energia bem como as do setor industrial já tivessem equacionado e resolvido este problema, entretanto, em uma breve pesquisa entre as empresas do setor percebe-se que a realidade é bem diferente do que se espera e que em muitos casos o assunto não foi tratado com a importância que é necessária. Tal fato deve-se a complexidade destes estudos bem como o alto investimento necessário para realização dos mesmos. Neste sentido, o desenvolvimento do software CEI –ARC vem para atender toda esta demanda

2.0 POR QUE CALCULAR?

Expandindo a análise sobre o tema, podemos concluir que além da obrigatoriedade técnica (para a correta especificação das vestimentas FR) e legal (atendimento a NR10) existem outros aspectos relevantes que podem e devem ser levados em consideração sobre os benefícios de se realizar o cálculo e estudo com relação a energia incidente e limite seguro de aproximação sendo estes:

Com relação a segurança:

Identificação dos equipamentos e instalações com placas de sinalização, indicando o valor de energia incidente calculado para tarefas específicas (exemplo manobra ou aterramento) com suas respectivas distancias de trabalho a serem consideradas. Esta sinalização evita a utilização pelo trabalhador de uma vestimenta com ATPV menor que a energia incidente calculada

Identificação dos equipamentos e instalações com placas de sinalização, indicando o valor do limite seguro de aproximação, evitando que os trabalhadores se posicionem em distâncias menores que o limite calculado sem as vestimentas de proteção adequada.

Possibilidade de modificação na instalação ou procedimentos de trabalho em pontos da instalação onde se deseja reduzir o valor resultante do cálculo da energia incidente. Nestes casos pode se promover uma modificação, por exemplo, nos ajustes de proteção com vistas a diminuir o tempo de atuação, ou mesmo a substituição do bastão de aterramento por um de maior dimensão aumentando a distância de trabalho. Com estas adaptações/modificações é possível evitar na maioria dos casos, por exemplo, a necessidade de utilização de uma vestimenta classe 4.

Com relação a fiscalização:

Evita a autuação, multa e sanções dos órgãos fiscalizadores.

Evita o agravamento da situação das empresas e empregadores em caso de acidentes envolvendo arco elétrico.

Com relação ao retorno financeiro:

Permite economia na aquisição das vestimentas anti-chamas FR visto que a correta especificação impede o sobredimensionamento das mesmas, bem como as adequações nas instalações e procedimentos podem evitar a necessidade de aquisição de vestimentas com um maior índice de proteção e consequentemente com maior custo. Nos casos em que a própria empresa detém os recursos para realizar os cálculos em todas suas instalações, um investimento inicial pode reduzir drasticamente o gasto com a compra destes estudos para cada instalação individualmente.

Empresas que detenham o "know-how" neste tipo de estudo podem promovê-los não somente para suas instalações, mas também vender consultoria destes para demais empresas do setor de energia/indústria

No caso em que a empresa faça a opção por desenvolver ou adquirir um software para o cálculo da energia incidente e limite seguro de aproximação, conforme descrito no Manual de Controle Patrimonial do Setor Elétrico MPCSE o investimento em softwares pode ser incluso como unidade de cadastro UC e consequentemente entrarem na base de remuneração regulatória e ser reconhecida durante a revisão tarifária.

3.0 METODOLOGIAS UTILIZADAS

Dentre as metodologias utilizadas pelo software CEI ARC para o cálculo da energia destacam se: IEEE Std 1584 – 2018 - IEEE Guide for Performing Arc – Flash Hazard Calculations – para tensões AC entre 208 e 15000 V, NESC C2 2017 e OSHA 1910.269 App E – para tensões AC maiores de 15000 V, Maximum Power Method, extraído da NFPA – National Fire Protection Association - NFPA 70E - 2018 Annex D – Incident Energy and Arc Flash Boundary calculation methods. – Para tensões DC até 600V.

Para as tensões AC acima de 15.000 V e tensões DC até 600 V as metodologias citadas acima apresentam uma forma bem simples de se chegar aos valores de Energia Incidente e Limite Seguro de Aproximação. Assim sendo, a dificuldade fica por conta da IEEE 1584, que em sua última atualização de 2018 modificou praticamente a totalidade da forma dos cálculos provendo um método mais próximo dos resultados de uma grande quantidade de ensaios realizados durante o desenvolvimento da nova metodologia. Por outro lado, o preço desta maior proximidade com a realidade foi uma mudança que tornou mais trabalhoso o levantamento de dados, bem como tornou mais complexa a realização dos cálculos. Este fato, com certeza torna o cumprimento deste requisito ainda mais difícil para as empresas, ao mesmo tempo que gera uma oportunidade de reiniciarmos o tratamento do assunto procurando soluções que ajudem as empresas a solucionar o problema.

4.0 A SOLUÇÃO - O SOFTWARE CEI-ARC

Com base em tudo que foi exposto neste artigo não resta dúvida com relação a importância e os benefícios das empresas em realizar estes cálculos/estudos. Dada a complexidade e a quantidade destes cálculos não há como projetarmos uma solução que não seja uma ferramenta computacional.

O ideal é que esta ferramenta tenha uma Interface Homem Máquina - IHM amigável, seja dedicada a este tipo de estudo, esteja em português e permita entre outras funções:

Cálculo para tensões entre 0,208 até 15 kV AC, acima de 15kV AC e até 600 V DC.

Cálculo para mais de uma configuração de eletrodos para um mesmo equipamento.

Recálculo para um mesmo equipamento após modificação na instalação e/o ou procedimento.

Emissão de relatórios por equipamento, por instalação e geração automática das placas de identificação.

Opção ao usuário de eliminar do relatório final resultados que não representam mais a condição do equipamento e/ou instalação (ex.: cálculo antigo após a modificação do nível de curto-circuito da instalação).

Esta solução existe e já está na sua segunda versão. O software em questão é denominado CEI- -ARC

A utilização do CEI ARC é bem simples, sendo que após o cadastro de equipamento objeto do cálculo na primeira tela de entrada de dados, a primeira informação requerida pelo software é o nível de tensão do equipamento. Utilizando esta informação o CEI-ARC automaticamente direciona este cálculo para a metodologia adequada.

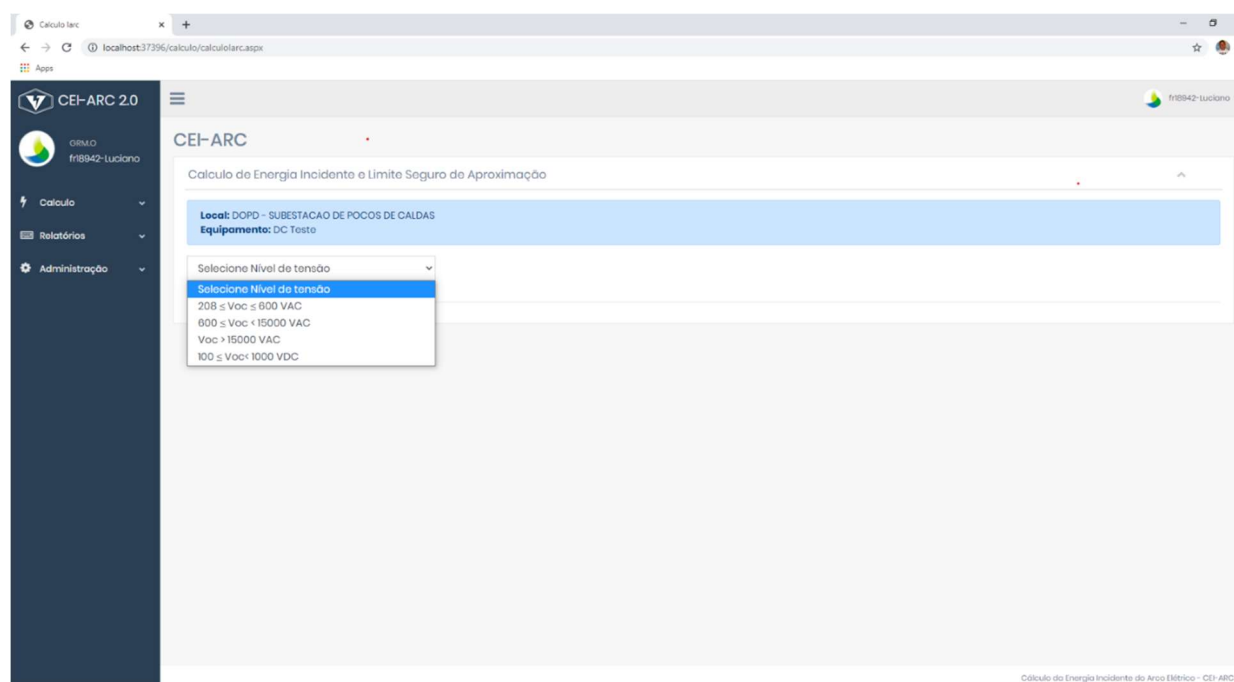


FIGURA 1 – Tela de entrada de dados (Tensão Nominal/Definição da metodologia)

Após a escolha da metodologia, para a IEEE-1584 o usuário é direcionado ao cálculo das correntes de arco e corrente de arco mínimo (I_{arc} e I_{arc min}), para os demais casos o direcionamento já é para o cálculo da energia incidente e o limite seguro de aproximação. Em ambos os casos o software indica quais dados devem ser inseridos para a realização dos cálculos

CEI-ARC 2.0

CEI-ARC

Calculo de Energia Incidente e Limite Seguro de Aproximação

Local: DOPD - SUBESTACAO DE POÇOS DE CALDAS
Equipamento: EQUIP ANEXO D1 IEEE1584

600 ≤ Voc < 15000 VAC

Configuração de Eletrodo: VCB

Tensão Nominal: 4,16

Corrente de Curto: 15

Distância Fase: Dados digitados pelo usuário

Distância Fase: 104

Tempo TAP

Valor em (mm)

Tempo de varredura da proteção + tempo de atuação do D (ms)

Calcular IARC

FIGURA 2 – Tela de entrada de dados para cálculo das correntes de arco IARC e IARCMIN – IEEE1584-2018

Após realizar todos os cálculos de IARC o usuário poderá realizar o cálculo da energia incidente e limite seguro de aproximação através da entrada de dados mostrada na figura 3

CEI-ARC 2.0

CEI-ARC

Calcular Energia Incidente e Distância Segura de Aproximação

Equipamento: EQUIP ANEXO D1 IEEE1584
Tensão Nominal: 4,16
IARC: 12,979470837

Corrente Curto: 15,00
IARC Min: 12,675283961

Data: 16/09/2021
Distância Fase: 104,00

Dimensões cubículo

Largura: Valor em (milímetros mm)

Altura: Valor em (milímetros mm)

Profundidade: Valor em (milímetros mm)

Valor de Tíarc: Valor em (milissegundos ms)

Valor de Tíarc Min: Valor em (milissegundos ms)

Selecione uma opção

Selecione uma atividade


Dist. Trabalho: Valor em (milímetros mm)

Calcular Fechar

FIGURA 3 – Tela de entrada de dados para cálculos de E/LSA para metodologia da IEEE1584

Como resultado dos cálculos o CEI –ARC emite automaticamente um relatório com todos os valores considerados válidos pelo usuário como mostra a figura 4, além disto também é gerada automaticamente a placa de identificação daquele equipamento no que se refere a energia incidente como pode ser verificado na figura 5. Outra funcionalidade existente no software a plotagem gráfica da energia incidente calculada em razão da distância de trabalho com relação ao ponto de ignição do arco elétrico como mostra a figura 6

Por fim, além dos relatórios individuais por equipamento também é possível a impressão e exportação para o software excel de relatório por local, onde estão inclusos todos os cálculos de uma determinada instalação.



Relatório Cálculo de Energia Incidente e LSA

Departamento:	GRM.O-GERENCIA DE PRODUCAO MINAS
Local:	SUBESTACAO DE POCOS DE CALDAS
Relatório Gerado por:	fr18942
Data do relatório:	26/01/2021

Equipamento:	PAINEL PRINCIPAL 480V SETOR 345KV
Tensão Nominal:	0,480 kV
Corrente de Curto Circuito Trifásico:	6,70 kA
Dimensões do cubículo:	L: 399,00, A: 220,00, P: 87,00

Resultados

Atividade:	Manobra
Energia Incidente:	33,108 cal/cm
Limite Seguro de aproximação (LSA):	1537,64 mm
Distância de Trabalho:	300,00 mm

Atividade:	Aterramento
Energia Incidente:	2,368 cal/cm
Limite Seguro de aproximação (LSA):	1537,64 mm
Distância de Trabalho:	1100,00 mm

Atividade:	Deteção de tensão
Energia Incidente:	2,368 cal/cm
Limite Seguro de aproximação (LSA):	1537,64 mm
Distância de Trabalho:	1100,00 mm

Atividade:	Inspeção
Energia Incidente:	0,704 cal/cm
Limite Seguro de aproximação (LSA):	1537,64 mm
Distância de Trabalho:	2000,00 mm

Zona Controlada NR10:	0,70 m
Zona de Risco NR10:	0,20 m




FIGURA 4 - Relatório de energia incidente e limite Seguro de aproximação E/LSA- Por equipamento



FIGURA 5 – Placa de identificação de equipamento

Gráfico de energia incidente calculada (cal/cm² - eixo Y) por distância do ponto de ignição do arco elétrico (mm- eixo X)

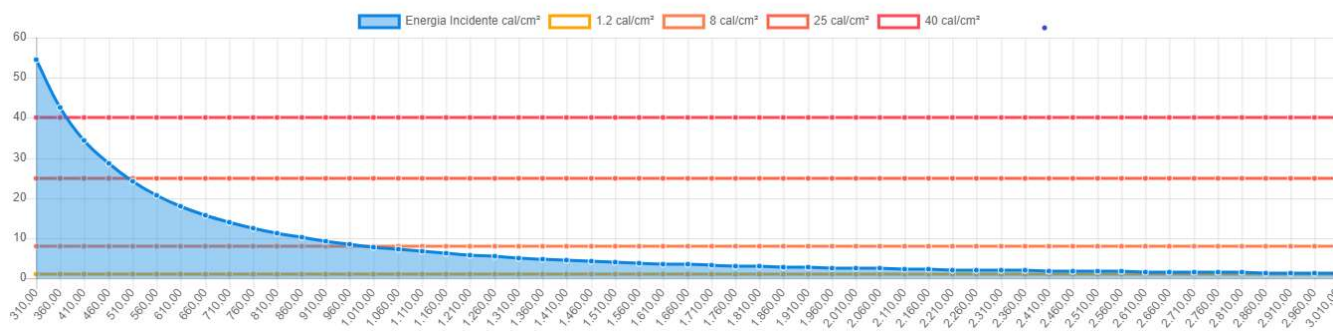


FIGURA 6 – Gráfico energia incidente x ponto de ignição do arco elétrico

5.0 CONCLUSÃO

O software CEI-ARC versão 2021 se mostrou eficaz no cálculo da energia incidente bem como do limite seguro de aproximação de arco elétrico. A facilidade na execução dos cálculos, e a IHM amigável do CEI-ARC permite ao usuário, de posse dos dados necessários, calcular rapidamente a energia incidente.

Com isto, as empresas poderão realizar seus próprios cálculos de energia incidente sem a necessidade de contratação de empresa externa, e sem a uma grande demanda de HH o que acarretara uma redução significativa dos custos.

Além disto, outra redução nos custos poderá ser conseguida através da especificação das vestimentas FR compatíveis com os níveis de cal/cm² obtidos nos cálculos.

Por fim com os cálculos executados, pode se indicar a vestimenta FR correta a ser utilizada em cada equipamento para cada atividade e além, disto permitirá as empresas verificar a viabilidade de mudança em dispositivos, ferramentas ou mesmo procedimentos, visando adequar os resultados dos cálculos,

6.0 BIBLIOGRAFIA

(1) INSTITUTE OF ELECTRICAL AND ELECTRONICS ENGINEERS - IEEE - IEEE Std 1584 – 2018 - IEEE Guide for performance Arc Flash Hazard Calculations

(2) INSTITUTE OF ELECTRICAL AND ELECTRONICS ENGINEERS - IEEE - IEEE2-2017 National Electric Safety Code-NESC

(3) OSHA –OCCUPATIONAL SAFETY AND HEALTH ADMINISTRATION OSHA 1910.269 App E – Protection from Flames and Electric ARCS.

(4) NFPA – NATIONAL FIRE PROTECTION ASSOCIATION - NFPA 70E - 2018 Annex D – Incident Energy and Arc Flash Boundary Calculation Methods

(5) ZAPAROLI, LUIZ HENRIQUE ; PIVA, LUCIANO BORGES, Desenvolvimento do software CEI ARC para cálculo da Energia Incidente dos Arcos Elétricos versão 2018, 2018, Eletrobras Furnas

DADOS BIOGRÁFICOS



(1) LUIZ HENRIQUE ZAPAROLI Engenheiro Eletricista formado pela Universidade Federal de Engenharia de Itajubá - UNIFEI e Engenheiro de Segurança no trabalho pela Universidade Estadual de Minas Gerais UEMG , com pós graduação em Especialização em Manutenção de Sistemas Elétricos de Potência pela Universidade Federal de Engenharia de Itajubá - UNIFEI e MBA em Marketing e Gestão de Equipes pela Universidade Cândido Mendes. Funcionário da Empresa Eletrobrás Furnas desde dezembro de 2004, atua nos setores de geração e transmissão de energia elétrica desde julho de 2001 e como desenvolvedor de software e soluções integradas para segurança no trabalho desde 2018.

(2) LUCIANO BORGES PIVA Analista de Sistemas formado em Ciências da Computação pela PUC MINAS - Poços de Caldas Pós-graduado em Engenharia de Software e Sistemas Distribuídos, cursando Pós-graduação em Estatística Aplicada. Funcionário da Empresa Eletrobrás Furnas desde fevereiro de 2002, atuando nos setores de geração e transmissão como supervisor de rede e analista de sistemas. Experiência de 9 anos como professor de Algoritmos e técnicas de programação entre outras disciplinas na área nos cursos de Engenharia da Faculdade Pitágoras.