

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
DE MINAS GERAIS – CAMPUS AVANÇADO IPATINGA
BACHARELADO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

Kaique Bryan Costa Souza Reis
Tulio Freitas Rodrigues

**ANÁLISE COMPARATIVA SOBRE A ADEQUAÇÃO DA SEGURANÇA DE UM
SISTEMA ELÉTRICO REFERENTE A NORMA IEEE 1584 DE 2002 E 2018**

Ipatinga
2024

KAIQUE BRYAN COSTA SOUZA REIS
TULIO FREITAS RODRIGUES

**ANÁLISE COMPARATIVA SOBRE A ADEQUAÇÃO DA SEGURANÇA DE UM
SISTEMA ELÉTRICO REFERENTE A NORMA IEEE 1584 DE 2002 E 2018**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao
Curso Bacharelado em Engenharia Elétrica do
Instituto Federal de Minas Gerais – Campus
Avançado Ipatinga para obtenção do grau de
Bacharel em Engenharia Elétrica.
Orientador: Felipe Antunes

Ipatinga
2024

R347a Reis, Kaique Bryan Costa Souza; Rodrigues, Tulio Freitas.

Análise comparativa sobre a adequação da segurança de um sistema elétrico referente à norma IEEE 1584 de 2002 e 2018. Kaique Bryan Costa Souza Reis; Tulio Freitas Rodrigues. – 2024.

70f.;il.

Orientador: Felipe Antunes.

Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Elétrica) – Instituto Federal de Minas Gerais. *Campus Ipatinga*, 2024.

1. Energia incidente. 2. Arco elétrico. 3. Institute of Electrical and Electronics Engineers. I. Antunes, Felipe. II. Instituto Federal de Minas Gerais - *Campus Ipatinga*. III. Título.

CDD 333.7932

Catálogo: Rejane Valéria Santos - CRB-6/2907

Kaique Bryan Costa Souza Reis

Tulio Freitas Rodrigues

**ANÁLISE COMPARATIVA SOBRE A ADEQUAÇÃO DA SEGURANÇA DE UM
SISTEMA ELÉTRICO REFERENTE A NORMA IEEE 1584 DE 2002 E 2018**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao
Curso Bacharelado em Engenharia Elétrica do
Instituto Federal de Minas Gerais – Campus
Avançado Ipatinga para obtenção do grau de
Bacharel em Engenharia Elétrica.

Aprovado em: 22 / 05 / 2024 pela banca examinadora:

Prof. Felipe Antunes – IFMG (Orientador)

Prof. Luciano Silva – IFMG - Ipatinga

Prof. Ronaldo – IFMG - Ipatinga

RESUMO

As queimaduras por energia incidente de arco elétrico são um dos riscos à segurança dos trabalhadores nos sistemas elétricos industriais. Por ser uma fonte de alta intensidade de calor, o arco elétrico pode causar inúmeros danos às instalações e aos trabalhadores, que por ventura, entrem em contato com a energia incidente liberada no momento. Diversas variáveis implicam no impacto dessa energia a algum equipamento ou trabalhador, e elas estão relacionadas à estrutura física do sistema até a vestimenta de proteção utilizada por quem lida com esse tipo de perigo. Esse trabalho de conclusão de curso tem como objetivo simular um sistema em exposição a energia incidente, provida por arco elétrico. Será feita uma comparação das normas IEEE 1584-2002 e IEEE 1584-2018, visando estabelecer os parâmetros que foram revisados e alterados após a atualização da norma. Para redundância e conferência, utilizaremos dois softwares no cálculo dessa energia: o Matlab e o ETAP.

Palavras-chave: IEEE. Energia incidente. Arco elétrico.

ABSTRACT

Burns caused by electric arc incident energy are one of the safety risks for workers in industrial electrical systems. As it is a source of high heat intensity, the electric arc can cause considerable damage to facilities and workers, who may come into contact with an energy incident released at the time. Several variables do not imply an impact of energy on any equipment or worker, and they are related to the physical structure of the system down to the protective clothing used by those dealing with this type of danger. This course completion work aims to simulate a system exposed to an energy incident, supplied by an electric arc. It will be a comparison of the IEEE 1584-2002 and IEEE 1584-2018 standards, replacing the provisions that were revised and changed made after the standard update. For redundancy and checking, we will use two software programs to calculate this energy: Matlab and ETAP.

Keywords: IEEE. Incident energy. Electric arc.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - O comportamento geral de um arco.....	14
Figura 2 -Parâmetros configurados no <i>Arc Flash Calculator</i>	33
Figura 3 - App desenvolvido para cálculo da energia incidente.....	34
Figura 4 - Parâmetros configurados no Matlab App.	35
Figura 5 - Resultado da simulação no Matlab App e ETAP para IEEE – 2002.....	36
Figura 6 - Representação das distâncias desde o arco até o AFB e energia incidente liberada pela distância.	37
Figura 7 - Resultado da simulação no Matlab App e ETAP para IEEE – 2018.....	38
Figura 8 - Representação das distâncias desde o arco até o AFB e energia incidente liberada pela distância.	39
Gráfico 1 - Número de mortes decorrentes de choques elétricos no Brasil por profissão entre 2013 e 2023.	10

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Especificação dos Equipamentos de Proteção Individual em função das Categorias de Risco conforme a NFPA 70E.	16
Tabela 2 - Vestimentas de Proteção e Equipamentos de Proteção Individual (EPI) conforme a categoria de risco.	16
Tabela 3 - Comparação das características da IEEE 1584 2002 e 2018.....	18
Tabela 4 - Distância típica de trabalho conforme a classe do equipamento.....	21
Tabela 5 - Fatores para equipamentos e classes de tensão.	21
Tabela 6 - Correlação entre o equipamento e a configuração dos eletrodos.	23
Tabela 7 - Coeficientes utilizados na Equação 6.....	25
Tabela 8 - Coeficientes usados na Equação 11.....	26
Tabela 9 - Coeficientes usados nas equações 14 e 15.	28
Tabela 10 - Coeficientes usados nas Equações 16, 17, 18 e 19.....	29
Tabela 11 - Cálculo da diferença percentual entre os resultados dos softwares na versão de 2002.	37
Tabela 12- Cálculo da diferença percentual entre os resultados dos softwares na versão de 2018.	39
Tabela 13 - Cálculo da diferença percentual entre os resultados dos softwares na versão de 2018 (Sistema 2).....	40
Tabela 14 - Cálculo da diferença percentual entre os resultados dos softwares na versão de 2018 (Sistema 3).....	40
Tabela 15 - Resultados das simulações.	41

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AFB - *Arc Flash Boundary*

ATPV - *Arc Thermal Performance Value*

CCM – Centro de Controle de Motores

EPI - Equipamento de Proteção Individual

HCB - *Horizontal conductors/electrodes inside a metal box/enclosure*

HOA - *Horizontal conductors/electrodes in open air*

IARC – Corrente de arco

IBF – Corrente de falta branca

IEEE - *Institute of Electrical and Electronics Engineers*

LAB - *Limited Approach Boundary*

MTP – Ministério do Trabalho e Previdência

NFPA - *National Fire Protection Association*

NR – Norma Regulamentadora

RAB - *Restricted Approach Boundary*

SEESP - Sindicato dos Engenheiros no Estado de São Paulo

TC - Transformador de Corrente

VCB - *Vertical conductors/electrodes inside a metal box/enclosure*

VCBB - *Vertical conductors/electrodes terminated in an insulating barrier inside a metal box/enclosure*

VOA - *Vertical conductors/electrodes in open air*

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	10
1.1.	Apresentação.....	10
1.2.	Justificativa	11
1.3.	Objetivos do estudo	11
1.3.1.	Objetivos Gerais:.....	11
1.3.2.	Objetivos Específicos:	11
1.4.	Limitações do estudo	12
1.5.	Estrutura do trabalho	12
2.	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	13
2.1.	O arco elétrico.....	13
2.2.	Segurança.....	14
2.3.	EPIs.....	15
2.3.1.	Especificação do EPI.....	16
2.4.	Normas	18
2.5.	IEEE 1584 – 2002	19
2.6.	IEEE 1584 – 2018	22
3.	DESENVOLVIMENTO	32
3.1.	Software ETAP 19.0.1	32
3.2.	Matlab	32
3.3.	Estudo de caso.....	32
3.4.	Configuração do sistema.....	33
3.4.1.	ETAP	33
3.4.2.	Matlab	33
4.	SIMULAÇÃO E ANÁLISE DE DADOS	36
4.1.	Análise de dados IEEE-1584 (2002).....	36

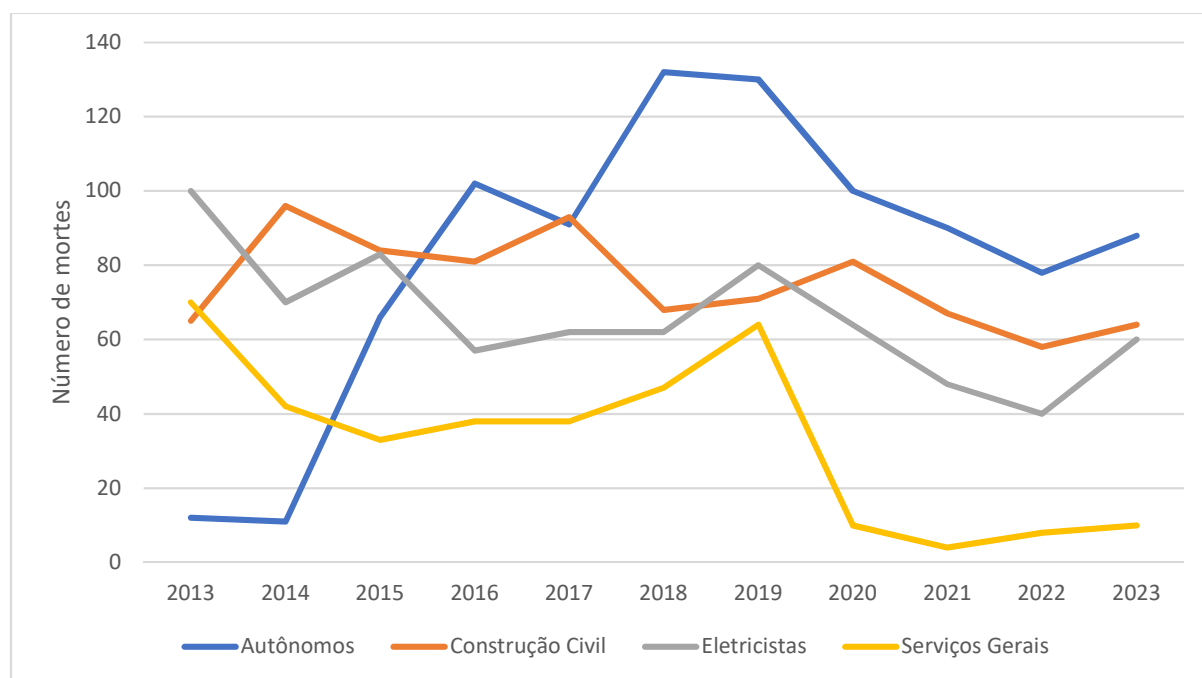
4.2.	Análise de dados IEEE-1584 (2018).....	38
4.3.	Consistência dos resultados	39
4.4.	Comparação dos dados	40
5.	CONCLUSÃO	42
	REFERÊNCIAS	43
	APÊNDICE A – Código Desenvolvido no Matlab App	45

1. INTRODUÇÃO

1.1. Apresentação

Os trabalhos realizados em média ou alta tensão expõem, a todo instante, os profissionais da área elétrica ao risco de morte. De acordo com o Sindicato dos Engenheiros no Estado de São Paulo (SEESP), em concessionárias de energia, morrem cerca de 70 profissionais por ano (Silveira, 2017). Considerando a grande rede industrial brasileira, esse número representa uma pequena parcela dos acidentes envolvendo eletricidade devido à subnotificação dos acidentes ocorridos com eletricidade, o que pode ser observado nos dados coletados do Anuário Estatístico de Acidentes de Origem Elétrica de 2024 da ABRACOPEL, apresentados no Gráfico 1 abaixo, as mortes por trabalhadores da construção civil e eletricitas sofrem menos variação do que os autônomos e serviços gerais.

Gráfico 1 - Número de mortes decorrentes de choques elétricos no Brasil por profissão entre 2013 e 2023.



Fonte: Adaptado de Martinho et al, 2024, p.73.

Visando a grande importância da aplicação de medidas de controle para mitigar os riscos em atividades com eletricidade, foram criadas normas regulamentadoras, tais como a Norma Regulamentadora (NR) 10 “Segurança em Instalações e Serviços em Eletricidade” e NR 6 “Equipamento de Proteção Individual – EPI”.

Os métodos para realização do cálculo de energia incidente (energia gerada em consequência ao arco elétrico) vêm evoluindo ao passar dos anos, porém, o Brasil ainda não possui uma legislação vigente que trata deste tema. A NR-10 não apresenta especificações sobre

medidas de controle para os riscos referentes ao arco elétrico, desta forma ela direciona para as normas internacionais, conforme definido em seu item 10.1.2:

Esta NR se aplica a todas as fases de geração, transmissão, distribuição e consumo, incluindo as etapas de projeto, construção, montagem, operação, manutenção das instalações elétricas e quaisquer trabalhos realizados nas suas proximidades, observando-se as normas técnicas oficiais estabelecidas pelos órgãos competentes e, na ausência ou omissão destas, as normas internacionais cabíveis (NR-10, 2004, p.1).

Atualmente, uma das metodologias mais conceituadas para o cálculo de energia incidente foi desenvolvida pelo Institute of Electrical and Electronics Engineers (CHOUCAIR, 2011, p.33), e sua diretriz referente ao tema foi denominada como IEEE 1584. Esta norma foi atualizada em 2018, abordando novas equações e análises obtidas através de testes laboratoriais.

1.2. Justificativa

Após 16 anos da primeira versão da IEEE 1584 em 2002, uma nova versão chega ao mercado, acrescentando novas análises e considerações que devem ser adotadas para proteção contra arco elétrico, no que diz respeito ao nível de energia incidente. Neste cenário, faz-se necessário observar a necessidade de adotar novas medidas de segurança sobre as antes determinadas, para que o sistema se torne mais confiável, evitando assim prejuízos pessoais e financeiros.

1.3. Objetivos do estudo

1.3.1. Objetivos Gerais:

O objetivo principal deste estudo é realizar uma análise comparativa entre as duas versões da norma internacional IEEE 1584 (2002 e 2018). Com uma análise crítica, observar se a mudança ocorrida na norma conseguiu mitigar os riscos de acidentes devido à exposição à energia incidente, e qual é o impacto desta mudança na determinação dos Equipamentos de Proteção Individual utilizados pelos profissionais da área.

1.3.2. Objetivos Específicos:

- Apresentar o método de cálculo de energia incidente por arco elétrico nas duas versões;
- Comparar os cálculos pela norma com um software que simula a energia incidente gerada por um arco;
- Através das energias incidentes calculadas, avaliar quais deverão ser os EPIs adequados para cada versão da norma IEEE1584;

1.4. Limitações do estudo

Este estudo se limita à escolha e utilização do software para simulação de arco elétrico em um sistema trifásico, além de cálculos em Matlab de modelos matemáticos fornecidos por cada versão da norma. O modelo que será estudado é baseado em dados de energia incidente por arco elétrico em situações de teste.

1.5. Estrutura do trabalho

Este trabalho é dividido em 5 capítulos. Na primeira parte, foi realizada uma introdução, onde há uma explanação geral do trabalho, pontuando a justificativa de elaborá-lo, objetivos gerais e específicos, as limitações ao realizá-lo e a organização do trabalho.

Em seguida, será apresentado como fundamentação teórica uma revisão dos princípios teóricos relacionados ao trabalho, como: as causas e efeitos do arco elétrico, cálculo da energia incidente do arco, proteção de sistemas elétricos de potência, classificação dos EPIs utilizados para trabalhos com painéis elétricos e aspectos normativos de segurança com relação a arcos elétricos no Brasil e Internacionalmente.

No terceiro capítulo, estará relatado o desenvolvimento deste trabalho utilizando um projeto fictício para realizar os cálculos e medições através de software, produzindo assim dados para a próxima etapa.

Posteriormente, na seção de simulação e análise de dados, serão comentados os dados produzidos no capítulo três e então serão levantados os dispositivos de proteção e EPIs necessários em cada versão da norma que mitiguem os riscos de danos aos profissionais em caso de acidente.

No quinto capítulo, serão apresentados as considerações finais e os comentários sobre a viabilidade da atualização de sistemas e procedimentos de segurança que envolvam trabalhos com surgimento de arcos elétricos. Por último, as referências bibliográficas que foram utilizadas para realizar este estudo.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1. O arco elétrico

Arco elétrico, segundo Lee (1982), é o termo aplicado à substancial passagem da corrente elétrica através do que previamente fora o ar, que agora se tornou uma massa de gás ionizado. Lee também define o arco como sendo o fluxo de corrente através do caminho consistindo do material vaporizado dos terminais. O Ministério do Trabalho e Previdência estabelece o termo arco elétrico como sendo:

Gerado pela ionização de gás como consequência de uma conexão elétrica entre dois eletrodos de diferentes potenciais, de diferentes fases ou entre um eletrodo e um circuito de terra. Normalmente é gerado acidentalmente devido à falha de equipamentos em curto circuito e libera grande quantidade de energia calorífica num curto intervalo de tempo, capaz de provocar a fusão de metais componentes dos equipamentos, que podem ser lançados contra pessoas e objetos que estejam nas proximidades causando queimaduras severas e combustão (MTP, 2020, p.1).

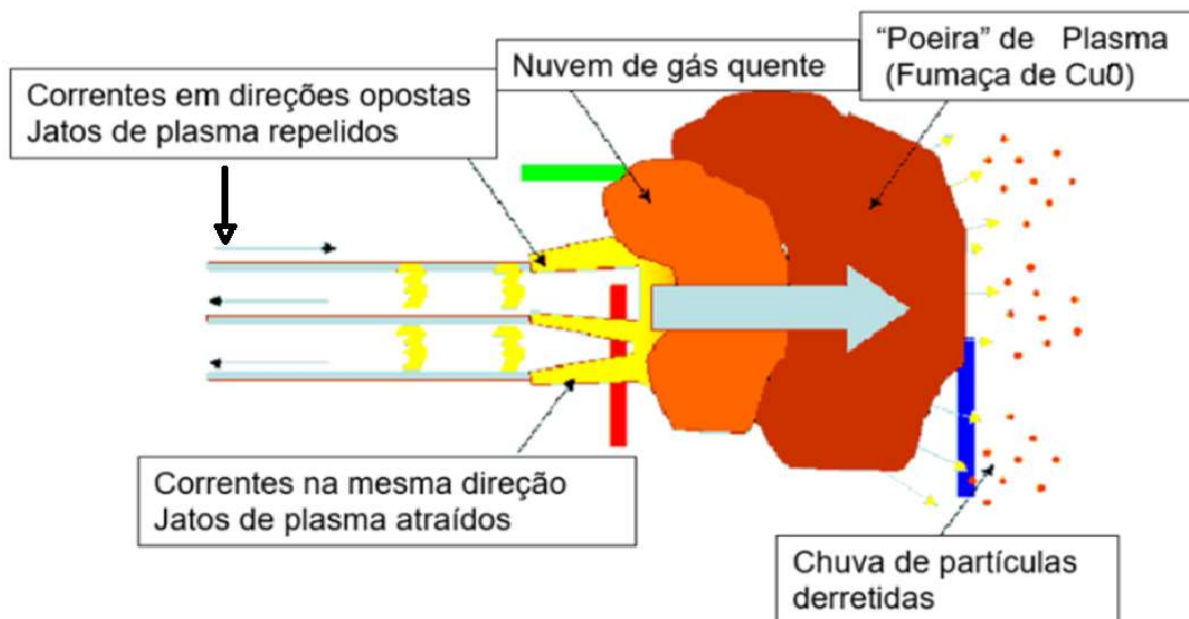
Este fenômeno emite uma grande quantidade de energia luminosa e térmica, aproximadamente 20.000 K (LEE, 1982). Este valor corresponde a quase quatro vezes a temperatura da superfície do sol e é o segundo maior emissor de calor conhecido pela Terra, ficando atrás apenas da radiação emitida pelo laser.

É de se imaginar que tamanho desprendimento de energia possa ser altamente letal, pois nenhum material conhecido pelo homem suporta esta temperatura; qualquer substância envolvida durante o fenômeno do arco vaporiza. Esta vaporização instantânea gera uma explosão devido à expansão do cobre (67.000 vezes) utilizado como condutor e do ar pelo qual passa o arco (T. CRNKO e S. DYRNES, 2000, p.1).

Conforme Lee (1982), o vapor de material dos terminais emitido durante o arco elétrico tem uma resistência substancialmente maior do que o metal sólido. Como a indutância do caminho do arco não é sensivelmente diferente da de um condutor sólido de mesmo comprimento, o caminho da corrente do arco é substancialmente resistivo em sua natureza, produzindo fator de potência unitário.

De acordo com Lang e Neal (2007), os perigos do arco elétrico compreendem: imenso calor do plasma, calor irradiado, grandes volumes de fumaça tóxica, gotas derretidas de material condutor, estilhaços, luz extremamente intensa e uma onda de pressão da rápida expansão dos gases. A Figura 1 exemplifica o comportamento do arco elétrico.

Figura 1 - O comportamento geral de um arco.



Fonte: Adaptado de Lang e Neal, 2007, p.1.

2.2. Segurança

Como já foi introduzido anteriormente, o arco elétrico representa um risco gravíssimo à vida dos profissionais que trabalham diretamente com painéis elétricos de alta potência, por este motivo faz-se necessário tomar medidas de proteção para que haja uma redução do risco de danos ao trabalhador assim como determinado pela NR-01 em seu item 1.4.1.g.

Implementar medidas de prevenção, ouvidos os trabalhadores, de acordo com a seguinte ordem de prioridade:

- I. eliminação dos fatores de risco;
- II. minimização e controle dos fatores de risco, com a adoção de medidas de proteção coletiva;
- III. minimização e controle dos fatores de risco, com a adoção de medidas administrativas ou de organização do trabalho; e
- IV. adoção de medidas de proteção individual (MTP, 1978, p3).

A prioridade dos esforços seria a tomada de medidas para eliminar o fator de risco, mas infelizmente, o trabalho com eletricidade é altamente influenciável pelas variáveis do ambiente, como umidade do ar e clima local, assim como as variáveis do próprio sistema, como flutuações de harmônicos e seccionamento de dispositivos da rede elétrica.

Como não se pode eliminar os riscos como supracitado, a medida no segundo nível de prioridade corresponde à utilização de medidas de proteção coletiva, que segundo o Ministério do Trabalho e Previdência (2020), são "técnicas e conhecimentos adotados de forma a reduzir os riscos existentes em um determinado ambiente e que vão beneficiar todo o grupo de trabalhadores ali presentes". Podemos utilizar como exemplo de proteção coletiva o conjunto

de telas metálicas ao redor de um transformador que funcionaria como uma gaiola de Faraday. Caso haja um surto, o arco elétrico entrará em contato com as grades e será aterrado, protegendo assim profissionais e equipamentos localizados nas proximidades.

A medida do terceiro nível de prioridade é a administrativa. Neste caso, ela relaciona fatores organizacionais como horários, disponibilidade dos profissionais da equipe, regras de segurança internas e procedimentos operacionais. O MTP (2020) ainda cita: "Elaboração de procedimentos seguros de trabalho como, por exemplo, a adoção de Análise Preliminar de Risco - APR, constitui medida administrativa de prevenção".

2.3. EPIs

As três medidas supracitadas são capazes de reduzir a exposição do trabalhador aos efeitos do arco elétrico, mas ainda podem não ser suficientes para amenizar os danos ao trabalhador. Outra medida então é empregada para que o funcionário não fique exposto ao risco, que é a utilização do Equipamento de Proteção Individual definido pela NR-10 em seu item 10.2.9.1:

Nos trabalhos em instalações elétricas, quando as medidas de proteção coletiva forem tecnicamente inviáveis ou insuficientes para controlar os riscos, devem ser adotados equipamentos de proteção individual específicos e adequados às atividades desenvolvidas, em atendimento ao disposto na NR 6 (MTP, 1978, p3).

No Brasil a norma regulamentadora que circunda e traz definições quanto ao EPIs é a NR-6 e em seu item 6.1 está estabelecido que:

Para os fins de aplicação desta Norma Regulamentadora - NR, considera-se Equipamento de Proteção Individual - EPI, todo dispositivo ou produto, de uso individual utilizado pelo trabalhador, destinado à proteção de riscos suscetíveis de ameaçar a segurança e a saúde no trabalho (MTP, 1978, p. 1).

Sendo os EPIs a última e não menos importante barreira que atua na prevenção de acidentes o Ministério do Trabalho e Previdência (2020) faz uma importante consideração a respeito deles:

O EPI não elimina o risco, sendo apenas uma das barreiras para evitar ou atenuar a lesão ou agravo a saúde decorrente do possível acidente ou exposição ocasionados pelo risco em questão. Assim, a utilização de EPI de forma alguma pode se constituir em justificativa para a não implementação de medidas de ordem geral (coletivas e administrativas), observação de procedimentos seguros e gerenciamento dos riscos presentes no ambiente de trabalho, a fim de que possam ser mitigados (MTP, 2020, p.3).

2.3.1. Especificação do EPI

Para determinar o EPI adequado deve-se primeiro identificar qual a categoria de risco o profissional está exposto que é medido de acordo com o ATPV, de acordo com o MTP (2020):

O ATPV - Arc Thermal Performance Value (valor em calorias por centímetro quadrado da proteção conferida pelo tecido ao efeito térmico proveniente de um arco elétrico) está diretamente relacionado às características do tecido que compõe a vestimenta e sua tecnologia de fabricação. Representa o valor máximo de energia incidente sobre o tecido que resulta numa energia no lado protegido que poderia com 50% de probabilidade causar queimaduras de segundo grau (MTP, 2020, p.4).

Logo, o ATPV indica uma aproximação sobre a proteção que a vestimenta deve fornecer, baseado nos cálculos da energia incidente (cal/cm^2) (MTP, 2020, p. 4). A Tabela 1 a seguir esmiúça a proteção das vestimentas relacionando com as categorias de risco da *National Fire Protection Association* - NFPA 70E, e a Tabela 2 elenca os EPIs que devem ser utilizados em cada categoria de risco.

Tabela 1 - Especificação dos Equipamentos de Proteção Individual em função das Categorias de Risco conforme a NFPA 70E.

Risco	Energia Incidente (cal/cm^2)	Categoria de Risco	ATPV Mínimo Requerido para o EPI (cal/cm^2)
Mínimo	até 1,2	0	não aplicável
Leve	1,2 a 4,0	1	4,0
Moderado	4,1 a 8,0	2	8,0
Elevado	8,1 a 25,0	3	25,0
Elevadíssimo	25,1 a 40,0	4	40,0

Fonte: MTP, 2020, p.4.

Tabela 2 - Vestimentas de Proteção e Equipamentos de Proteção Individual (EPI) conforme a categoria de risco.

CATEGORIA DE RISCO	VESTIMENTA DE PROTEÇÃO
0	Vestimenta de proteção, fibra natural não tratada (por exemplo, algodão não tratado, lã, nylon, mistura desses materiais), com gramatura mínima de 0,0152 g/cm² • Camisas (manga comprida) • Calças (compridas) Equipamento de proteção • Óculos de segurança • Proteção auditiva (modelo de inserção no canal auditivo) • Luvas de couro, quando necessário.
1	Vestimenta resistente a arco elétrico, com suportabilidade mínima de 4 cal/cm² (16,736 J/cm²) • Camisas e calças compridas resistentes a arco ou macacão resistente a arco • Protetor facial resistente a arco ou capuz carrasco resistente a arco Equipamento de proteção

	• Capacete • Óculos de segurança • Proteção auditiva (modelo de inserção no canal auditivo) • Luvas de couro • Sapato de segurança em couro, quando necessário
2	Vestimenta resistente a arco elétrico, com suportabilidade mínima de 8 cal/cm² (33,472 J/cm²) • Camisas e calças compridas resistentes a arco ou macacão resistente a arco • Protetor facial resistente a arco ou capuz carrasco resistente a arco e balaclava resistente a arco • Jaqueta resistente a arco, agasalho, vestimenta impermeável ou forro para capacete, quando necessário Equipamento de proteção • Capacete • Óculos de segurança • Proteção auditiva (modelo de inserção no canal auditivo) • Luvas de couro • Sapato de segurança em couro, quando necessário
3	Vestimenta resistente a arco elétrico selecionada, de modo que atenda a classificação de arco mínima de 25 cal/cm² (104,6 J/cm²) • Camisas de manga comprida resistente a arco, quando requerida • Calças compridas resistentes a arco, quando requerida • Macacão resistente a arco, quando requerido • Jaqueta resistente a arco elétrico, quando requerida • Capuz carrasco resistente a arco • Luvas resistentes a arco • Jaqueta resistente a arco, agasalho, vestimenta impermeável ou forro para capacete, quando necessário Equipamento de proteção • Capacete • Óculos de segurança • Proteção auditiva (modelo de inserção no canal auditivo) • Sapato de segurança em couro, quando necessário
4	Vestimenta resistente a arco elétrico selecionada, de modo que atenda a classificação de arco mínima de 40 cal/cm² (167,36 J/cm²) • Camisas de manga comprida resistente a arco, quando requerida • Calças compridas resistentes a arco, quando requerida • Macacão resistente a arco, quando requerido • Jaqueta resistente a arco elétrico, quando requerida • Capuz carrasco resistente a arco • Luvas resistentes a arco • Jaqueta resistente a arco, agasalho, vestimenta impermeável ou forro para capacete, quando necessário Equipamento de proteção • Capacete • Óculos de segurança • Proteção auditiva (modelo de inserção no canal auditivo) • Sapato de segurança em couro, quando necessário

Fonte: Adaptado de NFPA 70E, 2012, p.39.

2.4. Normas

De acordo com Quadros (2019), a primeira norma IEEE 1584 publicada ocorreu em 2002, sendo denominada Guide for Performing Arc-Flash Hazard Calculations, ou em português, Guia para Executar Cálculos de Risco de Energia Incidente, permanecendo praticamente inalterada por muito tempo, recebendo alguns pequenos ajustes nos anos de 2004 e 2011. Depois de realizar muitos testes, o grupo IEEE - Instituto de Engenheiros Eletricistas e Eletrônicos confeccionou um novo modelo para análise de arco elétrico.

Segundo Fantoni, Inácio e Tenaglia (2021), através dos testes, surgiram equações que são utilizadas para estimar o potencial da energia incidente desprendida durante a ocorrência de um arco elétrico, e consequentemente, da distância de segurança.

Para Quadros (2019), as fórmulas construídas de forma empírica no novo modelo de 2018 tornaram os cálculos significativamente mais precisos. No entanto, mais complexos do que os da versão anterior.

Um dos motivos para isso seria que o cálculo de energia incidente da norma IEEE 1584 - 2002 não levava em consideração a orientação dos eletrodos nem a forma de propagação da energia provocada pelo arco elétrico. Os testes da versão de 2002 foram feitos apenas para os eletrodos posicionados verticalmente e testes mais recentes apontam que a orientação do eletrodo tende a propagar de forma diferente a energia incidente, possuindo uma relação direta com os valores finais encontrados para o cálculo.

A Tabela 3 demonstra, de forma exemplificada, as características das que foram alteradas na atualização.

Tabela 3 - Comparação das características da IEEE 1584 2002 e 2018.

Intervalos do Modelo	Guia “IEEE Std 1584 – 2002”		Guia “IEEE Std 1584 – 2018”	
Faixas de tensão fase-fase trifásica	208 a 1.000 V	1.000 a 15.000 V	208 a 600 V	601 a 15.000 V
Faixa de corrente de falta franca	700 a 106.000 A		500 a 106.000 A	200 a 65.000 A
Corrente de arco mínima	85% da corrente de arco		Aplica-se fator de variação na corrente de arco	
Gaps	13 a 152 mm		6,35 a 76,2 mm	19,05 a 254 mm
Configuração Eletrodos	VCB		VCB	
	-		VCBB	
	-		HCB	
	VOA		VOA	
	-		HOA	
Tempo de eliminação da falta	-		Sem limite	
Correção do painel	Fator de distância (tensão e tipo de equipamento)		Fator de correção (altura, largura e comprimento)	

Distância de trabalho	455 a 910 mm	≥ 305 mm
Frequência	50 ou 60 Hz	50 ou 60 Hz
Sistema aterramento	Todos os tipos ou não aterrados	Não considera

Fonte: OLIVEIRA, 2021, p.62.

2.5. IEEE 1584 – 2002

Conforme a IEEE 1584 (2002), são descritos dois modelos distintos: um baseado em dados empíricos, aplicável a sistemas com tensões de 208 V a 15 kV, e outro embasado em teoria, projetado para sistemas com tensões superiores a 15 kV. Optou-se por empregar o modelo empírico neste trabalho, visto que abrange a faixa de voltagens abordada na pesquisa.

De acordo com a IEEE 1584 (2002), para sistemas com tensão abaixo de 1000 V, a corrente de arco trifásico pode ser encontrada da seguinte formula:

$$\lg I_a = K + 0.662 \lg I_{bf} + 0.0966 V + 0.000526 G + 0.5588 V (\lg I_{bf}) - 0.00304 G (\lg I_{bf}) \quad (1)$$

$\lg$ é o $\log_{10}$;

I_a é corrente de arco [kA];

K é -0,153 para configurações abertas e -0,097 para configurações de caixa;

I_{bf} é a corrente de falha parafusada para falhas trifásicas (RMS simétrico) [kA];

V é a tensão do sistema [kV];

G é a lacuna entre os condutores [mm] (Tabela 5)

Também de acordo com a IEEE 1584 (2002), para aplicações com uma tensão de sistema de 1000 V e superior, é possível calcular a corrente de arco trifásico da seguinte forma:

$$\lg I_a = 0.00402 + 0.983 \lg I_{bf} \quad (2)$$

Para alta tensão, não se faz distinção entre as configurações aberta e em caixa.

Para o cálculo da energia incidente normalizada, a norma IEEE 1584 (2002) se baseia em dados normalizados para um arco com tempo de 0,2 segundos e uma distância da pessoa ao ponto do arco de 610 mm. Tendo a equação:

$$\lg E_n = K1 + K2 + 1.081 \lg I_a + 0.0011G \quad (3)$$

Em que:

E_n é a energia incidente [J/cm^2];

$K1$ é -0,792 para configurações abertas e -0,555 para configurações de caixa;

$K2$ é 0 para sistemas não aterrados e aterrados de alta resistência e -0,113 para sistemas aterrados;

G é a lacuna entre os condutores [mm] (Tabela 5).

Através da IEEE 1584 – 2002, alguns parâmetros são necessários para realizar o cálculo de energia incidente. De acordo com FANTONI; INÁCIO e TENÁGLIA (2021, p. 2) as informações e parâmetros necessários para a formulação da equação são:

- Tensão nominal dos painéis;
- Corrente de curto-circuito trifásica em cada um dos painéis;
- Tipo de instalação: barramento exposto ou painel;
- Tipo de equipamento: conjunto de manobra, CCM, cabos;
- Gap (distância entre os condutores no local do arco elétrico);
- Tipo de aterramento do neutro dos transformadores;
- Tempos de duração do arco;
- Tempos de abertura dos disjuntores.

Para o cálculo da energia incidente deve-se utilizar a seguinte equação:

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

E é energia incidente [J/cm^2];

C_f fator de cálculo igual a 1 para tensões acima de 1,0 kV, ou 1,5 para tensões abaixo de 1 kV;

E_n energia incidente normalizada [J/cm^2], formalizada anteriormente;

D distância (mm) do ponto de arco elétrico até o operador, conforme Tabela 4;

x é o expoente da distância de acordo com a Tabela 5.

t soma dos tempos de atuação da proteção e de abertura do disjuntor (duração do arco)

Ao reorganizar a equação (4), é possível encontrar uma expressão para calcular a distância de segurança. Essa distância pode ser aplicada, por exemplo, para estabelecer os limites das zonas de risco ou controladas. Portanto, a equação (5) propõe uma distância de

segurança para sistemas com tensões entre 208 V e 15.000 V, conforme as condições (IEEE, 2002):

$$D_B = \left[4,184 C_f E_n \left(\frac{t}{0,2} \right) \left(\frac{610^x}{E_B} \right) \right]^{\frac{1}{x}} \quad (5)$$

D_B é a distância segura de aproximação ao ponto do arco [mm];

C_f é uma constante de cálculo, sendo 1,5 para tensões abaixo de 1 kV;

E_n é a energia incidente normalizada;

E_B é a energia incidente na distância segura de aproximação [J/cm²];

t é a soma dos tempos de atuação da proteção e de abertura do disjuntor [ms];

x é o expoente da distância de acordo com a Tabela 5.

Nesta equação, o valor de EB será mantido constante em 5 J/cm², conforme a IEEE 1584 (2002), pois é necessário determinar a distância segura de aproximação para um trabalhador desprovido de EPI, a fim de simplificar as comparações entre os métodos.

Tabela 4 - Distância típica de trabalho conforme a classe do equipamento.

Classes de equipamentos	Distância típica de trabalho (mm)
Quadro de distribuição 15 kV	910
Quadro de distribuição 5 kV	910
Quadro de distribuição para baixa tensão	610
CCM's de baixa tensão e painéis	455
Cabos	455
Outros	A ser determinado em campo

Fonte: Adaptado da tabela 3 da IEEE 1584, 2002, p 9.

Tabela 5 - Fatores para equipamentos e classes de tensão.

Tensão do Sistema [kV]	Tipo de equipamento	Lacuna típica entre os condutores [mm]	Fator X
0,208 -1	Ar livre	10 – 40	2,000
	Comutador	32	1,473
	Cabo	25	1,641
	CCM a painéis	13	2,000
>1 – 5	Ar livre	102	2,000
	Comutador	13-102	0,973
	Cabo	13	2,000
>5 - 15	Ar livre	13-153	2,000
	Comutador	153	0,973
	Cabo	13	2,000

Fonte: Adaptado da tabela 4 da IEEE 1584, 2002, p.12.

2.6. IEEE 1584 – 2018

A principal diferença entre os dois modelos está na consideração da orientação dos eletrodos nos cálculos de energia incidente. Tal mudança também interfere na forma de propagação do plasma do arco elétrico, sendo que todos os experimentos da IEEE 1584-2002 foram realizados apenas com eletrodos na vertical (Fantoni, Inácio e Tenágliã, 2021).

Segundo Wilkins, Allison e Lang (2005), o arco elétrico tende a se deslocar em direção oposta aos eletrodos devido às forças eletromagnéticas. Com os eletrodos dispostos verticalmente, o arco tende a colidir com o fundo do painel, resultando na dispersão inicial de calor dentro do cubículo. Somente após alguns milissegundos, o calor é percebido do lado externo. Além disso, devido à trajetória do arco elétrico, a intensidade do calor é maior na porção inferior do painel.

No artigo “Effect Of Electrode Orientation In Arc Flash Testing” (Efeito da Orientação do Eletrodo em Testes de Arco Elétrico), Wilkins, Allison e Lang (2005) concluem em seu estudo que a energia incidente para o pior caso horizontal foi cerca de 3 vezes maior do que para o caso vertical, para a mesma corrente de arco.

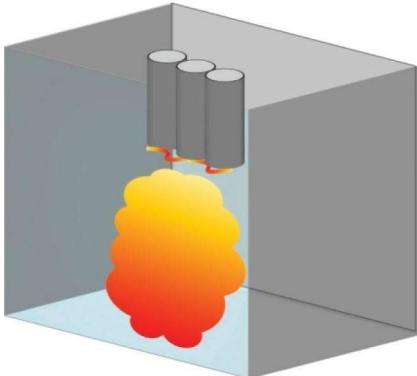
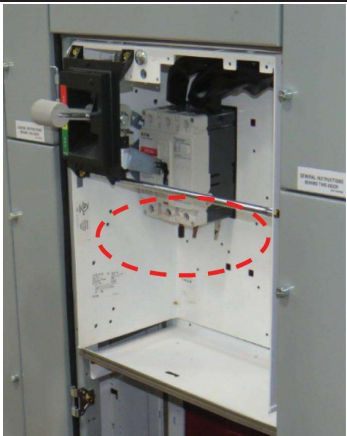
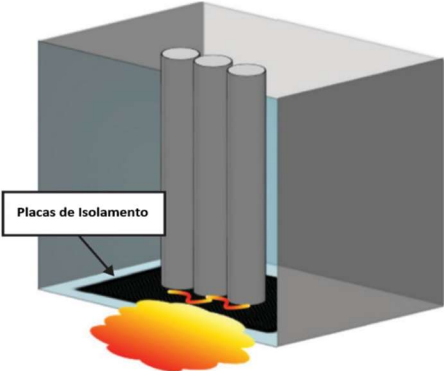
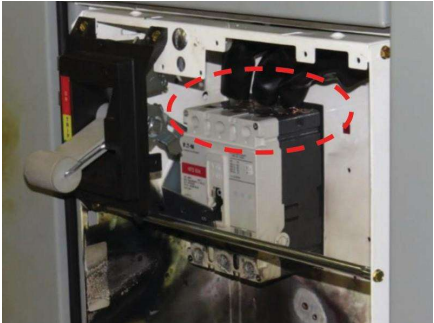
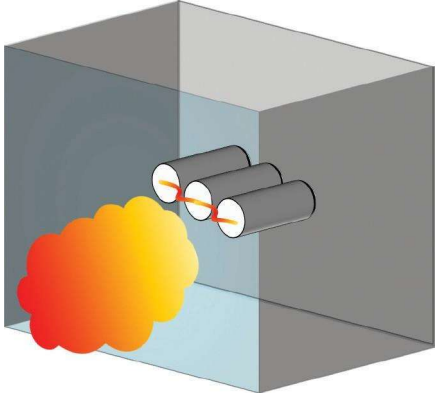
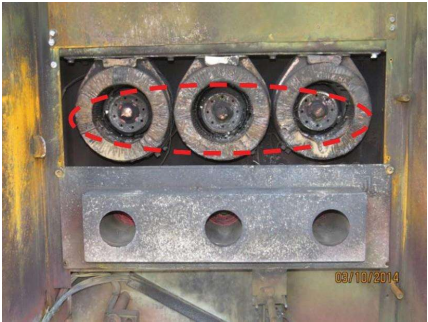
De acordo com os autores, no cenário em que os eletrodos são colocados horizontalmente, ocorre um fluxo externo ainda mais intenso devido às paredes da caixa, que amplificam a expansão convectiva de forma significativa. Isso resulta em arcos elétricos mais longos, tensões de arco mais elevadas e correntes de arco mais baixas em comparação com outros arranjos de eletrodos. Com uma considerável quantidade de plasma contida dentro do enclausuramento, torna-se relevante o impacto da radiação refletida nas partes traseira e laterais do invólucro. Quando esses efeitos são combinados com os processos convectivos, resultam em níveis extremamente elevados de energia incidente. Isso posiciona este arranjo de eletrodos como a "situação mais desfavorável" entre as três variações avaliadas no estudo. A IEEE 1584 (2018) apresenta cinco tipos de configuração de eletrodos, constituindo-se como:

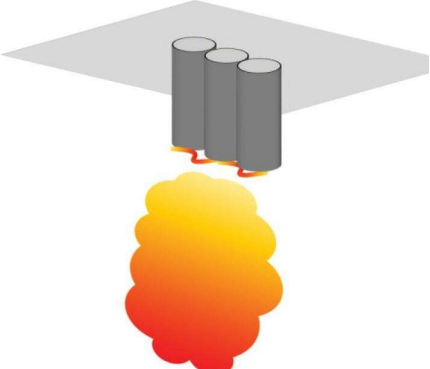
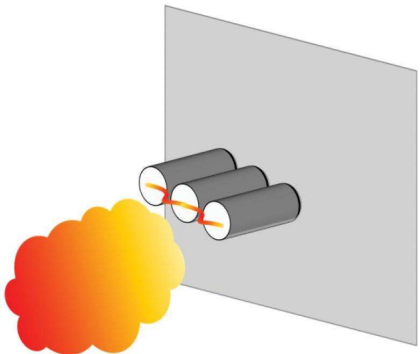
- VCB (*Vertical conductors/electrodes inside a metal box/enclosure*): Condutores/eletrodos verticais dentro de uma caixa/invólucro de metal;
- VCBB (*Vertical conductors/electrodes terminated in an insulating barrier inside a metal box/enclosure*): Condutores/eletrodos verticais terminados em uma barreira isolante dentro de uma caixa/invólucro de metal;
- HCB (*Horizontal conductors/electrodes inside a metal box/enclosure*): Condutores / eletrodos horizontais dentro de uma caixa / invólucro de metal;

- VOA (*Vertical conductors/electrodes in open air*): condutores / eletrodos verticais ao ar livre;
- HOA (*Horizontal conductors/electrodes in open air*): Condutores / eletrodos horizontais ao ar livre.

As configurações dos eletrodos em seus painéis são exemplificadas juntamente com seus correspondentes em campo na Tabela 6 a seguir:

Tabela 6 - Correlação entre o equipamento e a configuração dos eletrodos.

	Configuração de eletrodo em teste	Configuração de eletrodo no equipamento
VCB		
VCBB		
HCB		

VOA		
HOA		

Fonte: Adaptado da Tabela 9 da IEEE 1584, 2018, p.38.

De acordo com a IEEE 1584 (2018), para calcular a energia incidente e a distância de segurança (*Arc Flash Boundary - AFB*) em uma tensão específica, deve-se primeiro calcular os valores intermediários de três níveis de tensão sendo eles 600 V, 2700 V e 14300 V, depois é utilizada uma interpolação para determinar os valores finais.

A corrente de arco, ou I_{arc} (*arcing fault current*), pode ser definida como a corrente de falta que passa pelo plasma do arco elétrico. Ela é principalmente influenciada pela corrente de falta franca (I_{bf}), além de outros fatores secundários, como o espaçamento entre os eletrodos, a configuração do eletrodo e a tensão do sistema. Semelhante à corrente de falta franca, a corrente de arco é resultante da soma de todas as contribuições naquele ponto específico. Não obstante, sua magnitude é menor devido à resistência do arco (SATO, 2022).

$$I_{arc_Voc} = 10^{(k1+k2\log_{10}I_{bf}+k3\log_{10}G)(k4I_{bf}^6+k5I_{bf}^5+k6I_{bf}^4+k7I_{bf}^3+k8I_{bf}^2+k9I_{bf}+k10)} \quad (6)$$

I_{arc_Voc} é a corrente de arco eficaz média para Voc (tensão padronizada) [kA];

I_{bf} é a corrente de falta franca trifásica simétrica eficaz [kA];

G é o espaçamento entre eletrodos [mm];

$k1$ a $k10$ são os coeficientes fornecidos na Tabela 7.

Tabela 7 - Coeficientes utilizados na Equação 6

E.C.	Voc	k1	k2	k3	k4	k5	k6	k7	k8	k9	k10
VCB	600V	-0,04287	1,035	-0,083	0	0	-4,78E-09	0,000001962	-0,000229	0,003141	1,092
	2700V	0,0065	1,001	-0,024	-1,56E-12	4,556E-10	-4,19E-08	8,346E-07	0,00005482	-0,003191	0,9729
	14300V	0,005795	1,015	-0,011	-1,56E-12	4,556E-10	-4,19E-08	8,346E-07	0,00005482	-0,003191	0,9729
VCBB	600V	-0,017432	0,98	-0,05	0	0	-5,77E-09	0,000002524	-0,00034	0,01187	1,013
	2700V	0,002823	0,995	-0,0125	0	-9,2E-11	2,901E-08	-0,000003262	0,0001569	-0,004003	0,9825
	14300V	0,014827	1,01	-0,01	0	-9,2E-11	2,901E-08	-0,000003262	0,0001569	-0,004003	0,9825
HCB	600V	0,054922	0,988	-0,11	0	0	-5,38E-09	0,000002316	-0,000302	0,0091	0,9725
	2700V	0,001011	1,003	-0,0249	0	0	4,859E-10	-1,814E-07	-0,00000913	-0,0007	0,9881
	14300V	0,008693	0,999	-0,02	0	-5,04E-11	2,233E-08	-0,000003046	0,000116	-0,001145	0,9839
VOA	600V	0,043785	1,04	-0,18	0	0	-4,78E-09	0,000001962	-0,000229	0,003141	1,092
	2700V	-0,02395	1,006	-0,0188	-1,56E-12	4,556E-10	-4,19E-08	8,346E-07	0,00005482	-0,003191	0,9729
	14300V	0,005371	1,0102	-0,029	-1,56E-12	4,556E-10	-4,19E-08	8,346E-07	0,00005482	-0,003191	0,9729
HOA	600V	0,111147	1,008	-0,24	0	0	-3,9E-09	0,000001641	-0,000197	0,002615	1,1
	2700V	0,000435	1,006	-0,038	0	0	7,859E-10	-1,914E-07	-0,000009128	-0,0007	0,9981
	14300V	0,000904	0,999	-0,02	0	0	7,859E-10	-1,914E-07	-0,000009128	-0,0007	0,9981

Fonte: Adaptado de IEEE 1584, 2018, p.23.

Para determinar o valor final da corrente de arco, é necessário empregar equações correspondentes à tensão de circuito aberto do sistema. No caso de sistemas com tensão superior a 600 V, é essencial utilizar as equações 7, 8 e 9 abaixo:

$$I_{arc_1} = \frac{I_{arc_2700} - I_{arc_600}}{2,1} (V_{oc} - 2,7) + I_{arc_2700} \quad (7)$$

$$I_{arc_2} = \frac{I_{arc_14300} - I_{arc_2700}}{11,6} (V_{oc} - 14,3) + I_{arc_14300} \quad (8)$$

$$I_{arc_3} = \frac{I_{arc_1} - (2,7 - V_{oc})}{2,1} + \frac{I_{arc_2}(V_{oc} - 0,6)}{2,1} \quad (9)$$

I_{arc_1} termo da interpolação de I_{arc} , entre 600 e 2.700 V [kA];

I_{arc_2} termo da interpolação de I_{arc} , usado quando V_{oc} é maior que 2.700 V [kA];

I_{arc_3} termo da interpolação de I_{arc} , usado quando V_{oc} é menor que 2.700 V [kA];

V_{oc} é a tensão de circuito aberto do equipamento [kV].

Para sistemas em que a tensão é inferior a 600 V, usa se a equação 10:

$$I_{arc} = \frac{1}{\sqrt{\left[\frac{0,6}{V_{oc}}\right]^2 \times \left[\frac{1}{I_{arc_600}^2} - \left(\frac{0,6^2 - V_{oc}^2}{0,6^2 \times I_{bf}^2}\right)\right]}} \quad (10)$$

I_{arc} é a corrente de arco eficaz média para V_{oc} [kA];

I_{arc_600} é a corrente de arco eficaz média para 600 V [kA];

I_{bf} é a corrente de falta franca trifásica simétrica eficaz [kA];

V_{oc} é a tensão de circuito aberto do equipamento [kV].

Os ensaios conduzidos revelaram que a corrente de arco exibe uma natureza dinâmica e instável em sistemas com tensão nominal inferior a 600 V. Nessas condições, pode-se observar que a corrente de arco pode chegar a ser até 15% menor do que a corrente de arco completa em sistemas de 480 V (SATO, 2022).

Essas flutuações na corrente de arco têm o potencial de influenciar o tempo de operação dos dispositivos de proteção. Consequentemente, a norma exige não apenas a determinação da corrente de arco máxima (I_{arc}), mas também a determinação de um segundo valor, conhecido como corrente de arco mínima (I_{arc_min}). Para este último, o cálculo da energia incidente deve ser repetido de acordo com os requisitos estabelecidos (SATO, 2022).

A Equação 11 é utilizada para calcular o fator de correção para a variação da corrente de arco.

$$V_{arcf} = k1V_{oc}^6 + k2V_{oc}^5 + k3V_{oc}^4 + k4V_{oc}^3 + k5V_{oc}^2 + k6V_{oc} + k7 \quad (11)$$

V_{arcf} é o fator de variação de corrente;

V_{oc} é a tensão de circuito aberto do equipamento [kV];

$k1$ a $k7$ são os coeficientes fornecidos na Tabela 8.

Tabela 8 - Coeficientes usados na Equação 11.

E.C	k1	k2	k3	k4	k5	k6	k7
VCB	0,000E+00	-1,43E-06	8.31E-05	-1,94E-03	2,24E-02	-1,26E-01	3,02E-01
VCBB	1.14E-06	-6,03E-05	1.28E-03	-1,38E-02	-8,02E-02	-2,41E-01	3,35E-01
HCB	0,000E+00	-3,10E-06	1.64E-04	-3,36E-03	-3,33E-02	-1,62E-01	3,46E-01
VOA	9.56E-07	-5,15E-05	1.12E-03	-1,24E-02	7,51E-02	-2,36E-01	3,37E-01
HOA	0,000E+00	-3,16E-06	1.68E-04	-3,46E-03	-3,41E-02	-1,60E-01	3,46E-01

Fonte: Adaptado de IEEE 1584, 2018, p.24.

Dessa forma, a corrente de arco mínima é determinada por meio da Equação 12 abaixo:

$$I_{arc_min} = I_{arc} \times (1 - 0,5 \times V_{arcf}) \quad (12)$$

Em que:

I_{arc_min} é a corrente de arco mínima obtida com V_{arcf} [kA];

I_{arc} é a corrente de arco máxima [kA].

Conforme a IEEE 1584, as fórmulas para calcular a energia incidente e o limite de aproximação segura, para as configurações VCB, VCBB e HCB, são ajustadas para um invólucro padronizado com dimensões de 508 mm × 508 mm × 508 mm (20 in × 20 in × 20 in).

Para alcançar o resultado preciso para um invólucro com dimensões distintas, a norma estabelece que o valor da energia incidente seja adaptado para invólucros maiores ou menores que o padrão, utilizando um fator de correção (CF). Este fator é determinado por um procedimento específico de cálculo. Nas configurações VOA e HOA, onde não há invólucro, o fator de correção é igual a um (SATO, 2022).

Um invólucro para ser considerado “Raso” deve ter a tensão do sistema menos do que 600 V, a largura e altura menores do que 508 mm e a profundidade igual ou menor do que 203,2 mm.

O tamanho equivalente do gabinete (EES) é determinado usando a largura e altura equivalentes usando a Equação 13:

$$EES = \frac{Height_1 + Width_1}{2} \quad (13)$$

Em que:

$Height_1$ é a altura equivalente do gabinete;

$Width_1$ é a largura equivalente do gabinete;

EES é o tamanho equivalente do gabinete.

O fator de correção para invólucros classificados como “Rasos” pode ser determinado através da Equação 14:

$$CF = \frac{1}{b1 \times EES^2 + b2 \times EES + b3} \quad (14)$$

O fator de correção para invólucros classificados como “Típicos” pode ser determinado de acordo com a Equação 15:

$$CF = b1 \times EES^2 + b2 \times EES + b3 \quad (15)$$

Em que:

CF é o fator de correção do tamanho do invólucro;

EES^2 é o tamanho de invólucro equivalente;

$b1$ a $b3$ são os coeficientes fornecidos na Tabela 9.

Tabela 9 - Coeficientes usados nas equações 14 e 15.

Tipo de Invólucro	E.C.	b1	b2	b3
Típicos	VCB	-0,000302	0,03441	0,4325
	VCBB	-0,0002976	0,032	0,479
	HCB	-0,0001923	0,01935	0,6899
Rasos	VCB	-0,002222	-0,02556	0,6222
	VCBB	-0,002778	0,1194	-0,2778
	HCB	-0,0005556	0,03722	0,4778

Fonte: Adaptado de IEEE 1584, 2018, p.30.

Da mesma forma que no procedimento para calcular a corrente de arco, o cálculo da energia incidente também é realizado em duas fases. Primeiramente, os valores de energia incidente são calculados para três níveis de tensão padronizados (600, 2.700 e 14.300 V) utilizando as Equações 16, 17, 18 e 19. Em seguida, o valor final da energia incidente para a tensão de circuito aberto do sistema é determinado através da interpolação dos valores intermediários (SATO, 2022).

$$E_{600} = \frac{12,552}{50} T \times 10 \left(\frac{k1+k2\log_{10}G + \frac{k3I_{arc600}}{k4I_{bf}^7 + k5I_{bf}^6 + k6I_{bf}^5 + k7I_{bf}^4 + k8I_{bf}^3 + k9I_{bf}^2 + k10I_{bf}}}{+k11\log_{10}I_{bf} + k12\log_{10}D + k13\log_{10}I_{arc600} + \log_{10}\frac{1}{CF}} \right) \quad (16)$$

$$E_{2700} = \frac{12,552}{50} T \times 10 \left(\frac{k1+k2\log_{10}G + \frac{k3I_{arc2700}}{k4I_{bf}^7 + k5I_{bf}^6 + k6I_{bf}^5 + k7I_{bf}^4 + k8I_{bf}^3 + k9I_{bf}^2 + k10I_{bf}}}{+k11\log_{10}I_{bf} + k12\log_{10}D + k13\log_{10}I_{arc2700} + \log_{10}\frac{1}{CF}} \right) \quad (17)$$

$$E_{14300} = \frac{12,552}{50} T \times 10 \left(\frac{k1+k2\log_{10}G + \frac{k3I_{arc14300}}{k4I_{bf}^7 + k5I_{bf}^6 + k6I_{bf}^5 + k7I_{bf}^4 + k8I_{bf}^3 + k9I_{bf}^2 + k10I_{bf}}}{+k11\log_{10}I_{bf} + k12\log_{10}D + k13\log_{10}I_{arc14300} + \log_{10}\frac{1}{CF}} \right) \quad (18)$$

$$E_{\leq 600} = \frac{12,552}{50} T \times 10 \left(\frac{k1+k2\log_{10}G + \frac{k3I_{arc600}}{k4I_{bf}^7 + k5I_{bf}^6 + k6I_{bf}^5 + k7I_{bf}^4 + k8I_{bf}^3 + k9I_{bf}^2 + k10I_{bf}}}{+k11\log_{10}I_{bf} + k12\log_{10}D + k13\log_{10}I_{arc} + \log_{10}\frac{1}{CF}} \right) \quad (19)$$

Em que;

E_{600} é a energia incidente para $V_{oc} = 600$ V [J/cm²];

E_{2700} é a energia incidente para $V_{oc} = 2.700$ V [J/cm²];

E_{14300} é a energia incidente para $V_{oc} = 14.300$ V [J/cm²];

$E_{\leq 600}$ é a energia incidente para $V_{oc} \leq 600$ V [J/cm²];

I_{arc_600} é a corrente de arco eficaz para $V_{oc} = 600$ V [kA];

I_{arc_2700} é a corrente de arco eficaz para $V_{oc} = 2.700$ V [kA];

I_{arc_14300} é a corrente de arco eficaz para $V_{oc} = 14.300$ V [kA];

I_{arc} é a corrente de arco eficaz para $V_{oc} \leq 600$ V [kA];

I_{bf} é a corrente de falta franca trifásica simétrica eficaz [kA];

T é a duração de arco [ms];

G é o espaçamento entre eletrodos [mm];

D é a distância de trabalho [mm];

CF é o fator de correção de tamanho do invólucro;

$k1$ a $k13$ são os coeficientes fornecidos na Tabela 10.

Tabela 10 - Coeficientes usados nas Equações 16, 17, 18 e 19.

E.C	Tensão (V)	k1	k2	k3	k4	k5	k6	k7	k8	k9	k10	k11	k12	k13
VCB	600	0,753364	0,566	1,752636	0	0	-4,783E-09	1,962E-06	-0,000229	0,003141	1,092	0	-1,598	0,957
	2700	2,40021	0,165	0,354202	-1,557E-12	4,556E-10	-4,186E-08	8,346E-07	5,482E-05	-0,003191	0,9729	0	-1,569	0,9778
	14300	3,825917	0,11	-0,999749	-1,557E-12	4,556E-10	-4,186E-08	8,346E-07	5,482E-05	-0,003191	0,9729	0	-1,568	0,99
VCBB	600	3,068459	0,26	-0,098107	0	0	-5,767E-09	2,524E-06	-0,00034	0,01187	1,013	-0,06	-1,809	1,19
	2700	3,870592	0,185	-0,736618	0	-9,204E-11	2,901E-08	-3,262E-06	0,0001569	-0,004003	0,9825	0	-1,742	1,09
	14300	3,644309	0,215	-0,585522	0	-9,204E-11	2,901E-08	-3,262E-06	0,0001569	-0,004003	0,9825	0	-1,677	1,06
HCB	600	4,073745	0,344	-0,370259	0	0	-5,382E-09	2,316E-06	-0,000302	0,0091	0,9725	0	-2,03	1,036
	2700	3,486391	0,177	-0,193101	0	0	4,859E-10	-1,81E-07	-9,128	-0,0007	0,9881	0,027	-1,723	1,055
	14300	3,044516	0,125	0,245106	0	-5,043E-11	2,233E-08	-3,046E-06	0,000116	-0,001145	0,9839	0	-1,655	1,084
VOA	600	0,679294	0,746	1,222636	0	0	-4,783E-09	1,962E-06	-0,000229	0,003141	1,092	0	-1,598	0,997
	2700	3,880724	0,105	-1,906033	-1,557E-12	4,556E-10	-4,186E-08	8,35E-07	5,482E-05	-0,003191	0,9729	0	-1,515	1,115
	14300	3,405454	0,12	-0,93245	-1,557E-12	4,556E-10	-4,186E-08	8,346E-07	5,482E-05	-0,003191	0,9729	0	-1,534	0,979
HOA	600	3,470417	0,465	-0,261863	0	0	-3,895E-09	1,641E-06	-0,000197	0,002615	1,1	0	-1,99	1,04
	2700	3,616266	0,149	-0,761561	0	0	7,859E-10	-1,91E-07	-9,128E-06	-0,0007	0,9981	0	-1,639	1,078
	14300	2,04049	0,177	1,005092	0	0	7,859E-10	-1,91E-07	-9,128E-06	-0,0007	0,9981	-0,05	-1,633	1,151

Fonte: Adaptado de IEEE 1584, 2018, p.26.

A energia incidente é determinada de acordo com E_1 , E_2 e E_3 pelas equações 20, 21 e 22 que se referem à energia incidente interpolada:

$$E_1 = \frac{E_{2700} - E_{600}}{2,1} (V_{oc} - 2,7) + E_{2700} \quad (20)$$

$$E_2 = \frac{E_{14300} - E_{2700}}{11,6} (V_{oc} - 14,3) + E_{14300} \quad (21)$$

$$E_3 = \frac{E_1(2,7 - V_{oc})}{2,1} + \frac{E_2(V_{oc} - 0,6)}{2,1} \quad (22)$$

Sendo:

E_1 o primeiro termo da interpolação entre 600 V e 2700 V (J/cm²);

E_2 o segundo termo da interpolação quando V_{oc} é maior que 2700 V (J/cm²);

E_3 o terceiro termo da interpolação quando V_{oc} é menor que 2700 V (J/cm²);

V_{oc} é a tensão de circuito aberto do equipamento (kV).

O processo de cálculo do limite de aproximação segura ocorre em duas etapas distintas. Primeiramente, são determinados os valores para três níveis de tensão padronizados (600 V, 2.700 V e 14.300 V), utilizando as Equações 23, 24 e 25 respectivamente. Posteriormente, é estabelecido o valor final para a tensão de circuito aberto do sistema por meio da interpolação dos valores intermediários (SATO, 2022).

$$AFB_{600} = 10^{\left(\frac{k1+k2\log_{10}G + \frac{k3I_{arc_600}}{k4I_{bf}^7+k5I_{bf}^6+k6I_{bf}^5+k7I_{bf}^4+k8I_{bf}^3+k9I_{bf}^2+k10I_{bf}}}{-k12} + \frac{k11\log_{10}I_{bf}+k12\log_{10}D+k13\log_{10}I_{arc_600}+\log_{10}\frac{1}{CF}-\log_{10}\frac{20}{T}}{-k12} \right)} \quad (23)$$

$$AFB_{2700} = 10^{\left(\frac{k1+k2\log_{10}G + \frac{k3I_{arc_2700}}{k4I_{bf}^7+k5I_{bf}^6+k6I_{bf}^5+k7I_{bf}^4+k8I_{bf}^3+k9I_{bf}^2+k10I_{bf}}}{-k12} + \frac{k11\log_{10}I_{bf}+k12\log_{10}D+k13\log_{10}I_{arc_2700}+\log_{10}\frac{1}{CF}-\log_{10}\frac{20}{T}}{-k12} \right)} \quad (24)$$

$$AFB_{14300} = 10^{\left(\frac{k1+k2\log_{10}G + \frac{k3I_{arc_14300}}{k4I_{bf}^7+k5I_{bf}^6+k6I_{bf}^5+k7I_{bf}^4+k8I_{bf}^3+k9I_{bf}^2+k10I_{bf}}}{-k12} + \frac{k11\log_{10}I_{bf}+k12\log_{10}D+k13\log_{10}I_{arc_14300}+\log_{10}\frac{1}{CF}-\log_{10}\frac{20}{T}}{-k12} \right)} \quad (25)$$

$$AFB_{\leq 600} = 10^{\left(\frac{k1+k2\log_{10}G + \frac{k3I_{arc_600}}{k4I_{bf}^7+k5I_{bf}^6+k6I_{bf}^5+k7I_{bf}^4+k8I_{bf}^3+k9I_{bf}^2+k10I_{bf}}}{-k12} + \frac{k11\log_{10}I_{bf}+k12\log_{10}D+k13\log_{10}I_{arc_600}+\log_{10}\frac{1}{CF}-\log_{10}\frac{20}{T}}{-k12} \right)} \quad (26)$$

Em que:

AFB_{600} é o limite de aproximação segura para $V_{oc} = 600$ V [mm];

AFB_{2700} é o limite de aproximação segura para $V_{oc} = 2.700$ V [mm];

AFB_{14300} é o limite de aproximação segura para $V_{oc} = 14.300$ V [mm];

$AFB_{\leq 600}$ é o limite de aproximação segura para $V_{oc} \leq 600$ V [mm];

I_{arc_600} é a corrente de arco eficaz para $V_{oc} = 600$ V [kA];

I_{arc_2700} é a corrente de arco eficaz para $V_{oc} = 2.700$ V [kA];

I_{arc_14300} é a corrente de arco eficaz para $V_{oc} = 14.300$ V [kA];

I_{arc} é a corrente de arco eficaz para $V_{oc} \leq 600$ V [kA];

I_{bf} é a corrente de falta franca trifásica simétrica eficaz [kA];

G é o espaçamento entre eletrodos [mm];

CF é o fator de correção de tamanho do invólucro;

T é a duração de arco [ms];

$k1$ a $k13$ são os coeficientes fornecidos na Tabela 10.

O AFB é determinado de acordo com AFB1, AFB2 e AFB3 pelas equações 27, 28 e 29 que se referem à distância segura interpolada:

$$AFB_1 = \frac{AFB_{2700} - AFB_{600}}{2,1} (V_{oc} - 2,7) + AFB_{2700} \quad (27)$$

$$AFB_2 = \frac{AFB_{14300} - AFB_{2700}}{11,6} (V_{oc} - 14,3) + AFB_{14300} \quad (28)$$

$$AFB_3 = \frac{AFB_1(2,7 - V_{oc})}{2,1} + \frac{AFB_2(V_{oc} - 0,6)}{2,1} \quad (29)$$

Sendo:

AFB_1 a primeira interpolação para equipamentos entre 600 V e 2700 V (mm);

AFB_2 o segundo termo da interpolação quando V_{oc} é maior que 2700 V (mm);

AFB_3 o terceiro termo da interpolação quando V_{oc} é menor que 2700 V (mm);

V_{oc} é a tensão de circuito aberto do equipamento (kV).

Quando a tensão nominal do equipamento estiver entre 600 V e 2,7 kV, os valores finais da energia incidente e do limite do arco voltaico serão determinados de acordo com E_3 e AFB_3 .

Já quando a tensão nominal do equipamento for maior que 2,7 kV, os valores finais de energia incidente e limite de arco voltaico são definidos como E_2 e AFB_2 .

3. DESENVOLVIMENTO

Neste capítulo é feita uma abordagem sobre como será realizada a análise do impacto das duas normas sobre um mesmo sistema. As ferramentas utilizadas para esta comparação são dois softwares: ETAP e Matlab.

3.1. Software ETAP 19.0.1

A ETAP é uma empresa que, por meio de software, busca soluções para o gerenciamento de energia, permitindo projetar, automatizar, operar e simular sistemas elétricos. A utilização desse software torna possível a idealização do nosso projeto, no qual podemos simular um mesmo SEP para as duas normas.

Nessa conjuntura, podemos realizar os cálculos de risco de arco elétrico para as normas IEEE 1584 - 2002 e 2018, permitindo a análise da emissão de energia incidente em concessionárias de transmissão e distribuição de energia em um único modelo. A versatilidade e a coerência de resultados foram determinantes para a escolha do software.

3.2. Matlab

O MATLAB é uma poderosa ferramenta de computação numérica e análise técnica utilizada em uma ampla variedade de campos, desde engenharia e ciência até finanças e biologia. Sua interface intuitiva e sua linguagem de programação eficiente permitem aos usuários realizar uma variedade de tarefas complexas, desde o processamento de sinais e imagens até a simulação de sistemas dinâmicos e a modelagem estatística. Com uma vasta coleção de bibliotecas e ferramentas especializadas, o MATLAB oferece uma plataforma abrangente para a pesquisa, o desenvolvimento e a implementação de algoritmos avançados, facilitando a análise de dados e a solução de problemas em diversas áreas.

Nesta conjuntura também utilizaremos o Matlab para realizar os cálculos de energia incidente estabelecidos na norma de forma mais orgânica e assim possibilitando que o código possa ser utilizado futuramente em outros trabalhos acadêmicos relacionados ao tema de forma gratuita.

3.3. Estudo de caso

Para que possamos realizar a análise comparativa da energia incidente calculada pelas duas normas, primeiramente iremos definir as características gerais do nosso sistema:

- Configuração dos eletrodos: VCB
- Tensão trifásica do sistema: 13,8kV
- Corrente de curto circuito: 25kA

- Espaço entre os condutores: 152mm
- Distância de trabalho: 915mm (36 pol.)
- Dimensões do enclausuramento
 - Altura:1143
 - Largura:762
 - Profundidade:762
- Tempo de acionamento da proteção: 0,2s

3.4. Configuração do sistema

3.4.1. ETAP

Através do *Arc Flash Calculator* do ETAP foram configurados todos os parâmetros determinados anteriormente para a simulação dos valores de energia incidente. Na Figura 2 abaixo estão demonstrados os campos da versão de 2018 na direita e 2002 na esquerda. É interessante observar que quando a versão de 2002 é selecionada as configurações do enclausuramento somem e no lugar surge um campo para inserir o Fator X, que foi apresentado anteriormente na Tabela 5, além da opção de aterramento do sistema. Estas mudanças representam os fatores que foram considerados em cada versão da norma.

Figura 2 -Parâmetros configurados no *Arc Flash Calculator*.

The figure displays two side-by-side screenshots of the ETAP Arc Flash Calculator software interface, comparing the IEEE 1584-2018 (left) and IEEE 1584-2002 (right) methods. Both interfaces have tabs for 'Input', 'Method', and 'Batch'. The 'Method' tab is selected, showing 'Method and Fault Type' with 'Method' set to 'IEEE 1584-2018' (left) and 'IEEE 1584-2002' (right). 'Phases' is set to '3-Phase' and 'Fault Type' is '3-Phase' in both. Under 'Input Parameters', 'Nom. V (kVLL)' is 13.8, 'Pre-Fault (%)' is 100, and 'Bolted Fault Current (kA)' is 25,000. 'Conductor Gap (mm)' is 152 and 'Working Distance (inch)' is 36.0. 'Equipment Type' is 'Switchgear'. The 2018 version includes a 'Typical Data' button and a box for dimensions: 'Height (mm)' 1143, 'Width (mm)' 762, and 'Depth (mm)' 762. The 2002 version includes an 'X-Factor' of 0.973 and 'System Grounding' set to 'Solid'. Both have 'Electrode Configuration' set to 'VCB' and 'Fault Clearing Time' set to 'User-Defined FCT (sec)' with a value of 0.200.

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2024.

3.4.2. Matlab

No Software Matlab foi desenvolvida uma interface interativa no App Designer (código no Apêndice A) para que os valores pudessem ser inseridos de forma mais dinâmica

através de uma interface intuitiva como apresentado na Figura 3 abaixo. Os dados a serem inseridos na interface correspondem ao que cada versão da norma usa nos cálculos relacionados à energia incidente e fornece como resultado a corrente de arco, o valor de energia incidente e a distância segura de aproximação.

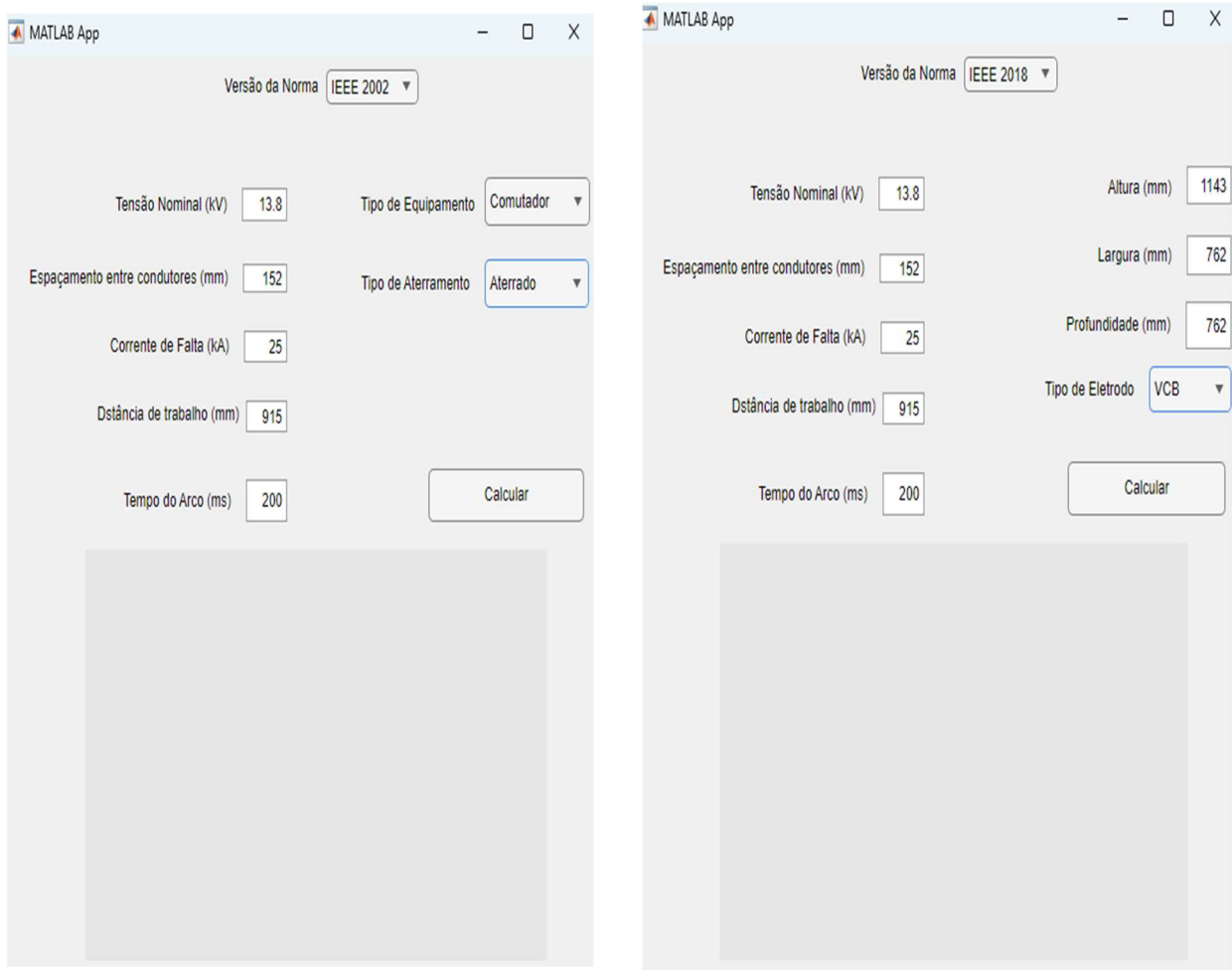
Figura 3 - App desenvolvido para cálculo da energia incidente

The image shows a MATLAB App window titled 'MATLAB App'. Inside the window, there is a dropdown menu labeled 'Versão da Norma'. Below this, there are five input fields, each with a label and a value of 0: 'Tensão Nominal (kV)', 'Espaçamento entre condutores (mm)', 'Corrente de Falta (kA)', 'Distância de trabalho (mm)', and 'Tempo do Arco (ms)'. To the right of these input fields is a button labeled 'Calcular'. Below the input fields is a large, empty rectangular area, likely intended for displaying the results of the calculation.

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2024.

Dando sequência na configuração do sistema, os valores definidos anteriormente foram inseridos conforme mostrado na Figura 4 abaixo. É interessante observar que os parâmetros solicitados pela interface mudam conforma a norma selecionada.

Figura 4 - Parâmetros configurados no Matlab App.



Fonte: Elaborado pelo Autor, 2024.

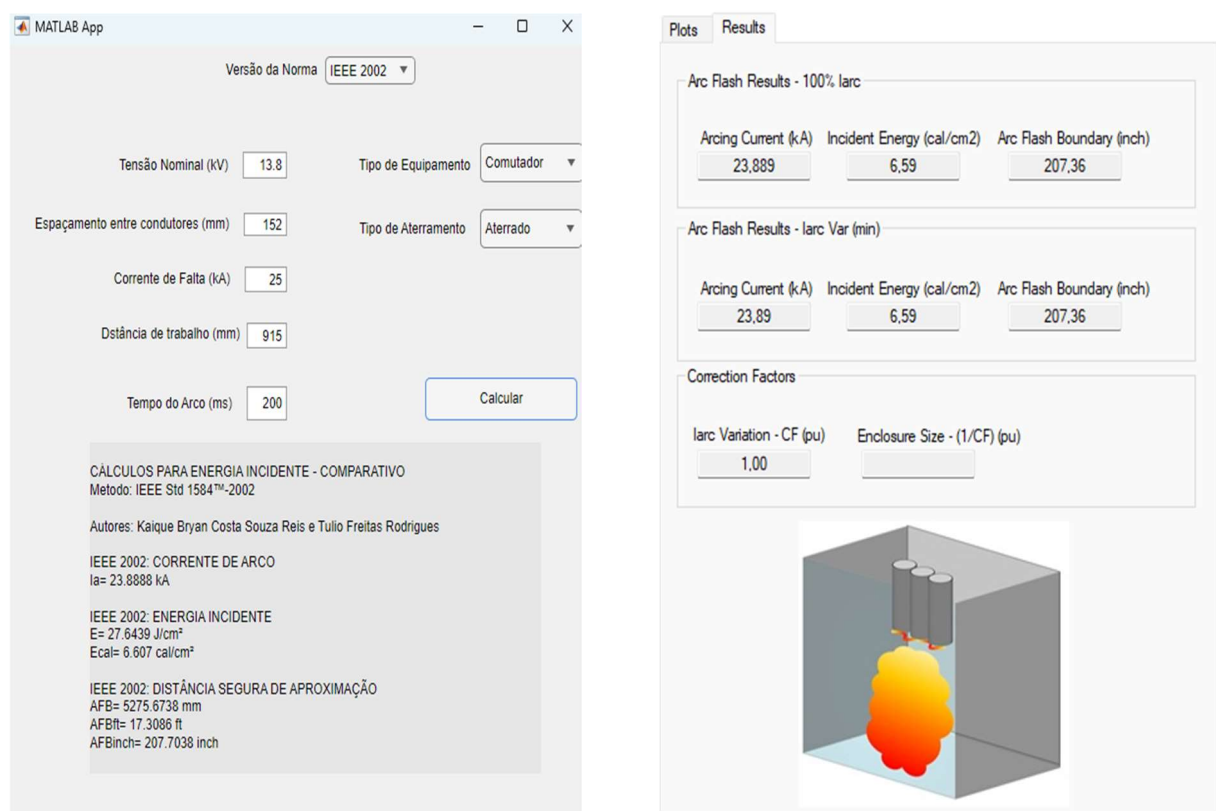
4. SIMULAÇÃO E ANÁLISE DE DADOS

Neste capítulo, serão apresentados os resultados obtidos aplicando a metodologia de cálculo de energia incidente da norma IEEE-1584 2002 e 2018, tanto utilizando o código desenvolvido em Matlab quanto simulado no ETAP para um sistema idêntico. Além disso, será realizada uma comparação entre os resultados obtidos para energia incidente e o nível de proteção para o EPI.

4.1. Análise de dados IEEE-1584 (2002)

Para a versão de 2002 da norma os resultados obtidos estão expressos abaixo na Figura 5, o valor a ser comparado no ETAP está nos campos superiores com o título *Arc Flash Results* – 100% Iarc.

Figura 5 - Resultado da simulação no Matlab App e ETAP para IEEE – 2002.



Fonte: Elaborado pelo Autor, 2024.

Os valores de corrente de arco, energia incidente e distância de segurança calculados pelo Matlab e pelo ETAP ficaram próximos com uma máxima de aproximadamente 0,25% como demonstrado na Tabela 11, essa diferença percentual foi calculada subtraindo os dois resultados e dividindo pelo o que foi encontrado no MATLAB, a equação 30 exemplifica o caso da corrente de arco.

$$\frac{I_{MATLAB} - I_{ETAP}}{I_{MATLAB}} \quad (30)$$

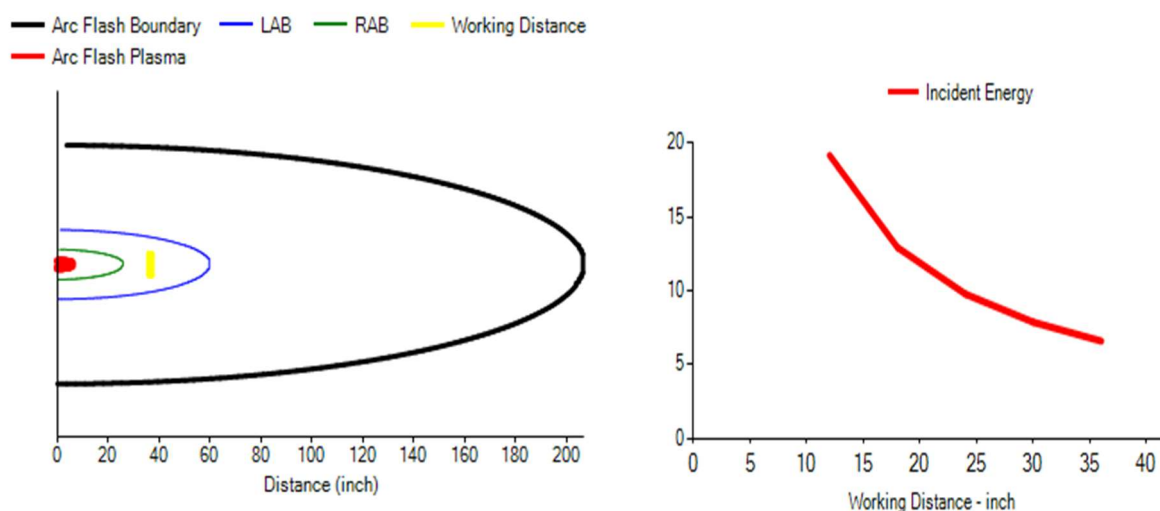
Tabela 11 - Cálculo da diferença percentual entre os resultados dos softwares na versão de 2002.

	Corrente de Arco[kA]	Energia Incidente[cal/cm ²]	AFB[pol.]
ETAP	23,88	6,59	207,36
MATLAB	23,88	6,607	207,70
Diferença [%]	0%	0,25%	0,16%

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2024.

A Figura 6 complementa a simulação realizada pelo ETAP, onde estão demonstradas as zonas de risco à exposição da energia incidente onde *Working Distance* é a distância típica de trabalho e *Arc Flash Plasma* é o alcance do plasma do arco elétrico. É interessante observar a correlação dos gráficos com a distância, a imagem da esquerda representa as zonas de interação com o evento de um arco sendo o último mais seguro para uma pessoa, a imagem da direita concorda com esse conceito expressando a diminuição da energia incidente com o aumento da distância de trabalho.

Figura 6 - Representação das distâncias desde o arco até o AFB e energia incidente liberada pela distância.



Fonte: Elaborado pelo Autor, 2024.

O "Arc Flash Boundary" (AFB) é a distância a partir de um equipamento elétrico onde uma pessoa pode estar exposta a um arco elétrico perigoso. Em outras palavras, é a distância a partir da qual uma pessoa deve usar equipamentos de proteção adequados para se proteger contra os perigos associados a um arco elétrico.

De acordo com a IEEE-2018, o AFB é definido como a distância na qual a energia incidente é igual ou menor que um certo limite específico, geralmente 1.2 cal/cm² (calorias por centímetro quadrado), que é considerado um nível seguro para exposição ao arco elétrico.

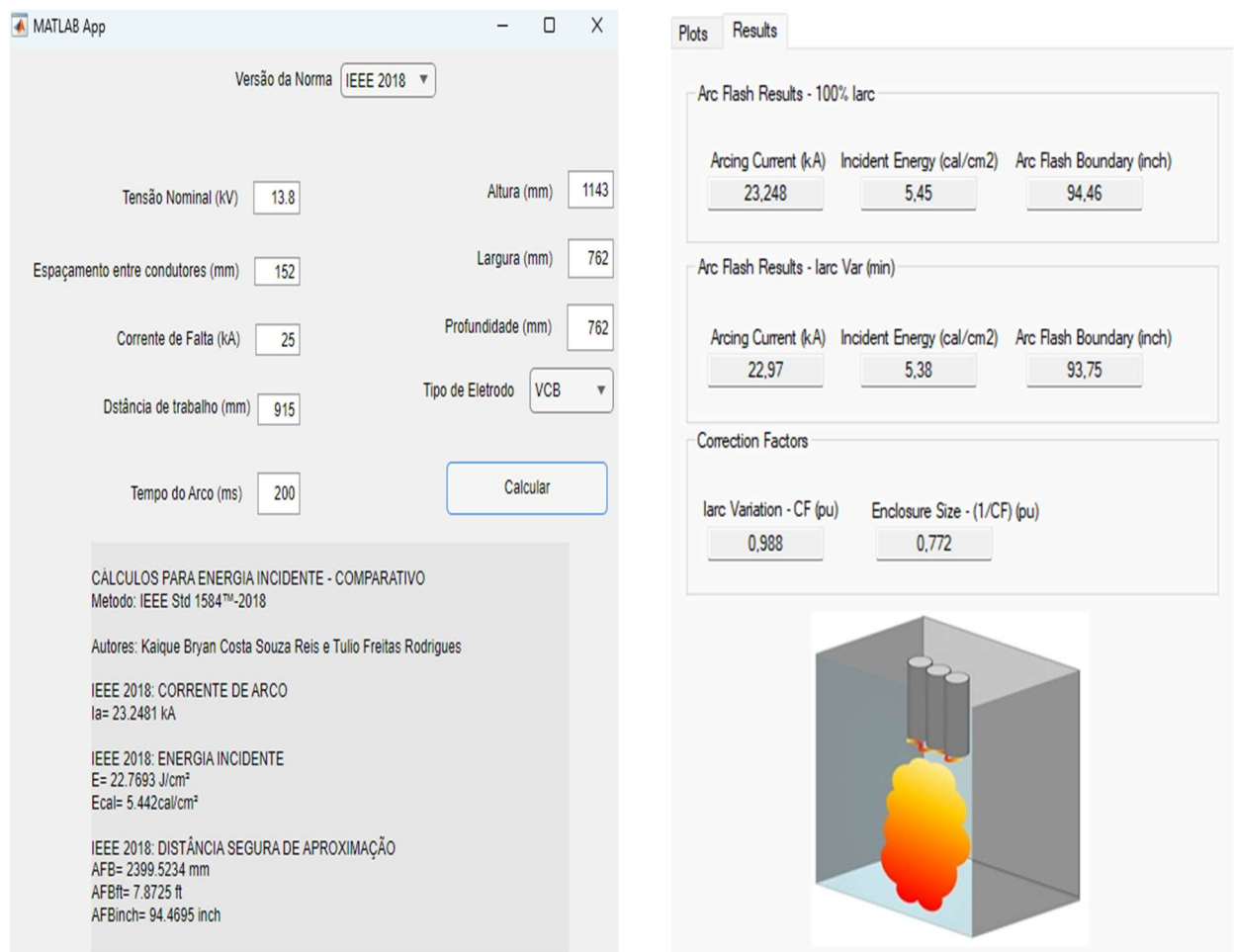
LAB, do inglês "Limited Approach Boundary", significa limite de aproximação limitada e é definido de acordo com a NFPA 70E-2012 como o limite de aproximação a uma distância de um condutor elétrico energizado exposto ou parte do circuito onde existe risco de choque. Para condutores móveis expostos, LAB é a distância que pessoas não qualificadas não podem cruzar ao se aproximar de um condutor que não esteja devidamente fixado em uma posição fixa.

RAB, do inglês "Restricted Approach Boundary", significa limite de aproximação restrita e é definido de acordo com a NFPA 70E-2018 como o limite de aproximação a uma distância de uma parte viva exposta dentro da qual há um risco aumentado de choque devido ao arco elétrico combinado com movimento inadvertido.

4.2. Análise de dados IEEE-1584 (2018)

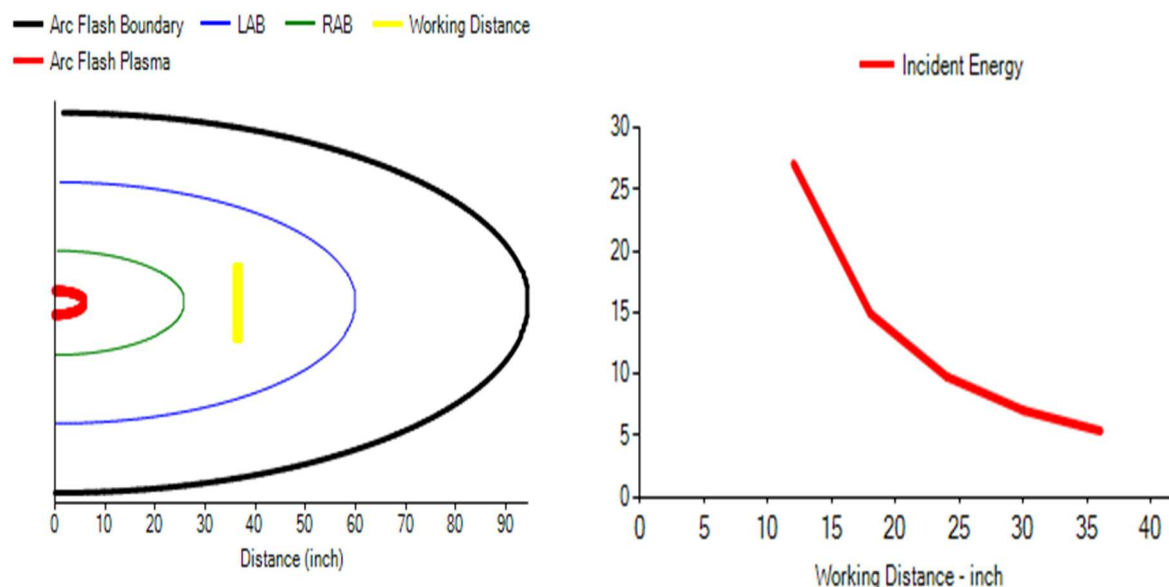
Para a versão de 2018 da norma os resultados obtidos estão expressos abaixo nas Figuras 7 e 8.

Figura 7 - Resultado da simulação no Matlab App e ETAP para IEEE – 2018.



Fonte: Elaborado pelo Autor, 2024.

Figura 8 - Representação das distâncias desde o arco até o AFB e energia incidente liberada pela distância.



Fonte: Elaborado pelo Autor, 2024.

Os valores de corrente de arco, energia incidente e distância de segurança calculados pelo Matlab e pelo ETAP ficaram próximos com uma diferença de aproximadamente 0,18% como demonstrado na Tabela 12, esta diferença também foi calculada de acordo com a equação 30.

Tabela 12- Cálculo da diferença percentual entre os resultados dos softwares na versão de 2018.

	Corrente de Arco[kA]	Energia Incidente[cal/cm ²]	AFB[pol.]
ETAP	23,248	5,45	94,46
MATLAB	23,248	5,44	94,46
Diferença [%]	0%	-0,18%	0%

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2024.

4.3. Consistência dos resultados

Para que os resultados obtidos pela interface do MATLAB tivessem confiabilidade foram realizados testes com outras configurações de sistema, ou seja, outros valores serão usados nas variáveis da tela como abaixo, os resultados estão expressos na Tabela:

- Configuração dos eletrodos: VCB
- Tensão trifásica do sistema: 2,4kV
- Corrente de curto circuito: 15kA
- Espaço entre os condutores: 103mm
- Distância de trabalho: 762mm (30 pol.)
- Dimensões do enclausuramento
 - Altura:1000
 - Largura:600
 - Profundidade:600

- Tempo de acionamento da proteção: 0,15s

Tabela 13 - Cálculo da diferença percentual entre os resultados dos softwares na versão de 2018 (Sistema 2).

	Corrente de Arco[kA]	Energia Incidente[cal/cm ²]	AFB[pol.]
ETAP	12,755	3,03	54,15
MATLAB	12,755	2,91	52,73
Diferença [%]	0%	-4,12%	-2,69%

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2024.

Para uma terceira apuração iremos utilizar um terceiro sistema conforma abaixo resultando na Tabela 14.

- Configuração dos eletrodos: VCB
- Tensão trifásica do sistema: 0,6kV
- Corrente de curto circuito: 8kA
- Espaço entre os condutores: 50mm
- Distância de trabalho: 508mm (20 pol.)
- Dimensões do enclausuramento
 - Altura:1000
 - Largura:600
 - Profundidade:600
- Tempo de acionamento da proteção: 0,2s

Tabela 14 - Cálculo da diferença percentual entre os resultados dos softwares na versão de 2018 (Sistema 3).

	Corrente de Arco[kA]	Energia Incidente[cal/cm ²]	AFB[pol.]
ETAP	6,217	2,39	30,79
MATLAB	6,217	2,29	29,98
Diferença [%]	0%	-4,36%	-2,7%

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2024.

Através da simulação dos três sistemas é possível observar um acréscimo percentual na diferença conforme o os valores das variáveis diminuem. Vale ressaltar que o valor em módulo não sofreu grande alteração e ele é o indicador determinante para a classe de proteção do EPI, logo os resultados são satisfatórios para o que o sistema propõe.

4.4. Comparação dos dados

Através da simulação pelos softwares ETAP e Matlab, conseguimos comparar os resultados usando as duas versões da IEEE 1584 e entre si para caso houvesse uma disparidade entre os métodos. O que talvez seja mais perceptível são os níveis de proteção recomendados e a energia incidente emitida. Na tabela 15 abaixo estão reunidos os dados obtidos através da simulação dos dois softwares.

Tabela 15 - Resultados das simulações.

Versão da Norma	Eletrodo	Energia Incidente (cal/cm ²)	AFB (polegadas)
2002	VCB	6,58	206,82
2018	VCB	5,45	94,46
	VCBB	9,72	125,09
	HCB	13,44	154,61
	VOA	4,46	84,64
	HOA	11,17	141,10

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2024.

Para a norma IEEE 1584-2002, a energia emitida foi de 6,58 cal/cm² e, de acordo com a Tabela 1, essa energia apresenta um risco moderado, sendo que o ATPV mínimo requerido para os EPIs desta categoria é de 8 cal/cm². Já para a norma IEEE 1584-2018, a energia emitida foi de 5,45 cal/cm² e se encontra na mesma classificação de risco da versão anterior.

Conforme mencionado, vimos que a energia incidente calculada para o mesmo sistema com a mesma configuração de eletrodos não aumentou conforme a nova atualização da norma, assim como o AFB diminuiu para menos da metade do valor. Vale ressaltar que a versão de 2002 não é concreta em relação à origem do fator X que é utilizado para se calcular a distância, uma vez que no item 5.1 da versão o modelo é descrito como derivado empiricamente e baseado em análise estatística e programas de ajuste de curva.

Entretanto, é de suma importância observar que quando simulamos com os eletrodos configurados em HCB, a energia incidente resultante foi de 13,44 cal/cm². Este valor, calculado com as especificações da norma de 2018, foi mais do que o dobro encontrado na versão de 2002. A energia incidente encontrada para os eletrodos em HCB é classificada na Tabela 1 como sendo de risco elevado, e o ATPV mínimo requerido para os EPIs desta categoria é de 25 cal/cm².

Já a configuração VOA apresentou a menor quantidade de energia incidente, de 4,46 cal/cm², permanecendo ainda na categoria de risco moderado.

5. CONCLUSÃO

Analisando os dados encontrados, podemos ver o grau de importância que é ter um estudo aprimorado para energia incidente provocada por arcos elétricos, e como a falta dessa análise pode trazer consequências para acidentes que, por sua vez, acabam sendo demasiadamente custosos, tanto financeiramente quanto em custos incalculáveis, como a vida humana.

Nessa conjuntura, os Equipamentos de Proteção Individual (EPIs) e as vestimentas de proteção devem ser utilizados após uma detalhada análise do sistema elétrico trabalhado. Para Choucair (2011), o uso excessivo de proteção pode acarretar em um aumento de peso no trabalhador, impactando negativamente no conforto e na execução de suas atividades, o que implicaria na não utilização ou na má utilização da proteção.

Dessa forma, ao compararmos as duas versões da norma IEEE 1584 para um mesmo sistema elétrico, conseguimos visualizar a discrepância que uma versão possui em relação à outra. Além do fato de que a versão de 2002 só leva em consideração testes em laboratório com os eletrodos posicionados apenas na vertical, seus resultados são muito próximos aos da versão de 2018 considerando-se também a orientação para VCB.

No entanto, o nível de proteção recomendado mostrou-se diferente, em que a versão mais nova teve uma recomendação menor, implicando que a IEEE 1584-2018, além de possuir cálculos específicos para diferentes posicionamentos dos eletrodos nos painéis, também considera o dimensionamento do enclausuramento do sistema de proteção/seccionamento, enquanto que a IEEE 1584-2002 se resguarda no uso de modelos estatísticos empíricos, softwares para ajustes de curvas e a limitação de criação do modelo para apenas duas configurações de eletrodos, o VCB e o VOA.

Quando comparamos a energia calculada para uma configuração VCB para um HCB, podemos perceber a disparidade entre as versões da norma e mais uma vez reforçar a importância do estudo sobre esse tema. Atualmente, um sistema elétrico em que a energia incidente foi calculada segundo a versão de 2002 e possui eletrodos orientados horizontalmente pode oferecer um risco maior do que o esperado às pessoas que trabalham próximas a ele.

REFERÊNCIAS

- BARCELOS, Felipe R. **Proteção elétrica em subestações: Uma abordagem sobre a energia incidente**. 2016. Dissertação (Título de Mestre em Engenharia Elétrica) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2016.
- BRASIL. Ministério do Trabalho e Previdência. Gabinete do Ministro. Portaria nº 3.214 de 08 de junho de 1978. **NR 1 – Disposições gerais e gerenciamento de riscos ocupacionais**, Brasília, DF. 18 p.
- BRASIL. Ministério do Trabalho e Previdência. Gabinete do Ministro. Portaria nº 3.214 de 08 de junho de 1978. **NR 6 – Equipamento de proteção individual**, Brasília, DF. 12 p.
- BRASIL. Ministério do Trabalho e Previdência. Gabinete do Ministro. Portaria nº 598 de 07 de dezembro de 2004. **NR 10 – Segurança em instalações e serviços em eletricidade**, Brasília, DF. 18 p.
- BRASIL. Ministério do Trabalho e Previdência - MTP. Secretaria de Inspeção do Trabalho – Secretaria de Inspeção do Trabalho - SIT / Departamento de Segurança e Saúde no Trabalho – DSST. **MANUAL DE ORIENTAÇÃO PARA ESPECIFICAÇÃO DAS VESTIMENTAS DE PROTEÇÃO CONTRA OS EFEITOS TÉRMICOS DO ARCO ELÉTRICO E DO FOGO REPENTINO**. 2020 .14p. Disponível em: https://www.gov.br/trabalho-e-emprego/pt-br/assuntos/inspecao-do-trabalho/manuais-e-publicacoes/manual_de_orientacao_para_especificacao_das_vestimentas_de_protecao_de_arco_eletrico_e_fogo_repentino.pdf/@download/file. Acesso em 02 de abril de 2024.
- CHOUCAIR, Jean Soares. **Cálculo da energia incidente para escolha adequada da vestimenta de proteção ao arco elétrico**. 2011. 40 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Pós-Graduação em Engenharia de Segurança do Trabalho) - Faculdade de Engenharia, Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2011.
- ETAP; 19.0.1. Electrical Transient and Analysis Program. Califórnia, USA, 2005. Disponível em: <https://etap.com/home>. Acesso em: 30 nov. 2021.
- FANTONI; INÁCIO; TENÁGLIA. *Comparative Study of Incident Energy Calculation Methodologies using IEEE-1584 2018, IEEE-1584 2002 and ARCPRO:Real Case Study*. 2021. Disponível em: < https://www.sba.org.br/open_journal_systems/index.php/sbse/article/view/2467>. Acesso em: 12 de novembro de 2021.
- LANG M. e NEAL T. *Arc Flash Basics: Testing*. 2007 Disponível em: < https://ep-de.mersen.com/sites/mercen_de/files/2018-11/WP-Arc-Flash-Basics-Testing-Update-White-Paper.pdf>. Acesso em: 26 de nov. de 2021.
- LEE, Ralph H. *The Other Electrical Hazard: Electrical Arc Blast Burns*. IEEE Transactions on Industry Applications, v. IA-18, p. 246-251, 1982.
- LEE, Ralph H. *Pressures Developed by Arcs*. IEEE Transactions on Industry Applications , Vol. IA-23, pp.760-764, 1987.

IEEE Std 1584, 2002. **IEEE Guide for Performing Arc Flash Hazard Calculations**, in *IEEE Std 1584-2002* , vol., no., pp.1-113, 23 Sept. 2002, doi: 10.1109/IEEESTD.2002.94138.

IEEE Std 1584, 2018. **IEEE Guide for Performing Arc-Flash Hazard Calculations**, in *IEEE Std 1584-2018 (Revision of IEEE Std 1584-2002)* , vol., no., pp.1-134, 30 Nov. 2018, doi: 10.1109/IEEESTD.2018.8563139.

MARTINHO, Edson. DE SOUZA, Danilo Ferreira; MARTINHO, Meire Biudes; MARTINS JR. Walter Aguiar. MORITA, Lia Hanna Martins; MAIONCHI, Daniela de Oliveira (Org.). **ANUÁRIO ESTATÍSTICO DE ACIDENTES DE ORIGEM ELÉTRICA 2024 – Ano base 2023**. Salto-SP: Abracopel, 2023. DOI: 10.29327/5388685

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

NFPA 70E, 2012. **National Fire Protection Association, NFPA 70E: Standard for Electrical Safety in the Workplace**.

OLIVEIRA, Dandara. **RISCOS ELÉTRICOS: UMA ABORDAGEM SOBRE O ARCO ELÉTRICO E ESTUDO DE CASO**. Ijuí: UNIVERSIDADE REGIONAL DO NOROESTE DO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL, 2020.

OLIVEIRA, Leandro Junior. **ARCO ELÉTRICO EM SISTEMAS INDUSTRIAIS: MÉTODOS DE CÁLCULO E MEDIDAS DE MITIGAÇÃO**. Itajubá: Universidade Federal de Itajubá, 2021.

QUADROS, Diego Secco de. **TRABALHO EM PAINÉIS ELÉTRICOS ENERGIZADOS: O ESTUDO DE ENERGIA INCIDENTE BASEADO NAS NORMAS NFPA 70E E IEEE 1584:2018**. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2019.

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

SATO, Edson Fernando Machado. **ARCO ELÉTRICO E ENERGIA INCIDENTE EM SISTEMAS ELÉTRICOS INDUSTRIAIS**, Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica - UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ, Itajubá, 2022. Disponível em: <https://repositorio.unifei.edu.br/xmlui/handle/123456789/3426>. Acesso em: 25 de março de 2024.

SILVEIRA, Evanildo. Arco da sobrevivência. **Revista Pesquisa FAPESP**, São Paulo, v. 251, p. 78-79, jan 2017. Disponível em: < <https://revistapesquisa.fapesp.br/arco-da-sobrevivencia/> >. Acesso em: 25 de outubro de 2021.

T. CRNKO e S. DYRNES. **Arcing flash/blast review with safety suggestions for design and maintenance**. Registro da *Conferência Técnica Anual da Indústria de Papel e Celulose (Cat. No.00CH37111)*, 2000, pp. 118-126, doi: 10.1109/PAPCON.2000.854206.

R. Wilkins, M. Allison e M. Lang. "Effect of electrode orientation in arc flash testing" Quarta Reunião Anual do IAS. Registro da Conferência de Aplicações da Indústria de 2005. 2005, pp. 459-465 Vol. 1, doi: 10.1109/IAS.2005.1518348

APÊNDICE A – Código Desenvolvido no Matlab App

```
classdef APP < matlab.apps.AppBase

    % Properties that correspond to app components
    properties (Access = public)
        UIFigure                matlab.ui.Figure
        TipodeEquipamentoDropDown matlab.ui.control.DropDown
        TipodeEquipamentoDropDownLabel matlab.ui.control.Label
        Label                    matlab.ui.control.Label
        CalcularButton           matlab.ui.control.Button
        TipodeAterramentoDropDown matlab.ui.control.DropDown
        TipodeAterramentoDropDownLabel matlab.ui.control.Label
        TempodoArcomsEditField   matlab.ui.control.NumericEditField
        TempodoArcomsEditFieldLabel matlab.ui.control.Label
        TipodeEletrodoDropDown   matlab.ui.control.DropDown
        TipodeEletrodoDropDownLabel matlab.ui.control.Label
        ProfundidademmEditField   matlab.ui.control.NumericEditField
        ProfundidademmEditFieldLabel matlab.ui.control.Label
        LargurammEditField        matlab.ui.control.NumericEditField
        LargurammEditFieldLabel   matlab.ui.control.Label
        AlturammEditField         matlab.ui.control.NumericEditField
        AlturammEditFieldLabel    matlab.ui.control.Label
        DstnciadetrabalhomEditField matlab.ui.control.NumericEditField
        DstnciadetrabalhomEditFieldLabel matlab.ui.control.Label
        EspaamentoentrecondutoresmmEditField matlab.ui.control.NumericEditField
        EspaamentoentrecondutoresmmEditFieldLabel matlab.ui.control.Label
        CorrentedeFaltakAEditField matlab.ui.control.NumericEditField
        CorrentedeFaltakAEditFieldLabel matlab.ui.control.Label
        TensoNominalkVEditField   matlab.ui.control.NumericEditField
        TensoNominalkVEditFieldLabel matlab.ui.control.Label
        VersodaNormaDropDown       matlab.ui.control.DropDown
        VersodaNormaDropDownLabel  matlab.ui.control.Label
    end

    properties (Access = public)
        V
        G
        Ibf
        D
        t
        x
        K2
        Altura
        Comprimento
        Profundidade
        Modo
    end
end
```

% Callbacks that handle component events

methods (Access = private)

% Value changed function: VersodaNormaDropDown

function VersodaNormaDropDownValueChanged(app, event)

value = app.VersodaNormaDropDown.Value;

if value == "IEEE 2002"

```

    app.TipodeEletrodoDropDown.Visible = "off";
    app.TipodeEletrodoDropDownLabel.Visible = "off";
    app.ProfundidademmEditField.Visible = "off";
    app.ProfundidademmEditFieldLabel.Visible = "off";
    app.LargurammEditField.Visible = "off";
    app.LargurammEditFieldLabel.Visible = "off";
    app.AlturammEditField.Visible = "off";
    app.AlturammEditFieldLabel.Visible = "off";
    app.TipodeEquipamentoDropDown.Visible = "on";
    app.TipodeEquipamentoDropDownLabel.Visible = "on";
    app.TipodeAterramentoDropDown.Visible = "on";
    app.TipodeAterramentoDropDownLabel.Visible = "on";

```

else

```

    app.TipodeEletrodoDropDown.Visible = "on";
    app.TipodeEletrodoDropDownLabel.Visible = "on";
    app.ProfundidademmEditField.Visible = "on";
    app.ProfundidademmEditFieldLabel.Visible = "on";
    app.LargurammEditField.Visible = "on";
    app.LargurammEditFieldLabel.Visible = "on";
    app.AlturammEditField.Visible = "on";
    app.AlturammEditFieldLabel.Visible = "on";
    app.TipodeEquipamentoDropDown.Visible = "off";
    app.TipodeEquipamentoDropDownLabel.Visible = "off";
    app.TipodeAterramentoDropDown.Visible = "off";
    app.TipodeAterramentoDropDownLabel.Visible = "off";

```

end

end

% Value changed function: TensaNominalkVEditField

function TensaNominalkVEditFieldValueChanged(app, event)

value = app.TensaNominalkVEditField.Value;

app.V = value;

end

% Value changed function: EspaamentoentrecondutoresmmEditField

function EspaamentoentrecondutoresmmEditFieldValueChanged(app, event)

value = app.EspaamentoentrecondutoresmmEditField.Value;

app.G = value;

end

% Value changed function: CorrentedeFaltakAEditField

function CorrentedeFaltakAEditFieldValueChanged(app, event)

value = app.CorrentedeFaltakAEditField.Value;

app.Ibf = value;

end

% Value changed function: DstnciadetrabalhommmEditField

function DstnciadetrabalhommmEditFieldValueChanged(app, event)

value = app.DstnciadetrabalhommmEditField.Value;

```

        app.D = value;
    end

    % Value changed function: TempodoArcomsEditField
    function TempodoArcomsEditFieldValueChanged(app, event)
        value = app.TempodoArcomsEditField.Value;
        app.t = value;
    end

    % Callback function
    function FatorXEditFieldValueChanged(app, event)
        value = app.FatorXEditField.Value;
        app.x = value;
    end

    % Value changed function: TipodeAterramentoDropDown
    function TipodeAterramentoDropDownValueChanged(app, event)
        value = app.TipodeAterramentoDropDown.Value;
        if value == "Aterrado" || value == "Impedancia"
            app.K2 = -0.113;
        elseif value == "Aberto"
            app.K2 = 0;
        end
    end

    end

    % Value changed function: AlturammEditField
    function AlturammEditFieldValueChanged(app, event)
        value = app.AlturammEditField.Value;
        app.Altura = value;
    end

    % Value changed function: LargurammEditField
    function LargurammEditFieldValueChanged(app, event)
        value = app.LargurammEditField.Value;
        app.Comprimento = value;
    end

    % Value changed function: ProfundidademmEditField
    function ProfundidademmEditFieldValueChanged(app, event)
        value = app.ProfundidademmEditField.Value;
        app.Profundidade = value;
    end

    % Value changed function: TipodeEletrodoDropDown
    function TipodeEletrodoDropDownValueChanged(app, event)
        value = app.TipodeEletrodoDropDown.Value;
        app.Modo = value;
    end

    % Button pushed function: CalcularButton
    function CalcularButtonPushed(app, event)
        if app.VersodaNormaDropDown.Value == "IEEE 2002"

            %clear
            clc

            disp('CÁLCULOS PARA ENERGIA INCIDENTE - COMPARATIVO')

```

```

disp('Metodo: IEEE Std 1584™-2002')
disp('Tipo: VCB')
disp('Autores: Kaique Bryan Costa Souza Reis e Tulio Freitas
Rodrigues')
disp(' ')

disp('IEEE 2002: CORRENTE DE ARCO')
%Ibf = 25.000; %corrente de falta franca trifásica em kA
%V=13.8; %tensão do sistema em kV
if app.V>=1
logIa= 0.00402+0.983*log10(app.Ibf);
Ia = 10^(logIa); %corrente de arco elétrico
disp(['Ia= ',num2str(Ia),' kA']);
else
K = -0.097; % uma constante devido o tipo de ambiente em questão,
sendo -0.153 para configurações abertas e -0.097 para configurações fechadas;
%G = 153; %espaçamento entre os condutores em mm
logIa = K + 0.662*log10(app.Ibf) + 0.0966*app.V + 0.000526*app.G +
0.5588*app.V*log10(app.Ibf) - 0.00304*app.G*log10(app.Ibf);
Ia = 10^(logIa); %corrente de arco elétrico
disp(['Ia= ',num2str(Ia),' kA'])
end
disp(' ')
disp('IEEE 2002: ENERGIA INCIDENTE NORMALIZADA ')
K1 = -0.555; %para equipamentos fechados em configuração
enclausurada

%K2 = -0.113; %para sistemas aterrados
%G = 153; %espaçamento entre os condutores em mm, conforme Tabela
3

logEn = K1 + app.K2 + 1.081*log10(Ia) + 0.0011*app.G ;
disp(['logEn= ',num2str(logEn),' J/cm²']);
En = 10^(logEn);
disp(['En= ',num2str(En),' J/cm²']); %En é a ENERGIA INCIDENTE
NORMALIZADA para o intervalo de tempo e distância propostos
Encal = En/4.184; %transmofrma J/cm² em cal/cm² dividir por 4.184
disp(['Encal= ',num2str(Encal),' cal/cm²']);

disp(' ')
disp('IEEE 2002: ENERGIA INCIDENTE')
if app.V>=1
Cf = 1; %constante de cálculo, sendo 1 para tensões acima de 1
kV

else
Cf = 1.5; %constante de cálculo, sendo 1.5 para tensões abaixo
de 1 kV

end
app.D = 910; %distancia de trabalho em mm (para cabos), conforme
Tabela 2

app.t = 0.2; %tempo de arco em segundos;
app.x = 0.973; %fator para equipamento conforme classe de tensão
conforme Tabela 3
E = 4.184*Cf*En*(app.t/0.2)*(610^app.x/app.D^app.x);
disp(['E= ',num2str(E),' J/cm²']);
Ecal = E/4.184; %transmofrma J/cm² em cal/cm² dividir por 4.184
disp(['Ecal= ',num2str(Ecal),' cal/cm²']);

disp(' ')
disp('IEEE 2002: DISTÂNCIA SEGURA DE APROXIMAÇÃO')

```

```

Eb = 5;%é a energia incidente na distância segura de aproximação,
em J/cm²

Db = (4.184*Cf*En*(app.t/0.2)*(610^app.x / Eb))^(1/app.x); %Db é a
distância segura de aproximação ao ponto do arco, em mm;
disp(['Db= ',num2str(Db),' mm']);
Dbft= Db*0.00328084;
disp(['Dbft= ',num2str(Dbft),' ft']);
Dbinch=Db*0.0393701;
disp(['Dbinch= ',num2str(Dbinch),' inch']);

Texto = ["CÁLCULOS PARA ENERGIA INCIDENTE - COMPARATIVO"; ...
"Metodo: IEEE Std 1584™-2002"; ...
""; ...
"Autores: Kaique Bryan Costa Souza Reis e Tulio Freitas
Rodrigues"; ...
""; ...
"IEEE 2002: CORRENTE DE ARCO"; ...
"Ia= " + num2str(Ia) + " kA"; ...
""; ...
"IEEE 2002: ENERGIA INCIDENTE"; ...
"E= " + num2str(E) + " J/cm²"; ...
"Ecal= " + num2str(Ecal) + " cal/cm²"; ...
""; ...
"IEEE 2002: DISTÂNCIA SEGURA DE APROXIMAÇÃO"; ...
"AFB= " + num2str(Db) + " mm"; ...
"AFBft= " + num2str(Dbft) + " ft"; ...
"AFBinch= " + num2str(Dbinch) + " inch"];

app.Label.Text = strjoin(Texto, '\n');

elseif app.VersodaNormaDropDown.Value == "IEEE 2018"

%clear
clc
disp('CÁLCULOS PARA ENERGIA INCIDENTE - COMPARATIVO')
disp('Metodo: IEEE Std 1584™-2018')
disp('Autores: Kaique Bryan Costa Souza Reis e Tulio Freitas Rodrigues')

%Reescrevendo os valores das variáveis
app.V = app.TensoNominalkVEditField.Value;
app.G = app.EspaamentoentrecondutoresmmEditField.Value;
app.Ibf = app.CorrentedeFaltakAEditField.Value;
app.D = app.DstnciadetrabalhommmEditField.Value;
app.t = app.TempodoArcomsEditField.Value;
app.Altura = app.AlturammEditField.Value;
app.Comprimento = app.LargurammEditField.Value;
app.Profundidade = app.ProfundidademmEditField.Value;
app.Modos = app.TipodeEletrodoDropDown.Value;

disp(['Modos: ',num2str(app.Modos)]);
disp(' ')

disp('IEEE Std 1584™-2018: DETERMINAÇÃO DAS CORRENTES INTERMEDIARIAS')

IE_coef=[-0.04287 1.035 -0.083 0 0 -4.783e-9 1.962e-6 -0.000229 0.003141
1.092;0.0065 1.001 -0.024 -1.557e-12 4.556e-10 -4.186e-8 8.346e-7 0.00005482 -
0.003191 0.9729;0.005795 1.015 -0.011 -1.557e-12 4.556e-10 -4.186e-8 8.346e-7

```

```

0.00005482 -0.003191 0.9729;-0.017432 0.98 -0.05 0 0 -5.767e-9 2.524e-6 -0.00034
0.01187 1.013;0.002823 0.995 -0.0125 0 -9.204e-11 2.901e-8 3.262e-10 0.0001569 -
0.004003 0.9825;0.014827 1.01 -0.01 0 -9.204e-11 2.901e-8 3.262e-10 0.0001569 -
0.004003 0.9825;0.054922 0.988 -0.11 0 0 -5.382e-9 2.316e-6 -0.000302 0.0091
0.9725;0.001011 1.003 -0.0249 0 0 4.859e-10 -1.814e-7 -9.128e-6 -0.0007
0.9881;0.008693 0.999 -0.02 0 -5.043e-11 2.233e-8 -3.046e-6 0.000116 -0.001145
0.9839;0.043785 1.04 -0.18 0 0 -4.783e-9 1.962e-6 -0.000229 0.003141 1.092;-
0.02395 1.006 -0.0188 -1.557e-12 4.556e-10 -4.186e-8 8.346e-7 0.00005482 -0.003191
0.9729;0.005371 1.0102 -0.029 -1.557e-12 4.556e-10 -4.186e-8 8.346e-7 0.00005482 -
0.003191 0.9729;0.111147 1.008 -0.24 0 0 -3.895e-9 1.641e-6 -0.000197 0.002615
1.1;0.000435 1.006 -0.038 0 0 7.859e-10 -1.914e-7 -9.128e-6 -0.0007
0.9981;0.000904 0.999 -0.02 0 0 7.859e-10 -1.914e-7 -9.128e-6 -0.0007 0.9981];

if app.Modo == "VCB"
    Iarc_600 = 10^(IE_coef(1,1)+ IE_coef(1,2)*log10(app.Ibf) +
    IE_coef(1,3)*log10(app.G)) * (IE_coef(1,4)*app.Ibf^6 + IE_coef(1,5)*app.Ibf^5 +
    IE_coef(1,6)*app.Ibf^4 + IE_coef(1,7)*app.Ibf^3 + IE_coef(1,8)*app.Ibf^2 +
    IE_coef(1,9)*app.Ibf + IE_coef(1,10));
    disp(['Iarc_600= ',num2str(Iarc_600), ' kA']);
    if app.V < 0.6
        %Iarc é a corrente de arco final na tensão especificada!
        Iarc = 1/sqrt((0.6/app.V)^2 * (1/(Iarc_600^2) - (0.6^2 -
        app.V^2)/(0.6^2 * app.Ibf^2)));
        disp(['Iarc= ',num2str(Iarc), ' kA']);
    else
        Iarc_2700 = 10^(IE_coef(2,1) + IE_coef(2,2)*log10(app.Ibf) +
        IE_coef(2,3)*log10(app.G)) * (IE_coef(2,4)*app.Ibf^6 + IE_coef(2,5)*app.Ibf^5 +
        IE_coef(2,6)*app.Ibf^4 + IE_coef(2,7)*app.Ibf^3 + IE_coef(2,8)*app.Ibf^2 +
        IE_coef(2,9)*app.Ibf + IE_coef(2,10));
        disp(['Iarc_2700= ',num2str(Iarc_2700), ' kA']);
        Iarc_14300 = 10^(IE_coef(3,1) + IE_coef(3,2)*log10(app.Ibf) +
        IE_coef(3,3)*log10(app.G)) * (IE_coef(3,4)*app.Ibf^6 + IE_coef(3,5)*app.Ibf^5 +
        IE_coef(3,6)*app.Ibf^4 + IE_coef(3,7)*app.Ibf^3 + IE_coef(3,8)*app.Ibf^2 +
        IE_coef(3,9)*app.Ibf + IE_coef(3,10));
        disp(['Iarc_14300= ',num2str(Iarc_14300), ' kA']);
    end
elseif app.Modo == "VCBB"
    Iarc_600 = 10^(IE_coef(4,1)+ IE_coef(4,2)*log10(app.Ibf) +
    IE_coef(4,3)*log10(app.G)) * (IE_coef(4,4)*app.Ibf^6 + IE_coef(4,5)*app.Ibf^5 +
    IE_coef(4,6)*app.Ibf^4 + IE_coef(4,7)*app.Ibf^3 + IE_coef(4,8)*app.Ibf^2 +
    IE_coef(4,9)*app.Ibf + IE_coef(4,10));
    disp(['Iarc_600= ',num2str(Iarc_600), ' kA']);
    if app.V < 0.6
        %Iarc é a corrente de arco final na tensão especificada!
        Iarc = 1/sqrt((0.6/app.V)^2 * (1/(Iarc_600^2) - (0.6^2 -
        app.V^2)/(0.6^2 * app.Ibf^2)));
        disp(['Iarc= ',num2str(Iarc), ' kA']);
    else
        Iarc_2700 = 10^(IE_coef(5,1) + IE_coef(5,2)*log10(app.Ibf) +
        IE_coef(5,3)*log10(app.G)) * (IE_coef(5,4)*app.Ibf^6 + IE_coef(5,5)*app.Ibf^5 +
        IE_coef(5,6)*app.Ibf^4 + IE_coef(5,7)*app.Ibf^3 + IE_coef(5,8)*app.Ibf^2 +
        IE_coef(5,9)*app.Ibf + IE_coef(5,10));
        disp(['Iarc_2700= ',num2str(Iarc_2700), ' kA']);
        Iarc_14300 = 10^(IE_coef(6,1) + IE_coef(6,2)*log10(app.Ibf) +
        IE_coef(6,3)*log10(app.G)) * (IE_coef(6,4)*app.Ibf^6 + IE_coef(6,5)*app.Ibf^5 +
        IE_coef(6,6)*app.Ibf^4 + IE_coef(6,7)*app.Ibf^3 + IE_coef(6,8)*app.Ibf^2 +
        IE_coef(6,9)*app.Ibf + IE_coef(6,10));
        disp(['Iarc_14300= ',num2str(Iarc_14300), ' kA']);
    end
end

```

```

end
elseif app.Modo == "HCB"
    Iarc_600 = 10^(IE_coef(7,1)+ IE_coef(7,2)*log10(app.Ibf) +
    IE_coef(7,3)*log10(app.G)) * (IE_coef(7,4)*app.Ibf^6 + IE_coef(7,5)*app.Ibf^5 +
    IE_coef(7,6)*app.Ibf^4 + IE_coef(7,7)*app.Ibf^3 + IE_coef(7,8)*app.Ibf^2 +
    IE_coef(7,9)*app.Ibf + IE_coef(7,10));
    disp(['Iarc_600= ',num2str(Iarc_600), ' kA']);
    if app.V < 0.6
        %Iarc é a corrente de arco final na tensão especificada!
        Iarc = 1/sqrt((0.6/app.V)^2 * (1/(Iarc_600^2) - (0.6^2 -
app.V^2)/(0.6^2 * app.Ibf^2)));
        disp(['Iarc= ',num2str(Iarc), ' kA']);
    else
        Iarc_2700 = 10^(IE_coef(8,1) + IE_coef(8,2)*log10(app.Ibf) +
    IE_coef(8,3)*log10(app.G)) * (IE_coef(8,4)*app.Ibf^6 + IE_coef(8,5)*app.Ibf^5 +
    IE_coef(8,6)*app.Ibf^4 + IE_coef(8,7)*app.Ibf^3 + IE_coef(8,8)*app.Ibf^2 +
    IE_coef(8,9)*app.Ibf + IE_coef(8,10));
        disp(['Iarc_2700= ',num2str(Iarc_2700), ' kA']);
        Iarc_14300 = 10^(IE_coef(9,1) + IE_coef(9,2)*log10(app.Ibf) +
    IE_coef(9,3)*log10(app.G)) * (IE_coef(9,4)*app.Ibf^6 + IE_coef(9,5)*app.Ibf^5 +
    IE_coef(9,6)*app.Ibf^4 + IE_coef(9,7)*app.Ibf^3 + IE_coef(9,8)*app.Ibf^2 +
    IE_coef(9,9)*app.Ibf + IE_coef(9,10));
        disp(['Iarc_14300= ',num2str(Iarc_14300), ' kA']);
    end
elseif app.Modo == "VOA"
    Iarc_600 = 10^(IE_coef(10,1)+ IE_coef(10,2)*log10(app.Ibf) +
    IE_coef(10,3)*log10(app.G)) * (IE_coef(10,4)*app.Ibf^6 + IE_coef(10,5)*app.Ibf^5 +
    IE_coef(10,6)*app.Ibf^4 + IE_coef(10,7)*app.Ibf^3 + IE_coef(10,8)*app.Ibf^2 +
    IE_coef(10,9)*app.Ibf + IE_coef(10,10));
    disp(['Iarc_600= ',num2str(Iarc_600), ' kA']);
    if app.V < 0.6
        %Iarc é a corrente de arco final na tensão especificada!
        Iarc = 1/sqrt((0.6/app.V)^2 * (1/(Iarc_600^2) - (0.6^2 -
app.V^2)/(0.6^2 * app.Ibf^2)));
        disp(['Iarc= ',num2str(Iarc), ' kA']);
    else
        Iarc_2700 = 10^(IE_coef(11,1) + IE_coef(11,2)*log10(app.Ibf) +
    IE_coef(11,3)*log10(app.G)) * (IE_coef(11,4)*app.Ibf^6 + IE_coef(11,5)*app.Ibf^5 +
    IE_coef(11,6)*app.Ibf^4 + IE_coef(11,7)*app.Ibf^3 + IE_coef(11,8)*app.Ibf^2 +
    IE_coef(11,9)*app.Ibf + IE_coef(11,10));
        disp(['Iarc_2700= ',num2str(Iarc_2700), ' kA']);
        Iarc_14300 = 10^(IE_coef(12,1) + IE_coef(12,2)*log10(app.Ibf) +
    IE_coef(12,3)*log10(app.G)) * (IE_coef(12,4)*app.Ibf^6 + IE_coef(12,5)*app.Ibf^5 +
    IE_coef(12,6)*app.Ibf^4 + IE_coef(12,7)*app.Ibf^3 + IE_coef(12,8)*app.Ibf^2 +
    IE_coef(12,9)*app.Ibf + IE_coef(12,10));
        disp(['Iarc_14300= ',num2str(Iarc_14300), ' kA']);
    end
elseif app.Modo == "HOA"
    Iarc_600 = 10^(IE_coef(13,1)+ IE_coef(13,2)*log10(app.Ibf) +
    IE_coef(13,3)*log10(app.G)) * (IE_coef(13,4)*app.Ibf^6 + IE_coef(13,5)*app.Ibf^5 +
    IE_coef(13,6)*app.Ibf^4 + IE_coef(13,7)*app.Ibf^3 + IE_coef(13,8)*app.Ibf^2 +
    IE_coef(13,9)*app.Ibf + IE_coef(13,10));
    disp(['Iarc_600= ',num2str(Iarc_600), ' kA']);
    if app.V < 0.6
        %Iarc é a corrente de arco final na tensão especificada!
        Iarc = 1/sqrt((0.6/app.V)^2 * (1/(Iarc_600^2) - (0.6^2 -
app.V^2)/(0.6^2 * app.Ibf^2)));
        disp(['Iarc= ',num2str(Iarc), ' kA']);
    end
end

```

```

else
    Iarc_2700 = 10^(IE_coef(14,1) + IE_coef(14,2)*log10(app.Ibf) +
    IE_coef(14,3)*log10(app.G)) * (IE_coef(14,4)*app.Ibf^6 + IE_coef(14,5)*app.Ibf^5 +
    IE_coef(14,6)*app.Ibf^4 + IE_coef(14,7)*app.Ibf^3 + IE_coef(14,8)*app.Ibf^2 +
    IE_coef(14,9)*app.Ibf + IE_coef(14,10));
    disp(['Iarc_2700= ', num2str(Iarc_2700), ' kA']);
    Iarc_14300 = 10^(IE_coef(15,1) + IE_coef(15,2)*log10(app.Ibf) +
    IE_coef(15,3)*log10(app.G)) * (IE_coef(15,4)*app.Ibf^6 + IE_coef(15,5)*app.Ibf^5 +
    IE_coef(15,6)*app.Ibf^4 + IE_coef(15,7)*app.Ibf^3 + IE_coef(15,8)*app.Ibf^2 +
    IE_coef(15,9)*app.Ibf + IE_coef(15,10));
    disp(['Iarc_14300= ', num2str(Iarc_14300), ' kA']);
end
end
disp(' ')
disp('IEEE Std 1584™-2018: DETERMINAÇÃO DA CORRENTES FINAL DO ARCO')
VarCf_coef = [0 -1.43e-6 8.31e-5 -1.94e-3 2.24e-2 -1.26e-1 3.02e-1; 1.14e-6 -6.03e-
5 1.28e-3 -1.38e-2 8.02e-2 -2.41e-1 3.35e-1; 0 -3.1e-6 1.64e-4 -3.36e-3 3.33e-2 -
1.62e-1 3.46e-1; 9.56e-7 -5.15e-5 1.12e-3 -1.24e-2 7.51e-2 -2.36e-1 3.37e-1; 0 -
3.16e-6 1.68e-4 -3.46e-3 3.41e-2 -1.60e-1 3.46e-1];
if app.V < 0.6
    if app.Mod0 == "VCB"
        VarCf = VarCf_coef(1,1)*app.V^6 + VarCf_coef(1,2)*app.V^5 +
        VarCf_coef(1,3)*app.V^4 + VarCf_coef(1,4)*app.V^3 + VarCf_coef(1,5)*app.V^2 +
        VarCf_coef(1,6)*app.V + VarCf_coef(1,7);
        disp(['VarCf= ', num2str(VarCf)]);
        Iarc_min = Iarc*(1-0.5*VarCf);
        disp(['Iarc_min= ', num2str(Iarc_min), 'kA']);
        disp(' ')
    elseif app.Mod0 == "VCBB"
        VarCf = VarCf_coef(2,1)*app.V^6 + VarCf_coef(2,2)*app.V^5 +
        VarCf_coef(2,3)*app.V^4 + VarCf_coef(2,4)*app.V^3 + VarCf_coef(2,5)*app.V^2 +
        VarCf_coef(2,6)*app.V + VarCf_coef(2,7);
        disp(['VarCf= ', num2str(VarCf)]);
        Iarc_min = Iarc*(1-0.5*VarCf);
        disp(['Iarc_min= ', num2str(Iarc_min), 'kA']);
        disp(' ')
    elseif app.Mod0 == "HCB"
        VarCf = VarCf_coef(3,1)*app.V^6 + VarCf_coef(3,2)*app.V^5 +
        VarCf_coef(3,3)*app.V^4 + VarCf_coef(3,4)*app.V^3 + VarCf_coef(3,5)*app.V^2 +
        VarCf_coef(3,6)*app.V + VarCf_coef(3,7);
        disp(['VarCf= ', num2str(VarCf)]);
        Iarc_min = Iarc*(1-0.5*VarCf);
        disp(['Iarc_min= ', num2str(Iarc_min), 'kA']);
        disp(' ')
    elseif app.Mod0 == "VOA"
        VarCf = VarCf_coef(4,1)*app.V^6 + VarCf_coef(4,2)*app.V^5 +
        VarCf_coef(4,3)*app.V^4 + VarCf_coef(4,4)*app.V^3 + VarCf_coef(4,5)*app.V^2 +
        VarCf_coef(4,6)*app.V + VarCf_coef(4,7);
        disp(['VarCf= ', num2str(VarCf)]);
        Iarc_min = Iarc*(1-0.5*VarCf);
        disp(['Iarc_min= ', num2str(Iarc_min), 'kA']);
        disp(' ')
    elseif app.Mod0 == "HOA"
        VarCf = VarCf_coef(5,1)*app.V^6 + VarCf_coef(5,2)*app.V^5 +
        VarCf_coef(5,3)*app.V^4 + VarCf_coef(5,4)*app.V^3 + VarCf_coef(5,5)*app.V^2 +
        VarCf_coef(5,6)*app.V + VarCf_coef(5,7);
        disp(['VarCf= ', num2str(VarCf)]);
        Iarc_min = Iarc*(1-0.5*VarCf);

```

```

        disp(['Iarc_min= ', num2str(Iarc_min), ' kA']);
        disp(' ')
    end
else
    Iarc_1 = (((Iarc_2700 - Iarc_600)/2.1)* (app.V-2.7))+Iarc_2700;
    disp(['Iarc_1= ', num2str(Iarc_1), ' kA']);

    Iarc_2 = (((Iarc_14300- Iarc_2700)/11.6)* (app.V-14.3))+Iarc_14300;
    disp(['Iarc_2= ', num2str(Iarc_2), ' kA']);

    Iarc_3 = ((Iarc_1*(2.7- app.V))/2.1) + ((Iarc_2*(app.V-0.6))/2.1);
    disp(['Iarc_3= ', num2str(Iarc_3), ' kA']);
    disp(' ')
end

disp('IEEE Std 1584™-2018: PARÂMETROS PRÉ ENERGIA INCIDENTE')
%Encontrando o fator de correção do tamanho do quadro de acordo com as equações e
%instruções fornecidas (para as configurações em caixa (VCB, VCBB e HCB).
CFtipico_coef = [-0.0003020 0.03441 0.4325;-0.0002976 0.03200 0.4790;-0.0001923
0.01935 0.6899];
CFraso_coef = [2.22e-3 -2.56e-2 6.22e-1;-2.78e-3 1.19e-1 -2.78e-1;-5.56e-4 3.72e-2
4.78e-1];
if app.Modo == "VCB"
    A = 4; % A é uma constante igual a 4 para VCB e 10 para VCBB e HCB;
    B = 20; % B é uma constante igual a 20 para VCB, 24 para VCBB e 22 para HCB;
    % Comprimento1 é o comprimento equivalente do compartimento;
    Comprimento_equi = (660.4 + (app.Comprimento-660.4) * ((app.V+A)/B)) * 25.4^(-
1);
    disp(['Comprimento_equi= ', num2str(Comprimento_equi), ' mm']);
    % Altura1 é a altura equivalente do compartimento;
    if 508 < app.Altura && app.Altura <= 1244.6
        Altura_equi = 45; %D.20 IEEE 2018
    else
        Altura_equi = (660.4 + (app.Altura-660.4) * ((app.V+A)/B)) * 25.4^(-1);
    end
    disp(['Altura_equi= ', num2str(Altura_equi), ' mm']);
    % EES é o valor equivalente de dimensionamento utilizado para determinar o CF;
    EES = (Comprimento_equi + Altura_equi)/2;
    disp(['EES= ', num2str(EES)]);
    %CF é fator de correção para uma configuração de eletrodo VCB;
    if app.V < 0.6 && Largura < 508 && app.Comprimento < 508 && app.Profundidade
<= 203.2
        %Para os invólucros classificados como “Rasos”, fator de correção é
determinado;
        CF = 1/(CFraso_coef(1,1)*(EES^2)*(CFraso_coef(1,2)*EES) +
CFraso_coef(1,3));
        disp(['CF= ', num2str(CF)]);
    else
        %Para os invólucros classificados como “Típico”, fator de correção é
determinado;
        CF = CFtipico_coef(1,1)*(EES^2) + CFtipico_coef(1,2)*EES +
CFtipico_coef(1,3);
        disp(['CF= ', num2str(CF)]);
    end
elseif app.Modo == "VCBB"
    A = 10; % A é uma constante igual a 4 para VCB e 10 para VCBB e HCB;
    B = 24; % B é uma constante igual a 20 para VCB, 24 para VCBB e 22 para HCB;
    % Comprimento1 é o comprimento equivalente do compartimento;

```

```

Comprimento_equi = (660.4 + (app.Comprimento-660.4) * ((app.V+A)/B)) * 25.4^(-
1);
disp(['Comprimento_equi= ', num2str(Comprimento_equi), ' mm']);
% Altura1 é a altura equivalente do compartimento;
if 508 < app.Altura && app.Altura <= 1244.6
    Altura_equi = 45; %D.20 IEEE 2018
else
    Altura_equi = (660.4 + (app.Altura-660.4) * ((app.V+A)/B)) * 25.4^(-1);
end
disp(['Altura_equi= ', num2str(Altura_equi), ' mm']);
% EES é o valor equivalente de dimensionamento utilizado para determinar o CF;
EES = (Comprimento_equi + Altura_equi)/2;
disp(['EES= ', num2str(EES)]);
%CF é fator de correção para uma configuração de eletrodo VCBB;
if app.V < 0.6 && Largura < 508 && app.Comprimento < 508 && app.Profundidade
<= 203.2
    %Para os invólucros classificados como "Rasos", fator de correção é
determinado;
    CF = 1/(CFraso_coef(2,1)*(EES^2)*(CFraso_coef(2,2)*EES) +
CFraso_coef(2,3));
    disp(['CF= ', num2str(CF)]);
else
    %Para os invólucros classificados como "Típico", fator de correção é
determinado;
    CF = CFtipico_coef(2,1)*(EES^2) + CFtipico_coef(2,2)*EES +
CFtipico_coef(2,3);
    disp(['CF= ', num2str(CF)]);
end
elseif app.Modo == "HCB"
    A = 10; % A é uma constante igual a 4 para VCB e 10 para VCBB e HCB;
    B = 22; % B é uma constante igual a 20 para VCB, 24 para VCBB e 22 para HCB;
    % Comprimento é o comprimento equivalente do compartimento;
    Comprimento_equi = (660.4 + (app.Comprimento-660.4) * ((app.V+A)/B)) * 25.4^(-
1);
    disp(['Comprimento_equi= ', num2str(Comprimento_equi), ' mm']);
    % Altura1 é a altura equivalente do compartimento;
    if 508 < app.Altura && app.Altura <= 1244.6
        Altura_equi = 45; %D.20 IEEE 2018
    else
        Altura_equi = (660.4 + (app.Altura-660.4) * ((app.V+A)/B)) * 25.4^(-1);
    end
    disp(['Altura_equi= ', num2str(Altura_equi), ' mm']);
    %EES é o valor equivalente de dimensionamento utilizado para determinar o CF;
    EES = (Comprimento_equi + Altura_equi)/2;
    disp(['EES= ', num2str(EES)]);
    %CF é fator de correção para uma configuração de eletrodo HCB;
    if app.V < 0.6 && Largura < 508 && app.Comprimento < 508 && app.Profundidade
<= 203.2
        %Para os invólucros classificados como "Rasos", fator de correção é
determinado;
        CF = 1/(CFraso_coef(3,1)*(EES^2)*(CFraso_coef(3,2)*EES) +
CFraso_coef(3,3));
        disp(['CF= ', num2str(CF)]);
    else
        %Para os invólucros classificados como "Típico", fator de correção é
determinado;
        CF = CFtipico_coef(3,1)*(EES^2) + CFtipico_coef(3,2)*EES +
CFtipico_coef(3,3);

```

```

disp(['CF= ', num2str(CF)]);
end
end
disp(' ')
disp('IEEE Std 1584™-2018: ENERGIA INCIDENTE') %Os valores intermediários da
energia incidente podem ser encontrados;
Ei_coef=[0.753364 0.566 1.752636 0 0 -4.783e-09 0.000001962 -0.000229 0.003141
1.092 0 -1.598 0.957;2.40021 0.165 0.354202 -1.557e-12 4.556e-10 -4.186e-8 8.346e-
7 5.482e-5 -0.003191 0.9729 0 -1.569 0.9778;3.825917 0.11 -0.999749 -1.557e-12
4.556e-10 -4.186e-8 8.346e-7 5.482e-5 -0.003191 0.9729 0 -1.568 0.99;3.068459 0.26
-0.098107 0 0 -5.767e-9 0.000002524 -0.00034 0.01187 1.013 -0.06 -1.809
1.19;3.870592 0.185 -0.736618 0 -9.204e-11 2.901e-11 -3.262e-6 0.0001569 -0.004003
0.9825 0 -1.742 1.09;3.644309 0.215 -0.585522 0 -9.204e-11 2.901e-8 -3.262e-6
0.0001569 -0.004003 0.9825 0 -1.677 1.06;4.073745 0.344 -0.370259 0 0 -5.382e-9
0.000002316 -0.000302 0.0091 0.9725 0 -2.03 1.036;3.486391 0.177 -0.193101 0 0
4.859e-10 -1.814e-7 -9.128e-6 -0.0007 0.9881 0.027 -1.723 1.055;3.044516 0.125
0.245106 0 -5.043e-11 2.233e-8 -3.046e-6 0.000116 -0.001145 0.9839 0 -1.655
1.084;0.679294 0.746 1.222636 0 0 -4.783e-9 0.000001962 -0.000229 0.003141 1.092 0
-1.598 0.997;3.880724 0.105 -1.906033 -1.557e-12 4.556e-10 -4.186e-8 8.346e-7
5.482e-5 -0.003191 0.9729 0 -1.515 1.115;3.405454 0.12 -0.93245 -1.557e-12 4.556e-
10 -4.186e-8 8.346e-7 5.482e-5 -0.003191 0.9729 0 -1.534 0.979;3.470417 0.465 -
0.261863 0 0 -3.895e-9 0.000001641 -0.000197 0.002615 1.1 0 -1.99 1.04;3.616266
0.149 -0.761561 0 0 7.859e-10 -1.914e-7 -9.128e-6 -0.0007 0.9981 0 -1.639
1.078;2.04049 0.177 1.005092 0 0 7.859e-10 -1.914e-7 -9.128e-6 -0.0007 0.9981 -
0.05 -1.633 1.151];

if app.Mod0 == "VCB"
    %Const_600 é uma constante de auxílio para a equação de achar a energia
    incidente
    Const_600 = (Ei_coef(1,3)*Iarc_600)/(Ei_coef(1,4)*app.Ibf^7 +
    Ei_coef(1,5)*app.Ibf^6 + Ei_coef(1,6)*app.Ibf^5 + Ei_coef(1,7)*app.Ibf^4 +
    Ei_coef(1,8)*app.Ibf^3 + Ei_coef(1,9)*app.Ibf^2 + Ei_coef(1,10)*app.Ibf);
    %E é a energia incidente
    E_600 = (12.552/50)*app.t*10^(Ei_coef(1,1) + Ei_coef(1,2)*log10(app.G)
    +(Const_600)+ Ei_coef(1,11)*log10(app.Ibf) + Ei_coef(1,12)*log10(app.D) +
    Ei_coef(1,13)*log10(Iarc_600) + log10(1/CF));
    disp(['E_600= ', num2str(E_600), ' J/cm²']);
    Ecal_600 = E_600/4.184;
    disp(['Ecal_600= ', num2str(Ecal_600), ' cal/cm²']);
    if app.V < 0.6
        E_menor600 = (12.552/50)*app.t*10^(Ei_coef(1,1) +
        Ei_coef(1,2)*log10(app.G) +(Const_600)+ Ei_coef(1,11)*log10(app.Ibf) +
        Ei_coef(1,12)*log10(app.D) + Ei_coef(1,13)*log10(Iarc) + log10(1/CF));
        disp(['E_menor600= ', num2str(E_menor600), ' J/cm²']);
        Ecal_menor600 = E_menor600/4.184;
        disp(['Ecal_menor600= ', num2str(Ecal_menor600), ' cal/cm²']);
        AFB_menor600 = 10^(((Ei_coef(1,1) + (Ei_coef(1,2) * log10(app.G))) +
        ((Ei_coef(1,3) * Iarc_600)/(Ei_coef(1,4)*app.Ibf^7 + Ei_coef(1,5)*app.Ibf^6 +
        Ei_coef(1,6)*app.Ibf^5 + Ei_coef(1,7)*app.Ibf^4 + Ei_coef(1,8)*app.Ibf^3 +
        Ei_coef(1,9)*app.Ibf^2 + Ei_coef(1,10)*app.Ibf)) + (Ei_coef(1,11) * log10(app.Ibf)
        + Ei_coef(1,13) * log10(Iarc) + log10(1/CF) - log10(20/app.t)))/-(Ei_coef(1,12)));
        disp(['AFB_menor600= ', num2str(AFB_menor600), ' mm']);
        AFB_menor600ft= AFB_menor600*0.00328084;
        disp(['AFB_600ft= ', num2str(AFB_menor600ft), ' ft']);
        AFB_menor600inch=AFB_menor600*0.0393701;
        disp(['AFB_menor600inch= ', num2str(AFB_menor600inch), ' inch']);
    else

```

```

    %Const_2700 é uma constante de auxílio para a equação de achar a energia
    incidente
    Const_2700 = (Ei_coef(2,3)*Iarc_2700)/(Ei_coef(2,4)*app.Ibf^7 +
    Ei_coef(2,5)*app.Ibf^6 + Ei_coef(2,6)*app.Ibf^5 + Ei_coef(2,7)*app.Ibf^4 +
    Ei_coef(2,8)*app.Ibf^3 + Ei_coef(2,9)*app.Ibf^2 + Ei_coef(2,10)*app.Ibf);
    %E é a energia incidente
    E_2700 = (12.552/50)*app.t*10^(Ei_coef(2,1) + Ei_coef(2,2)*log10(app.G)
    +(Const_2700)+ Ei_coef(2,11)*log10(app.Ibf) + Ei_coef(2,12)*log10(app.D) +
    Ei_coef(2,13)*log10(Iarc_2700) + log10(1/CF));
    disp(['E_2700= ',num2str(E_2700),' J/cm²']);
    Ecal_2700 = E_2700/4.184;
    disp(['Ecal_2700= ',num2str(Ecal_2700),' cal/cm²']);
    %Const_2700 é uma constante de auxílio para a equação de achar a energia
    incidente
    Const_14300 = (Ei_coef(3,3)*Iarc_14300)/(Ei_coef(3,4)*app.Ibf^7 +
    Ei_coef(3,5)*app.Ibf^6 + Ei_coef(3,6)*app.Ibf^5 + Ei_coef(3,7)*app.Ibf^4 +
    Ei_coef(3,8)*app.Ibf^3 + Ei_coef(3,9)*app.Ibf^2 + Ei_coef(3,10)*app.Ibf);
    %E é a energia incidente
    E_14300 = (12.552/50)*app.t*10^(Ei_coef(3,1) + Ei_coef(3,2)*log10(app.G)
    +(Const_14300)+ Ei_coef(3,11)*log10(app.Ibf) + Ei_coef(3,12)*log10(app.D) +
    Ei_coef(3,13)*log10(Iarc_14300) + log10(1/CF));
    disp(['E_14300= ',num2str(E_14300),' J/cm²']);
    Ecal_14300 = E_14300/4.184;
    disp(['Ecal_14300= ',num2str(Ecal_14300),' cal/cm²']);
    disp(' ');
    %Os valores intermediários do limite do arco voltaico podem ser
    determinados por
    disp('IEEE Std 1584™-2018: DISTÂNCIA LIMITE DE APROXIMAÇÃO')
    AFB_600 = 10^(((Ei_coef(1,1) + (Ei_coef(1,2) * log10(app.G))) +
    ((Ei_coef(1,3) * Iarc_600)/(Ei_coef(1,4)*app.Ibf^7 + Ei_coef(1,5)*app.Ibf^6 +
    Ei_coef(1,6)*app.Ibf^5 + Ei_coef(1,7)*app.Ibf^4 + Ei_coef(1,8)*app.Ibf^3 +
    Ei_coef(1,9)*app.Ibf^2 + Ei_coef(1,10)*app.Ibf)) + (Ei_coef(1,11) * log10(app.Ibf)
    + Ei_coef(1,13) * log10(Iarc_600) + log10(1/CF) - log10(20/app.t)))/-
    (Ei_coef(1,12)));
    disp(['AFB_600= ',num2str(AFB_600),' mm']);
    AFB_600ft= AFB_600*0.00328084;
    disp(['AFB_600ft= ',num2str(AFB_600ft),' ft']);
    AFB_600inch=AFB_600*0.0393701;
    disp(['AFB_600inch= ',num2str(AFB_600inch),' inch']);
    AFB_2700 = 10^(((Ei_coef(2,1) + Ei_coef(2,2) * log10(app.G))) +
    ((Ei_coef(2,3) * Iarc_2700)/(Ei_coef(2,4)*app.Ibf^7 + Ei_coef(2,5)*app.Ibf^6 +
    Ei_coef(2,6)*app.Ibf^5 + Ei_coef(2,7)*app.Ibf^4 + Ei_coef(2,8)*app.Ibf^3 +
    Ei_coef(2,9)*app.Ibf^2 + Ei_coef(2,10)*app.Ibf)) + (Ei_coef(2,11) * log10(app.Ibf)
    + Ei_coef(2,13) * log10(Iarc_2700) + log10(1/CF) - log10(20/app.t)))/-
    (Ei_coef(2,12)));
    disp(['AFB_2700= ',num2str(AFB_2700),' mm']);
    AFB_2700ft= AFB_2700*0.00328084;
    disp(['AFB_2700ft= ',num2str(AFB_2700ft),' ft']);
    AFB_2700inch=AFB_2700*0.0393701;
    disp(['AFB_2700inch= ',num2str(AFB_2700inch),' inch']);
    AFB_14300 = 10^(((Ei_coef(3,1) + (Ei_coef(3,2) * log10(app.G))) +
    ((Ei_coef(3,3) * Iarc_14300)/(Ei_coef(3,4)*app.Ibf^7 + Ei_coef(3,5)*app.Ibf^6 +
    Ei_coef(3,6)*app.Ibf^5 + Ei_coef(3,7)*app.Ibf^4 + Ei_coef(3,8)*app.Ibf^3 +
    Ei_coef(3,9)*app.Ibf^2 + Ei_coef(3,10)*app.Ibf)) + (Ei_coef(3,11) * log10(app.Ibf)
    + Ei_coef(3,13) * log10(Iarc_14300) + log10(1/CF) - log10(20/app.t)))/-
    (Ei_coef(3,12)));
    disp(['AFB_14300= ',num2str(AFB_14300),' mm']);
    AFB_14300ft= AFB_14300*0.00328084;

```

```

disp(['AFB_14300ft= ', num2str(AFB_14300ft), ' ft']);
AFB_14300inch=AFB_14300*0.0393701;
disp(['AFB_14300inch= ', num2str(AFB_14300inch), ' inch']);
end
elseif app.Modo == "VCBB"
    %Const_600 é uma constante de auxílio para a equação de achar a energia
    incidente
    Const_600 = (Ei_coef(4,3)*Iarc_600)/(Ei_coef(4,4)*app.Ibf^7 +
    Ei_coef(4,5)*app.Ibf^6 + Ei_coef(4,6)*app.Ibf^5 + Ei_coef(4,7)*app.Ibf^4 +
    Ei_coef(4,8)*app.Ibf^3 + Ei_coef(4,9)*app.Ibf^2 + Ei_coef(4,10)*app.Ibf);
    %E é a energia incidente
    E_600 = (12.552/50)*app.t*10^(Ei_coef(4,1) + Ei_coef(4,2)*log10(app.G)
    +(Const_600)+ Ei_coef(4,11)*log10(app.Ibf) + Ei_coef(4,12)*log10(app.D) +
    Ei_coef(4,13)*log10(Iarc_600) + log10(1/CF));
    disp(['E_600= ', num2str(E_600), ' J/cm²']);
    Ecal_600 = E_600/4.184;
    disp(['Ecal_600= ', num2str(Ecal_600), ' cal/cm²']);
    if app.V < 0.6
        E_menor600 = (12.552/50)*app.t*10^(Ei_coef(4,1) +
    Ei_coef(4,2)*log10(app.G) +(Const_600)+ Ei_coef(4,11)*log10(app.Ibf) +
    Ei_coef(4,12)*log10(app.D) + Ei_coef(4,13)*log10(Iarc) + log10(1/CF));
        disp(['E_menor600= ', num2str(E_menor600), ' J/cm²']);
        Ecal_menor600 = E_menor600/4.184;
        disp(['Ecal_menor600= ', num2str(Ecal_menor600), ' cal/cm²']);
        AFB_menor600 = 10^(((Ei_coef(4,1) + (Ei_coef(4,2) * log10(app.G))) +
        ((Ei_coef(4,3) * Iarc_600)/(Ei_coef(4,4)*app.Ibf^7 + Ei_coef(4,5)*app.Ibf^6 +
        Ei_coef(4,6)*app.Ibf^5 + Ei_coef(4,7)*app.Ibf^4 + Ei_coef(4,8)*app.Ibf^3 +
        Ei_coef(4,9)*app.Ibf^2 + Ei_coef(4,10)*app.Ibf)) + (Ei_coef(4,11) * log10(app.Ibf)
        + Ei_coef(4,13) * log10(Iarc) + log10(1/CF) - log10(20/app.t)))/-(Ei_coef(4,12)));
        disp(['AFB_menor600= ', num2str(AFB_menor600), ' mm']);
        AFB_menor600ft= AFB_menor600*0.00328084;
        disp(['AFB_600ft= ', num2str(AFB_menor600ft), ' ft']);
        AFB_menor600inch=AFB_menor600*0.0393701;
        disp(['AFB_menor600inch= ', num2str(AFB_menor600inch), ' inch']);
    else
        %Const_2700 é uma constante de auxílio para a equação de achar a energia
        incidente
        Const_2700 = (Ei_coef(5,3)*Iarc_2700)/(Ei_coef(5,4)*app.Ibf^7 +
        Ei_coef(5,5)*app.Ibf^6 + Ei_coef(5,6)*app.Ibf^5 + Ei_coef(5,7)*app.Ibf^4 +
        Ei_coef(5,8)*app.Ibf^3 + Ei_coef(5,9)*app.Ibf^2 + Ei_coef(5,10)*app.Ibf);
        %E é a energia incidente
        E_2700 = (12.552/50)*app.t*10^(Ei_coef(5,1) + Ei_coef(5,2)*log10(app.G)
        +(Const_2700)+ Ei_coef(5,11)*log10(app.Ibf) + Ei_coef(5,12)*log10(app.D) +
        Ei_coef(5,13)*log10(Iarc_2700) + log10(1/CF));
        disp(['E_2700= ', num2str(E_2700), ' J/cm²']);
        Ecal_2700 = E_2700/4.184;
        disp(['Ecal_2700= ', num2str(Ecal_2700), ' cal/cm²']);
        %Const_2700 é uma constante de auxílio para a equação de achar a energia
        incidente
        Const_14300 = (Ei_coef(6,3)*Iarc_14300)/(Ei_coef(6,4)*app.Ibf^7 +
        Ei_coef(6,5)*app.Ibf^6 + Ei_coef(6,6)*app.Ibf^5 + Ei_coef(6,7)*app.Ibf^4 +
        Ei_coef(6,8)*app.Ibf^3 + Ei_coef(6,9)*app.Ibf^2 + Ei_coef(6,10)*app.Ibf);
        %E é a energia incidente
        E_14300 = (12.552/50)*app.t*10^(Ei_coef(6,1) + Ei_coef(6,2)*log10(app.G)
        +(Const_14300)+ Ei_coef(6,11)*log10(app.Ibf) + Ei_coef(6,12)*log10(app.D) +
        Ei_coef(6,13)*log10(Iarc_14300) + log10(1/CF));
        disp(['E_14300= ', num2str(E_14300), ' J/cm²']);
        Ecal_14300 = E_14300/4.184;
    end
end

```

```

disp(['Ecal_14300= ', num2str(Ecal_14300), ' cal/cm²']);
disp(' ')
%Os valores intermediários do limite do arco voltaico podem ser
determinados por
disp('IEEE Std 1584™-2018: DISTÂNCIA LIMITE DE APROXIMAÇÃO')
AFB_600 = 10^(((Ei_coef(4,1) + (Ei_coef(4,2) * log10(app.G))) +
((Ei_coef(4,3) * Iarc_600)/(Ei_coef(4,4)*app.Ibf^7 + Ei_coef(4,5)*app.Ibf^6 +
Ei_coef(4,6)*app.Ibf^5 + Ei_coef(4,7)*app.Ibf^4 + Ei_coef(4,8)*app.Ibf^3 +
Ei_coef(4,9)*app.Ibf^2 + Ei_coef(4,10)*app.Ibf)) + (Ei_coef(4,11) * log10(app.Ibf)
+ Ei_coef(4,13) * log10(Iarc_600) + log10(1/CF) - log10(20/app.t)))/-
(Ei_coef(4,12))));
disp(['AFB_600= ', num2str(AFB_600), ' mm']);
AFB_600ft= AFB_600*0.00328084;
disp(['AFB_600ft= ', num2str(AFB_600ft), ' ft']);
AFB_600inch=AFB_600*0.0393701;
disp(['AFB_600inch= ', num2str(AFB_600inch), ' inch']);
AFB_2700 = 10^(((Ei_coef(5,1) + Ei_coef(5,2) * log10(app.G))) +
((Ei_coef(5,3) * Iarc_2700)/(Ei_coef(5,4)*app.Ibf^7 + Ei_coef(5,5)*app.Ibf^6 +
Ei_coef(5,6)*app.Ibf^5 + Ei_coef(5,7)*app.Ibf^4 + Ei_coef(5,8)*app.Ibf^3 +
Ei_coef(5,9)*app.Ibf^2 + Ei_coef(5,10)*app.Ibf)) + (Ei_coef(5,11) * log10(app.Ibf)
+ Ei_coef(5,13) * log10(Iarc_2700) + log10(1/CF) - log10(20/app.t)))/-
(Ei_coef(5,12))));
disp(['AFB_2700= ', num2str(AFB_2700), ' mm']);
AFB_2700ft= AFB_2700*0.00328084;
disp(['AFB_2700ft= ', num2str(AFB_2700ft), ' ft']);
AFB_2700inch=AFB_2700*0.0393701;
disp(['AFB_2700inch= ', num2str(AFB_2700inch), ' inch']);
AFB_14300 = 10^(((Ei_coef(6,1) + (Ei_coef(6,2) * log10(app.G))) +
((Ei_coef(6,3) * Iarc_14300)/(Ei_coef(6,4)*app.Ibf^7 + Ei_coef(6,5)*app.Ibf^6 +
Ei_coef(6,6)*app.Ibf^5 + Ei_coef(6,7)*app.Ibf^4 + Ei_coef(6,8)*app.Ibf^3 +
Ei_coef(6,9)*app.Ibf^2 + Ei_coef(6,10)*app.Ibf)) + (Ei_coef(6,11) * log10(app.Ibf)
+ Ei_coef(6,13) * log10(Iarc_14300) + log10(1/CF) - log10(20/app.t)))/-
(Ei_coef(6,12))));
disp(['AFB_14300= ', num2str(AFB_14300), ' mm']);
AFB_14300ft= AFB_14300*0.00328084;
disp(['AFB_14300ft= ', num2str(AFB_14300ft), ' ft']);
AFB_14300inch=AFB_14300*0.0393701;
disp(['AFB_14300inch= ', num2str(AFB_14300inch), ' inch']);
end
elseif app.Modo == "HCB"
%Const_600 é uma constante de auxílio para a equação de achar a energia
incidente
Const_600 = (Ei_coef(7,3)*Iarc_600)/(Ei_coef(7,4)*app.Ibf^7 +
Ei_coef(7,5)*app.Ibf^6 + Ei_coef(7,6)*app.Ibf^5 + Ei_coef(7,7)*app.Ibf^4 +
Ei_coef(7,8)*app.Ibf^3 + Ei_coef(7,9)*app.Ibf^2 + Ei_coef(7,10)*app.Ibf);
%E é a energia incidente
E_600 = (12.552/50)*app.t*10^(Ei_coef(7,1) + Ei_coef(7,2)*log10(app.G)
+(Const_600)+ Ei_coef(7,11)*log10(app.Ibf) + Ei_coef(7,12)*log10(app.D) +
Ei_coef(7,13)*log10(Iarc_600) + log10(1/CF));
disp(['E_600= ', num2str(E_600), ' J/cm²']);
Ecal_600 = E_600/4.184;
disp(['Ecal_600= ', num2str(Ecal_600), ' cal/cm²']);
if app.V < 0.6
E_menor600 = (12.552/50)*app.t*10^(Ei_coef(7,1) +
Ei_coef(7,2)*log10(app.G) +(Const_600)+ Ei_coef(7,11)*log10(app.Ibf) +
Ei_coef(7,12)*log10(app.D) + Ei_coef(7,13)*log10(Iarc) + log10(1/CF));
disp(['E_menor600= ', num2str(E_menor600), ' J/cm²']);
Ecal_menor600 = E_menor600/4.184;

```

```

disp(['Ecal_menor600= ', num2str(Ecal_menor600), ' cal/cm²']);
AFB_menor600 = 10^(((Ei_coef(7,1) + (Ei_coef(7,2) * log10(app.G))) +
((Ei_coef(7,3) * Iarc_600)/(Ei_coef(7,4)*app.Ibf^7 + Ei_coef(7,5)*app.Ibf^6 +
Ei_coef(7,6)*app.Ibf^5 + Ei_coef(7,7)*app.Ibf^4 + Ei_coef(7,8)*app.Ibf^3 +
Ei_coef(7,9)*app.Ibf^2 + Ei_coef(7,10)*app.Ibf)) + (Ei_coef(7,11) * log10(app.Ibf)
+ Ei_coef(7,13) * log10(Iarc) + log10(1/CF) - log10(20/app.t)))/-(Ei_coef(7,12))));
disp(['AFB_menor600= ', num2str(AFB_menor600), ' mm']);
AFB_menor600ft= AFB_menor600*0.00328084;
disp(['AFB_600ft= ', num2str(AFB_menor600ft), ' ft']);
AFB_menor600inch=AFB_menor600*0.0393701;
disp(['AFB_menor600inch= ', num2str(AFB_menor600inch), ' inch']);
else
    %Const_2700 é uma constante de auxílio para a equação de achar a energia
    incidente
    Const_2700 = (Ei_coef(8,3)*Iarc_2700)/(Ei_coef(8,4)*app.Ibf^7 +
Ei_coef(8,5)*app.Ibf^6 + Ei_coef(8,6)*app.Ibf^5 + Ei_coef(8,7)*app.Ibf^4 +
Ei_coef(8,8)*app.Ibf^3 + Ei_coef(8,9)*app.Ibf^2 + Ei_coef(8,10)*app.Ibf);
    %E é a energia incidente
    E_2700 = (12.552/50)*app.t*10^(Ei_coef(8,1) + Ei_coef(8,2)*log10(app.G)
+(Const_2700)+ Ei_coef(8,11)*log10(app.Ibf) + Ei_coef(8,12)*log10(app.D) +
Ei_coef(8,13)*log10(Iarc_2700) + log10(1/CF));
    disp(['E_2700= ', num2str(E_2700), ' J/cm²']);
    Ecal_2700 = E_2700/4.184;
    disp(['Ecal_2700= ', num2str(Ecal_2700), ' cal/cm²']);
    %Const_2700 é uma constante de auxílio para a equação de achar a energia
    incidente
    Const_14300 = (Ei_coef(9,3)*Iarc_14300)/(Ei_coef(9,4)*app.Ibf^7 +
Ei_coef(9,5)*app.Ibf^6 + Ei_coef(9,6)*app.Ibf^5 + Ei_coef(9,7)*app.Ibf^4 +
Ei_coef(9,8)*app.Ibf^3 + Ei_coef(9,9)*app.Ibf^2 + Ei_coef(9,10)*app.Ibf);
    %E é a energia incidente
    E_14300 = (12.552/50)*app.t*10^(Ei_coef(9,1) + Ei_coef(9,2)*log10(app.G)
+(Const_14300)+ Ei_coef(9,11)*log10(app.Ibf) + Ei_coef(9,12)*log10(app.D) +
Ei_coef(9,13)*log10(Iarc_14300) + log10(1/CF));
    disp(['E_14300= ', num2str(E_14300), ' J/cm²']);
    Ecal_14300 = E_14300/4.184;
    disp(['Ecal_14300= ', num2str(Ecal_14300), ' cal/cm²']);
    disp(' ')
    %Os valores intermediários do limite do arco voltaico podem ser
    determinados por
    disp('IEEE Std 1584™-2018: DISTÂNCIA LIMITE DE APROXIMAÇÃO')
    AFB_600 = 10^(((Ei_coef(7,1) + (Ei_coef(7,2) * log10(app.G))) +
((Ei_coef(7,3) * Iarc_600)/(Ei_coef(7,4)*app.Ibf^7 + Ei_coef(7,5)*app.Ibf^6 +
Ei_coef(7,6)*app.Ibf^5 + Ei_coef(7,7)*app.Ibf^4 + Ei_coef(7,8)*app.Ibf^3 +
Ei_coef(7,9)*app.Ibf^2 + Ei_coef(7,10)*app.Ibf)) + (Ei_coef(7,11) * log10(app.Ibf)
+ Ei_coef(7,13) * log10(Iarc_600) + log10(1/CF) - log10(20/app.t)))/-
(Ei_coef(7,12))));
    disp(['AFB_600= ', num2str(AFB_600), ' mm']);
    AFB_600ft= AFB_600*0.00328084;
    disp(['AFB_600ft= ', num2str(AFB_600ft), ' ft']);
    AFB_600inch=AFB_600*0.0393701;
    disp(['AFB_600inch= ', num2str(AFB_600inch), ' inch']);
    AFB_2700 = 10^(((Ei_coef(8,1) + Ei_coef(8,2) * log10(app.G))) +
((Ei_coef(8,3) * Iarc_2700)/(Ei_coef(8,4)*app.Ibf^7 + Ei_coef(8,5)*app.Ibf^6 +
Ei_coef(8,6)*app.Ibf^5 + Ei_coef(8,7)*app.Ibf^4 + Ei_coef(8,8)*app.Ibf^3 +
Ei_coef(8,9)*app.Ibf^2 + Ei_coef(8,10)*app.Ibf)) + (Ei_coef(8,11) * log10(app.Ibf)
+ Ei_coef(8,13) * log10(Iarc_2700) + log10(1/CF) - log10(20/app.t)))/-
(Ei_coef(8,12))));
    disp(['AFB_2700= ', num2str(AFB_2700), ' mm']);

```

```

AFB_2700ft= AFB_2700*0.00328084;
disp(['AFB_2700ft= ',num2str(AFB_2700ft),' ft']);
AFB_2700inch=AFB_2700*0.0393701;
disp(['AFB_2700inch= ',num2str(AFB_2700inch),' inch']);
AFB_14300 = 10^(((Ei_coef(9,1) + (Ei_coef(9,2) * log10(app.G))) +
((Ei_coef(9,3) * Iarc_14300)/(Ei_coef(9,4)*app.Ibf^7 + Ei_coef(9,5)*app.Ibf^6 +
Ei_coef(9,6)*app.Ibf^5 + Ei_coef(9,7)*app.Ibf^4 + Ei_coef(9,8)*app.Ibf^3 +
Ei_coef(9,9)*app.Ibf^2 + Ei_coef(9,10)*app.Ibf)) + (Ei_coef(9,11) * log10(app.Ibf)
+ Ei_coef(9,13) * log10(Iarc_14300) + log10(1/CF) - log10(20/app.t)))/-
(Ei_coef(9,12))));
disp(['AFB_14300= ',num2str(AFB_14300),' mm']);
AFB_14300ft= AFB_14300*0.00328084;
disp(['AFB_14300ft= ',num2str(AFB_14300ft),' ft']);
AFB_14300inch=AFB_14300*0.0393701;
disp(['AFB_14300inch= ',num2str(AFB_14300inch),' inch']);
end
elseif app.Modo == "VOA"
    CF=1; %é o fator de correção para o tamanho do gabinete (CF = 1 para
    configurações VOA e HOA)
    %Const_600 é uma constante de auxílio para a equação de achar a energia
    incidente
    Const_600 = (Ei_coef(10,3)*Iarc_600)/(Ei_coef(10,4)*app.Ibf^7 +
    Ei_coef(10,5)*app.Ibf^6 + Ei_coef(10,6)*app.Ibf^5 + Ei_coef(10,7)*app.Ibf^4 +
    Ei_coef(10,8)*app.Ibf^3 + Ei_coef(10,9)*app.Ibf^2 + Ei_coef(10,10)*app.Ibf);
    %E é a energia incidente
    E_600 = (12.552/50)*app.t*10^(Ei_coef(10,1) + Ei_coef(10,2)*log10(app.G)
    +(Const_600)+ Ei_coef(10,11)*log10(app.Ibf) + Ei_coef(10,12)*log10(app.D) +
    Ei_coef(10,13)*log10(Iarc_600) + log10(1/CF));
    disp(['E_600= ',num2str(E_600),' J/cm²']);
    Ecal_600 = E_600/4.184;
    disp(['Ecal_600= ',num2str(Ecal_600),' cal/cm²']);
    if app.V < 0.6
        E_menor600 = (12.552/50)*app.t*10^(Ei_coef(10,1) +
        Ei_coef(10,2)*log10(app.G) +(Const_600)+ Ei_coef(10,11)*log10(app.Ibf) +
        Ei_coef(10,12)*log10(app.D) + Ei_coef(10,13)*log10(Iarc) + log10(1/CF));
        disp(['E_menor600= ',num2str(E_menor600),' J/cm²']);
        Ecal_menor600 = E_menor600/4.184;
        disp(['Ecal_menor600= ',num2str(Ecal_menor600),' cal/cm²']);
        AFB_menor600 = 10^(((Ei_coef(10,1) + (Ei_coef(10,2) * log10(app.G))) +
        ((Ei_coef(10,3) * Iarc_600)/(Ei_coef(10,4)*app.Ibf^7 + Ei_coef(10,5)*app.Ibf^6 +
        Ei_coef(10,6)*app.Ibf^5 + Ei_coef(10,7)*app.Ibf^4 + Ei_coef(10,8)*app.Ibf^3 +
        Ei_coef(10,9)*app.Ibf^2 + Ei_coef(10,10)*app.Ibf)) + (Ei_coef(10,11) *
        log10(app.Ibf) + Ei_coef(10,13) * log10(Iarc) + log10(1/CF) - log10(20/app.t)))/-
        (Ei_coef(10,12))));
        disp(['AFB_menor600= ',num2str(AFB_menor600),' mm']);
        AFB_menor600ft= AFB_menor600*0.00328084;
        disp(['AFB_600ft= ',num2str(AFB_menor600ft),' ft']);
        AFB_menor600inch=AFB_menor600*0.0393701;
        disp(['AFB_menor600inch= ',num2str(AFB_menor600inch),' inch']);
    else
        %Const_2700 é uma constante de auxílio para a equação de achar a energia
        incidente
        Const_2700 = (Ei_coef(11,3)*Iarc_2700)/(Ei_coef(11,4)*app.Ibf^7 +
        Ei_coef(11,5)*app.Ibf^6 + Ei_coef(11,6)*app.Ibf^5 + Ei_coef(11,7)*app.Ibf^4 +
        Ei_coef(11,8)*app.Ibf^3 + Ei_coef(11,9)*app.Ibf^2 + Ei_coef(11,10)*app.Ibf);
        %E é a energia incidente

```

```

E_2700 = (12.552/50)*app.t*10^(Ei_coef(11,1) + Ei_coef(11,2)*log10(app.G)
+(Const_2700)+ Ei_coef(11,11)*log10(app.Ibf) + Ei_coef(11,12)*log10(app.D) +
Ei_coef(11,13)*log10(Iarc_2700) + log10(1/CF));
disp(['E_2700= ',num2str(E_2700),' J/cm²']);
Ecal_2700 = E_2700/4.184;
disp(['Ecal_2700= ',num2str(Ecal_2700),' cal/cm²']);
%Const_2700 é uma constante de auxílio para a equação de achar a energia
incidente
Const_14300 = (Ei_coef(12,3)*Iarc_14300)/(Ei_coef(12,4)*app.Ibf^7 +
Ei_coef(12,5)*app.Ibf^6 + Ei_coef(12,6)*app.Ibf^5 + Ei_coef(12,7)*app.Ibf^4 +
Ei_coef(12,8)*app.Ibf^3 + Ei_coef(12,9)*app.Ibf^2 + Ei_coef(12,10)*app.Ibf);
%E é a energia incidente
E_14300 = (12.552/50)*app.t*10^(Ei_coef(12,1) + Ei_coef(12,2)*log10(app.G)
+(Const_14300)+ Ei_coef(12,11)*log10(app.Ibf) + Ei_coef(12,12)*log10(app.D) +
Ei_coef(12,13)*log10(Iarc_14300) + log10(1/CF));
disp(['E_14300= ',num2str(E_14300),' J/cm²']);
Ecal_14300 = E_14300/4.184;
disp(['Ecal_14300= ',num2str(Ecal_14300),' cal/cm²']);
disp(' ')
%Os valores intermediários do limite do arco voltaico podem ser
determinados por
disp('IEEE Std 1584™-2018: DISTÂNCIA LIMITE DE APROXIMAÇÃO')
AFB_600 = 10^(((Ei_coef(10,1) + (Ei_coef(10,2) * log10(app.G))) +
((Ei_coef(10,3) * Iarc_600)/(Ei_coef(10,4)*app.Ibf^7 + Ei_coef(10,5)*app.Ibf^6 +
Ei_coef(10,6)*app.Ibf^5 + Ei_coef(10,7)*app.Ibf^4 + Ei_coef(10,8)*app.Ibf^3 +
Ei_coef(10,9)*app.Ibf^2 + Ei_coef(10,10)*app.Ibf)) + (Ei_coef(10,11) *
log10(app.Ibf) + Ei_coef(10,13) * log10(Iarc_600) + log10(1/CF) -
log10(20/app.t)))/-(Ei_coef(10,12))));
disp(['AFB_600= ',num2str(AFB_600),' mm']);
AFB_600ft= AFB_600*0.00328084;
disp(['AFB_600ft= ',num2str(AFB_600ft),' ft']);
AFB_600inch=AFB_600*0.0393701;
disp(['AFB_600inch= ',num2str(AFB_600inch),' inch']);
AFB_2700 = 10^(((Ei_coef(11,1) + Ei_coef(11,2) * log10(app.G))) +
((Ei_coef(11,3) * Iarc_2700)/(Ei_coef(11,4)*app.Ibf^7 + Ei_coef(11,5)*app.Ibf^6 +
Ei_coef(11,6)*app.Ibf^5 + Ei_coef(11,7)*app.Ibf^4 + Ei_coef(11,8)*app.Ibf^3 +
Ei_coef(11,9)*app.Ibf^2 + Ei_coef(11,10)*app.Ibf)) + (Ei_coef(11,11) *
log10(app.Ibf) + Ei_coef(11,13) * log10(Iarc_2700) + log10(1/CF) -
log10(20/app.t)))/-(Ei_coef(11,12))));
disp(['AFB_2700= ',num2str(AFB_2700),' mm']);
AFB_2700ft= AFB_2700*0.00328084;
disp(['AFB_2700ft= ',num2str(AFB_2700ft),' ft']);
AFB_2700inch=AFB_2700*0.0393701;
disp(['AFB_2700inch= ',num2str(AFB_2700inch),' inch']);
AFB_14300 = 10^(((Ei_coef(12,1) + (Ei_coef(12,2) * log10(app.G))) +
((Ei_coef(12,3) * Iarc_14300)/(Ei_coef(12,4)*app.Ibf^7 + Ei_coef(12,5)*app.Ibf^6 +
Ei_coef(12,6)*app.Ibf^5 + Ei_coef(12,7)*app.Ibf^4 + Ei_coef(12,8)*app.Ibf^3 +
Ei_coef(12,9)*app.Ibf^2 + Ei_coef(12,10)*app.Ibf)) + (Ei_coef(12,11) *
log10(app.Ibf) + Ei_coef(12,13) * log10(Iarc_14300) + log10(1/CF) -
log10(20/app.t)))/-(Ei_coef(12,12))));
disp(['AFB_14300= ',num2str(AFB_14300),' mm']);
AFB_14300ft= AFB_14300*0.00328084;
disp(['AFB_14300ft= ',num2str(AFB_14300ft),' ft']);
AFB_14300inch=AFB_14300*0.0393701;
disp(['AFB_14300inch= ',num2str(AFB_14300inch),' inch']);
end
elseif app.Modo == "HOA"

```

```

CF=1; %é o fator de correção para o tamanho do gabinete (CF = 1 para
configurações VOA e HOA)
%Const_600 é uma constante de auxílio para a equação de achar a energia
incidente
Const_600 = (Ei_coef(13,3)*Iarc_600)/(Ei_coef(13,4)*app.Ibf^7 +
Ei_coef(13,5)*app.Ibf^6 + Ei_coef(13,6)*app.Ibf^5 + Ei_coef(13,7)*app.Ibf^4 +
Ei_coef(13,8)*app.Ibf^3 + Ei_coef(13,9)*app.Ibf^2 + Ei_coef(13,10)*app.Ibf);
%E é a energia incidente
E_600 = (12.552/50)*app.t*10^(Ei_coef(13,1) + Ei_coef(13,2)*log10(app.G)
+(Const_600)+ Ei_coef(13,11)*log10(app.Ibf) + Ei_coef(13,12)*log10(app.D) +
Ei_coef(13,13)*log10(Iarc_600) + log10(1/CF));
disp(['E_600= ',num2str(E_600),' J/cm²']);
Ecal_600 = E_600/4.184;
disp(['Ecal_600= ',num2str(Ecal_600),' cal/cm²']);
if app.V < 0.6
    E_menor600 = (12.552/50)*app.t*10^(Ei_coef(13,1) +
Ei_coef(13,2)*log10(app.G) +(Const_600)+ Ei_coef(13,11)*log10(app.Ibf) +
Ei_coef(13,12)*log10(app.D) + Ei_coef(13,13)*log10(Iarc) + log10(1/CF));
    disp(['E_menor600= ',num2str(E_menor600),' J/cm²']);
    Ecal_menor600 = E_menor600/4.184;
    disp(['Ecal_menor600= ',num2str(Ecal_menor600),' cal/cm²']);
    AFB_menor600 = 10^(((Ei_coef(13,1) + (Ei_coef(13,2) * log10(app.G))) +
((Ei_coef(13,3) * Iarc_600)/(Ei_coef(13,4)*app.Ibf^7 + Ei_coef(13,5)*app.Ibf^6 +
Ei_coef(13,6)*app.Ibf^5 + Ei_coef(13,7)*app.Ibf^4 + Ei_coef(13,8)*app.Ibf^3 +
Ei_coef(13,9)*app.Ibf^2 + Ei_coef(13,10)*app.Ibf)) + (Ei_coef(13,11) *
log10(app.Ibf) + Ei_coef(13,13) * log10(Iarc) + log10(1/CF) - log10(20/app.t)))/-
(Ei_coef(13,12))));
    disp(['AFB_menor600= ',num2str(AFB_menor600),' mm']);
    AFB_menor600ft= AFB_menor600*0.00328084;
    disp(['AFB_600ft= ',num2str(AFB_menor600ft),' ft']);
    AFB_menor600inch=AFB_menor600*0.0393701;
    disp(['AFB_menor600inch= ',num2str(AFB_menor600inch),' inch']);
else
    %Const_2700 é uma constante de auxílio para a equação de achar a energia
incidente
    Const_2700 = (Ei_coef(14,3)*Iarc_2700)/(Ei_coef(14,4)*app.Ibf^7 +
Ei_coef(14,5)*app.Ibf^6 + Ei_coef(14,6)*app.Ibf^5 + Ei_coef(14,7)*app.Ibf^4 +
Ei_coef(14,8)*app.Ibf^3 + Ei_coef(14,9)*app.Ibf^2 + Ei_coef(14,10)*app.Ibf);
    %E é a energia incidente
    E_2700 = (12.552/50)*app.t*10^(Ei_coef(14,1) + Ei_coef(14,2)*log10(app.G)
+(Const_2700)+ Ei_coef(14,11)*log10(app.Ibf) + Ei_coef(14,12)*log10(app.D) +
Ei_coef(14,13)*log10(Iarc_2700) + log10(1/CF));
    disp(['E_2700= ',num2str(E_2700),' J/cm²']);
    Ecal_2700 = E_2700/4.184;
    disp(['Ecal_2700= ',num2str(Ecal_2700),' cal/cm²']);
    %Const_2700 é uma constante de auxílio para a equação de achar a energia
incidente
    Const_14300 = (Ei_coef(15,3)*Iarc_14300)/(Ei_coef(15,4)*app.Ibf^7 +
Ei_coef(15,5)*app.Ibf^6 + Ei_coef(15,6)*app.Ibf^5 + Ei_coef(15,7)*app.Ibf^4 +
Ei_coef(15,8)*app.Ibf^3 + Ei_coef(15,9)*app.Ibf^2 + Ei_coef(15,10)*app.Ibf);
    %E é a energia incidente
    E_14300 = (12.552/50)*app.t*10^(Ei_coef(15,1) + Ei_coef(15,2)*log10(app.G)
+(Const_14300)+ Ei_coef(15,11)*log10(app.Ibf) + Ei_coef(15,12)*log10(app.D) +
Ei_coef(15,13)*log10(Iarc_14300) + log10(1/CF));
    disp(['E_14300= ',num2str(E_14300),' J/cm²']);
    Ecal_14300 = E_14300/4.184;
    disp(['Ecal_14300= ',num2str(Ecal_14300),' cal/cm²']);
    disp(' ')

```

%Os valores intermediários do limite do arco voltaico podem ser determinados por

```

disp('IEEE Std 1584™-2018: DISTÂNCIA LIMITE DE APROXIMAÇÃO')
AFB_600 = 10^(((Ei_coef(13,1) + (Ei_coef(13,2) * log10(app.G))) +
((Ei_coef(13,3) * Iarc_600)/(Ei_coef(13,4)*app.Ibf^7 + Ei_coef(13,5)*app.Ibf^6 +
Ei_coef(13,6)*app.Ibf^5 + Ei_coef(13,7)*app.Ibf^4 + Ei_coef(13,8)*app.Ibf^3 +
Ei_coef(13,9)*app.Ibf^2 + Ei_coef(13,10)*app.Ibf)) + (Ei_coef(13,11) *
log10(app.Ibf) + Ei_coef(13,13) * log10(Iarc_600) + log10(1/CF) -
log10(20/app.t)))/-(Ei_coef(13,12))));
disp(['AFB_600= ', num2str(AFB_600), ' mm']);
AFB_600ft= AFB_600*0.00328084;
disp(['AFB_600ft= ', num2str(AFB_600ft), ' ft']);
AFB_600inch=AFB_600*0.0393701;
disp(['AFB_600inch= ', num2str(AFB_600inch), ' inch']);
AFB_2700 = 10^(((Ei_coef(14,1) + Ei_coef(14,2) * log10(app.G))) +
((Ei_coef(14,3) * Iarc_2700)/(Ei_coef(14,4)*app.Ibf^7 + Ei_coef(14,5)*app.Ibf^6 +
Ei_coef(14,6)*app.Ibf^5 + Ei_coef(14,7)*app.Ibf^4 + Ei_coef(14,8)*app.Ibf^3 +
Ei_coef(14,9)*app.Ibf^2 + Ei_coef(14,10)*app.Ibf)) + (Ei_coef(14,11) *
log10(app.Ibf) + Ei_coef(14,13) * log10(Iarc_2700) + log10(1/CF) -
log10(20/app.t)))/-(Ei_coef(14,12))));
disp(['AFB_2700= ', num2str(AFB_2700), ' mm']);
AFB_2700ft= AFB_2700*0.00328084;
disp(['AFB_2700ft= ', num2str(AFB_2700ft), ' ft']);
AFB_2700inch=AFB_2700*0.0393701;
disp(['AFB_2700inch= ', num2str(AFB_2700inch), ' inch']);
AFB_14300 = 10^(((Ei_coef(15,1) + (Ei_coef(15,2) * log10(app.G))) +
((Ei_coef(15,3) * Iarc_14300)/(Ei_coef(15,4)*app.Ibf^7 + Ei_coef(15,5)*app.Ibf^6 +
Ei_coef(15,6)*app.Ibf^5 + Ei_coef(15,7)*app.Ibf^4 + Ei_coef(15,8)*app.Ibf^3 +
Ei_coef(15,9)*app.Ibf^2 + Ei_coef(15,10)*app.Ibf)) + (Ei_coef(15,11) *
log10(app.Ibf) + Ei_coef(15,13) * log10(Iarc_14300) + log10(1/CF) -
log10(20/app.t)))/-(Ei_coef(15,12))));
disp(['AFB_14300= ', num2str(AFB_14300), ' mm']);
AFB_14300ft= AFB_14300*0.00328084;
disp(['AFB_14300ft= ', num2str(AFB_14300ft), ' ft']);
AFB_14300inch=AFB_14300*0.0393701;
disp(['AFB_14300inch= ', num2str(AFB_14300inch), ' inch']);
end
end

disp(' ')
if app.V < 0.6
    disp(['AFB_menor600= ', num2str(AFB_menor600), ' mm']);
    disp(['AFB_menor600ft= ', num2str(AFB_menor600ft), ' ft']);
    disp(['AFB_menor600inch= ', num2str(AFB_menor600inch), ' inch']);
else
    AFB1 = ((AFB_2700-AFB_600)/2.1) * (app.V - 2.7) + AFB_2700;
    disp(['AFB1= ', num2str(AFB1), ' mm']);
    AFB1_ft= AFB1*0.00328084;
    disp(['AFB1_ft= ', num2str(AFB1_ft), ' ft']);
    AFB1_inch=AFB1*0.0393701;
    disp(['AFB1_inch= ', num2str(AFB1_inch), ' inch']);

    AFB2 = ((AFB_14300-AFB_2700)/11.6) * (app.V - 14.3) + AFB_14300;
    disp(['AFB2= ', num2str(AFB2), ' mm']);
    AFB2_ft= AFB2*0.00328084;
    disp(['AFB2_ft= ', num2str(AFB2_ft), ' ft']);
    AFB2_inch=AFB2*0.0393701;
    disp(['AFB2_inch= ', num2str(AFB2_inch), ' inch']);
end

```

```

AFB3 = ((AFB1*(2.7 - app.V))/2.1) + ((AFB2*(app.V - 0.6))/2.1);
disp(['AFB3= ',num2str(AFB3),' mm']);
AFB3_ft= AFB3*0.00328084;
disp(['AFB3_ft= ',num2str(AFB3_ft),' ft']);
AFB3_inch=AFB3*0.0393701;
disp(['AFB3_inch= ',num2str(AFB3_inch),' inch']);
end

disp(' ')
disp('IEEE Std 1584™-2018: VALOR FINAL DA ENERGIA INCIDENTE')%O valor final da
energia incidente pode ser determinado
if app.V < 0.6
    disp(['E_menor600= ',num2str(E_menor600),' J/cm²']);
    disp(['Ecal_menor600= ',num2str(Ecal_menor600),' cal/cm²']);
else
    E1 = ((E_2700-E_600)/2.1) * (app.V - 2.7) + E_2700;
    disp(['E1= ',num2str(E1),' J/cm²']);
    Ecal_1 = E1/4.184;
    disp(['Ecal_1= ',num2str(Ecal_1),' cal/cm²']);

    E2 = ((E_14300-E_2700)/11.6) * (app.V - 14.3) + E_14300;
    disp(['E2= ',num2str(E2),' J/cm²']);
    Ecal_2 = E2/4.184;
    disp(['Ecal_2= ',num2str(Ecal_2),' cal/cm²']);

    E3 = ((E1*(2.7 - app.V))/2.1) + ((E2*(app.V - 0.6))/2.1);
    disp(['E3= ',num2str(E3),' J/cm²']);
    Ecal_3 = E3/4.184;
    disp(['Ecal_3= ',num2str(Ecal_3),' cal/cm²']);
end

if app.V < 0.6

    E = E_menor600;
    Ecal = Ecal_menor600;
    Ia = Iarc;
    Db = AFB_menor600;
    Dbft = AFB_menor600ft;
    Dbinch = AFB_menor600inch;

elseif app.V < 2.7 && app.V >= 0.6
    E = E3;
    Ecal = Ecal_3;
    Ia = Iarc_3;
    Db = AFB3;
    Dbft = AFB3_ft;
    Dbinch = AFB3_inch;

elseif app.V >= 2.7
    E = E2;
    Ecal = Ecal_2;
    Ia = Iarc_2;
    Db = AFB2;
    Dbft = AFB2_ft;
    Dbinch = AFB2_inch;

end

```

```

        Texto = ["CÁLCULOS PARA ENERGIA INCIDENTE - COMPARATIVO"; ...
            "Metodo: IEEE Std 1584™-2018"; ...
            ""; ...
            "Autores: Kaique Bryan Costa Souza Reis e Tulio Freitas
Rodrigues"; ...
            ""; ...
            "IEEE 2018: CORRENTE DE ARCO"; ...
            "Ia= " + num2str(Ia) + " kA"; ...
            " "; ...
            "IEEE 2018: ENERGIA INCIDENTE"; ...
            "E= " + num2str(E) + " J/cm²"; ...
            "Ecal= " + num2str(Ecal) + " cal/cm²"; ...
            " "; ...
            "IEEE 2018: DISTÂNCIA SEGURA DE APROXIMAÇÃO"; ...
            "AFB= " + num2str(Db) + " mm"; ...
            "AFBft= " + num2str(Dbft) + " ft"; ...
            "AFBinch= " + num2str(Dbinch) + " inch"];

        app.Label.Text = strjoin(Texto, '\n');
    end

end

% Value changed function: TipodeEquipamentoDropDown
function TipodeEquipamentoDropDownValueChanged(app, event)
    value = app.TipodeEquipamentoDropDown.Value;

    if app.V <= 1
        if value == "Ar livre"
            app.x = 2;
        elseif value == "Comutador"
            app.x = 1.473;
        elseif value == "Cabo"
            app.x = 1.641;
        else
            app.x = 2;
        end

    elseif app.V > 1
        if value == "Ar livre"
            app.x = 2;
        elseif value == "Comutador"
            app.x = 0.973;
        else
            app.x = 2;
        end
    end

end

end

% Component initialization
methods (Access = private)

    % Create UIFigure and components
    function createComponents(app)

```

```

% Create UIFigure and hide until all components are created
app.UIFigure = uifigure('Visible', 'off');
app.UIFigure.Position = [100 100 595 639];
app.UIFigure.Name = 'MATLAB App';

% Create VersodaNormaDropDownLabel
app.VersodaNormaDropDownLabel = uilabel(app.UIFigure);
app.VersodaNormaDropDownLabel.HorizontalAlignment = 'right';
app.VersodaNormaDropDownLabel.Position = [213 609 105 22];
app.VersodaNormaDropDownLabel.Text = 'Versão da Norma';

% Create VersodaNormaDropDown
app.VersodaNormaDropDown = uidropdown(app.UIFigure);
app.VersodaNormaDropDown.Items = {'', 'IEEE 2002', 'IEEE 2018'};
app.VersodaNormaDropDown.ValueChangedFcn = createCallbackFcn(app,
@VersodaNormaDropDownValueChanged, true);
app.VersodaNormaDropDown.Position = [326 608 92 23];
app.VersodaNormaDropDown.Value = '';

% Create TensoNominalkVEditFieldLabel
app.TensoNominalkVEditFieldLabel = uilabel(app.UIFigure);
app.TensoNominalkVEditFieldLabel.HorizontalAlignment = 'right';
app.TensoNominalkVEditFieldLabel.Position = [111 531 116 22];
app.TensoNominalkVEditFieldLabel.Text = 'Tensão Nominal (kV)';

% Create TensoNominalkVEditField
app.TensoNominalkVEditField = uieditfield(app.UIFigure, 'numeric');
app.TensoNominalkVEditField.ValueChangedFcn = createCallbackFcn(app,
@TensoNominalkVEditFieldValueChanged, true);
app.TensoNominalkVEditField.Position = [242 531 45 22];

% Create CorrentedeFaltakAEditFieldLabel
app.CorrentedeFaltakAEditFieldLabel = uilabel(app.UIFigure);
app.CorrentedeFaltakAEditFieldLabel.HorizontalAlignment = 'right';
app.CorrentedeFaltakAEditFieldLabel.Position = [105 438 124 22];
app.CorrentedeFaltakAEditFieldLabel.Text = 'Corrente de Falta (kA)';

% Create CorrentedeFaltakAEditField
app.CorrentedeFaltakAEditField = uieditfield(app.UIFigure, 'numeric');
app.CorrentedeFaltakAEditField.ValueChangedFcn =
createCallbackFcn(app, @CorrentedeFaltakAEditFieldValueChanged, true);
app.CorrentedeFaltakAEditField.Position = [244 438 43 21];

% Create EspaamentoentrecondutoresmmEditFieldLabel
app.EspaamentoentrecondutoresmmEditFieldLabel = uilabel(app.UIFigure);
app.EspaamentoentrecondutoresmmEditFieldLabel.HorizontalAlignment =
'right';
app.EspaamentoentrecondutoresmmEditFieldLabel.Position = [24 483 204
22];
app.EspaamentoentrecondutoresmmEditFieldLabel.Text = 'Espaçamento
entre condutores (mm)';

% Create EspaamentoentrecondutoresmmEditField
app.EspaamentoentrecondutoresmmEditField = uieditfield(app.UIFigure,
'numeric');
app.EspaamentoentrecondutoresmmEditField.ValueChangedFcn =
createCallbackFcn(app, @EspaamentoentrecondutoresmmEditFieldValueChanged, true);
app.EspaamentoentrecondutoresmmEditField.Position = [243 484 44 19];

```

```

% Create DstnciadetrabalhomEditFieldLabel
app.DstnciadetrabalhomEditFieldLabel = uilabel(app.UIFigure);
app.DstnciadetrabalhomEditFieldLabel.HorizontalAlignment = 'right';
app.DstnciadetrabalhomEditFieldLabel.Position = [93 393 146 22];
app.DstnciadetrabalhomEditFieldLabel.Text = 'Dstância de trabalho
(mm)';

% Create DstnciadetrabalhomEditField
app.DstnciadetrabalhomEditField = uieditfield(app.UIFigure,
'numeric');
app.DstnciadetrabalhomEditField.ValueChangedFcn =
createCallbackFcn(app, @DstnciadetrabalhomEditFieldValueChanged, true);
app.DstnciadetrabalhomEditField.Position = [246 392 41 21];

% Create AlturammEditFieldLabel
app.AlturammEditFieldLabel = uilabel(app.UIFigure);
app.AlturammEditFieldLabel.HorizontalAlignment = 'right';
app.AlturammEditFieldLabel.Visible = 'off';
app.AlturammEditFieldLabel.Position = [462 535 68 22];
app.AlturammEditFieldLabel.Text = 'Altura (mm)';

% Create AlturammEditField
app.AlturammEditField = uieditfield(app.UIFigure, 'numeric');
app.AlturammEditField.ValueChangedFcn = createCallbackFcn(app,
@AlturammEditFieldValueChanged, true);
app.AlturammEditField.Visible = 'off';
app.AlturammEditField.Position = [545 535 44 25];

% Create LargurammEditFieldLabel
app.LargurammEditFieldLabel = uilabel(app.UIFigure);
app.LargurammEditFieldLabel.HorizontalAlignment = 'right';
app.LargurammEditFieldLabel.Visible = 'off';
app.LargurammEditFieldLabel.Position = [452 491 78 22];
app.LargurammEditFieldLabel.Text = 'Largura (mm)';

% Create LargurammEditField
app.LargurammEditField = uieditfield(app.UIFigure, 'numeric');
app.LargurammEditField.ValueChangedFcn = createCallbackFcn(app,
@LargurammEditFieldValueChanged, true);
app.LargurammEditField.Visible = 'off';
app.LargurammEditField.Position = [545 489 44 26];

% Create ProfundidademmEditFieldLabel
app.ProfundidademmEditFieldLabel = uilabel(app.UIFigure);
app.ProfundidademmEditFieldLabel.HorizontalAlignment = 'right';
app.ProfundidademmEditFieldLabel.Visible = 'off';
app.ProfundidademmEditFieldLabel.Position = [421 446 108 22];
app.ProfundidademmEditFieldLabel.Text = 'Profundidade (mm)';

% Create ProfundidademmEditField
app.ProfundidademmEditField = uieditfield(app.UIFigure, 'numeric');
app.ProfundidademmEditField.ValueChangedFcn = createCallbackFcn(app,
@ProfundidademmEditFieldValueChanged, true);
app.ProfundidademmEditField.Visible = 'off';
app.ProfundidademmEditField.Position = [544 441 45 31];

% Create TipodeEletrodoDropDownLabel

```

```

app.TipodeEletrodoDropDownLabel = uilabel(app.UIFigure);
app.TipodeEletrodoDropDownLabel.HorizontalAlignment = 'right';
app.TipodeEletrodoDropDownLabel.Visible = 'off';
app.TipodeEletrodoDropDownLabel.Position = [400 404 93 22];
app.TipodeEletrodoDropDownLabel.Text = 'Tipo de Eletrodo';

% Create TipodeEletrodoDropDown
app.TipodeEletrodoDropDown = uiddropdown(app.UIFigure);
app.TipodeEletrodoDropDown.Items = {'', 'VCB', 'VCBB', 'HCB', 'VOA',
'HOA'};
app.TipodeEletrodoDropDown.ValueChangedFcn = createCallbackFcn(app,
@TipodeEletrodoDropDownValueChanged, true);
app.TipodeEletrodoDropDown.Visible = 'off';
app.TipodeEletrodoDropDown.Position = [508 400 81 30];
app.TipodeEletrodoDropDown.Value = '';

% Create TempodoArcomsEditFieldLabel
app.TempodoArcomsEditFieldLabel = uilabel(app.UIFigure);
app.TempodoArcomsEditFieldLabel.HorizontalAlignment = 'right';
app.TempodoArcomsEditFieldLabel.Position = [119 336 112 22];
app.TempodoArcomsEditFieldLabel.Text = 'Tempo do Arco (ms)';

% Create TempodoArcomsEditField
app.TempodoArcomsEditField = uieditfield(app.UIFigure, 'numeric');
app.TempodoArcomsEditField.ValueChangedFcn = createCallbackFcn(app,
@TempodoArcomsEditFieldValueChanged, true);
app.TempodoArcomsEditField.Position = [246 333 41 28];

% Create TipodeAterramentoDropDownLabel
app.TipodeAterramentoDropDownLabel = uilabel(app.UIFigure);
app.TipodeAterramentoDropDownLabel.HorizontalAlignment = 'right';
app.TipodeAterramentoDropDownLabel.Visible = 'off';
app.TipodeAterramentoDropDownLabel.Position = [356 479 113 22];
app.TipodeAterramentoDropDownLabel.Text = 'Tipo de Aterramento';

% Create TipodeAterramentoDropDown
app.TipodeAterramentoDropDown = uiddropdown(app.UIFigure);
app.TipodeAterramentoDropDown.Items = {'', 'Aterrado', 'Aberto',
'Impedancia'};
app.TipodeAterramentoDropDown.ValueChangedFcn = createCallbackFcn(app,
@TipodeAterramentoDropDownValueChanged, true);
app.TipodeAterramentoDropDown.Visible = 'off';
app.TipodeAterramentoDropDown.Position = [484 474 104 32];
app.TipodeAterramentoDropDown.Value = '';

% Create CalcularButton
app.CalcularButton = uibutton(app.UIFigure, 'push');
app.CalcularButton.ButtonPushedFcn = createCallbackFcn(app,
@CalcularButtonPushed, true);
app.CalcularButton.Position = [428 333 155 35];
app.CalcularButton.Text = 'Calcular';

% Create Label
app.Label = uilabel(app.UIFigure);
app.Label.BackgroundColor = [0.902 0.902 0.902];
app.Label.Position = [86 44 460 271];
app.Label.Text = '';

```

```

% Create TipodeEquipamentoDropDownLabel
app.TipodeEquipamentoDropDownLabel = uilabel(app.UIFigure);
app.TipodeEquipamentoDropDownLabel.HorizontalAlignment = 'right';
app.TipodeEquipamentoDropDownLabel.Visible = 'off';
app.TipodeEquipamentoDropDownLabel.Position = [355 531 119 22];
app.TipodeEquipamentoDropDownLabel.Text = 'Tipo de Equipamento';

% Create TipodeEquipamentoDropDown
app.TipodeEquipamentoDropDown = uidropdown(app.UIFigure);
app.TipodeEquipamentoDropDown.Items = {'', 'Ar livre', 'Comutador',
'Cabo', 'CCM a painéis'};
app.TipodeEquipamentoDropDown.ValueChangedFcn = createCallbackFcn(app,
@TipodeEquipamentoDropDownValueChanged, true);
app.TipodeEquipamentoDropDown.Visible = 'off';
app.TipodeEquipamentoDropDown.Position = [484 528 105 32];
app.TipodeEquipamentoDropDown.Value = '';

% Show the figure after all components are created
app.UIFigure.Visible = 'on';
end
end

% App creation and deletion
methods (Access = public)

% Construct app
function app = APP

% Create UIFigure and components
createComponents(app)

% Register the app with App Designer
registerApp(app, app.UIFigure)

if nargin == 0
    clear app
end
end

% Code that executes before app deletion
function delete(app)

% Delete UIFigure when app is deleted
delete(app.UIFigure)
end
end
end
end

```