



A maior especialista em  
elétrica e automação do Brasil.

# Análise da Energia Incidente por Arcos Elétricos

*Segurança dos Profissionais e  
Otimização das Instalações*

Eng. Henrique Fantoni Primo



## HENRIQUE FANTONI PRIMO

[henrique.fantoni@sma-eng.com.br](mailto:henrique.fantoni@sma-eng.com.br)

Engenheiro Eletricista formado pelo CEFET/ MG

Pós-graduado em Sistemas de Energia Elétrica com Ênfase em Qualidade de Energia pela UFMG

Mestre em Engenharia Elétrica pela UFMG

Doutorando em Engenharia Elétrica pela UFMG

Professor de Pós-graduação da PUC/MG nos cursos:

- ❖ Proteção de Sistemas Elétricos de Potência
- ❖ Transmissão e Distribuição de Energia Elétrica

Sócio e Gerente do Departamento de Estudos Elétricos da SM&A Sistemas Elétricos & Automação

Autor de diversos artigos publicados em revistas, seminários e simpósios

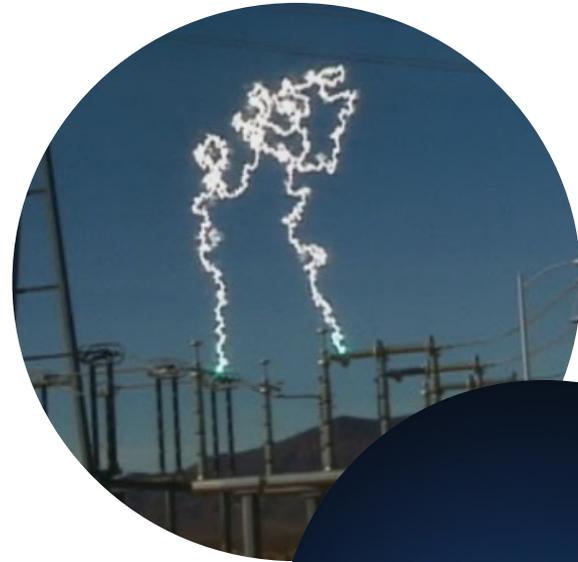
Participação efetiva nos seguintes Comitês e Grupos Técnicos:

- ❖ GT ABNT 003:064.012-006 – Energia Incidente
- ❖ ABNT/CB-032 – Comitê Brasileiro de Equipamentos de Proteção Individual
- ❖ Institute of Electrical and Electronics Engineers - IEEE MEMBER # 96528398
- ❖ Comitê Nacional Brasileiro de Produção e Transmissão de Energia Elétrica - Estudos B5 - Proteção e Automação - CIGRÉ Brasil - Membro nº 120200419

# ARCO ELÉTRICO

## ❖ CONCEITO

Um arco elétrico caracteriza-se pela circulação significativa de corrente elétrica por um material normalmente não condutor, como por exemplo o ar.



# ARCO ELÉTRICO

## ❖ CARACTERÍSTICAS BÁSICAS

- ❖ Liberação de grande quantidade de energia.
- ❖ Cargas elétricas movimentando-se a altas velocidades (em torno de 100 m/s).
- ❖ Elevação da resistência (30 a 40V/cm).
- ❖ Altas temperaturas (20.000°C).
- ❖ Ondas de pressão (1100km/h).
- ❖ Fumaças tóxicas.
- ❖ Projeção de estilhaços.
- ❖ Ruído de alta intensidade (160dB).

# ARCO ELÉTRICO

## ❖ PRINCIPAIS FATORES CAUSADORES DO ARCO ELÉTRICO

- ❖ Isolação submetida à **esforços além da capacidade dielétrica.**
- ❖ **Falta de manutenção** nos equipamentos, principalmente disjuntores, contadores e chaves seccionadoras.
- ❖ **Corrosão** causa aquecimento, que pode comprometer a isolação.
- ❖ **Cabos** e isolamentos dos barramentos **defeituosos.**

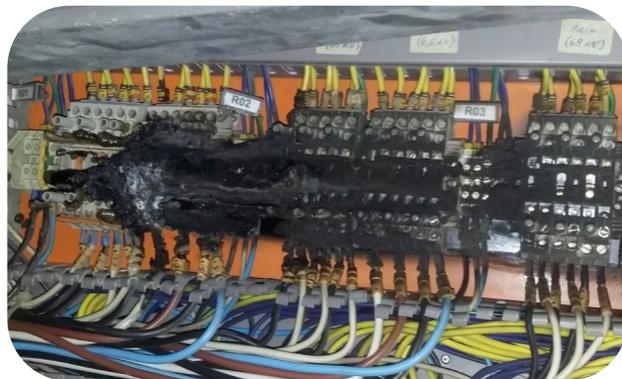


# ARCO ELÉTRICO

## ❖ PRINCIPAIS FATORES CAUSADORES DO ARCO ELÉTRICO

- ❖ Conexões frouxas podem causar superaquecimento e um arco elétrico.
- ❖ Transformadores de corrente (TCs) com os enrolamentos secundários abertos.
- ❖ Existência de impurezas ou poeira que reduzam a capacidade dielétrica.

- ❖ Presença de **animais**, tais como roedores e insetos.
- ❖ **Falhas humanas** durante serviços realizados em sistemas elétricos energizados.



# ARCO ELÉTRICO

## ❖ PRINCIPAIS CONSEQUÊNCIAS

### Profissionais

- ❖ Lesão por queimadura através da energia irradiada (incidente) ou respingo de metais.
- ❖ Danos por barulho e pressão vindas da onda de choque.

- ❖ Danos ao sistema respiratório.
- ❖ **Óbito.**



# ARCO ELÉTRICO

## ❖ PRINCIPAIS CONSEQUÊNCIAS

### Equipamentos

- ❖ Danos leves e sérios.
- ❖ **Destruição total.**



# SISTEMAS ENERGIZADOS



***RISCO DE  
ARCO ELÉTRICO***





**SM&A**

SISTEMAS ELÉTRICOS E AUTOMAÇÃO

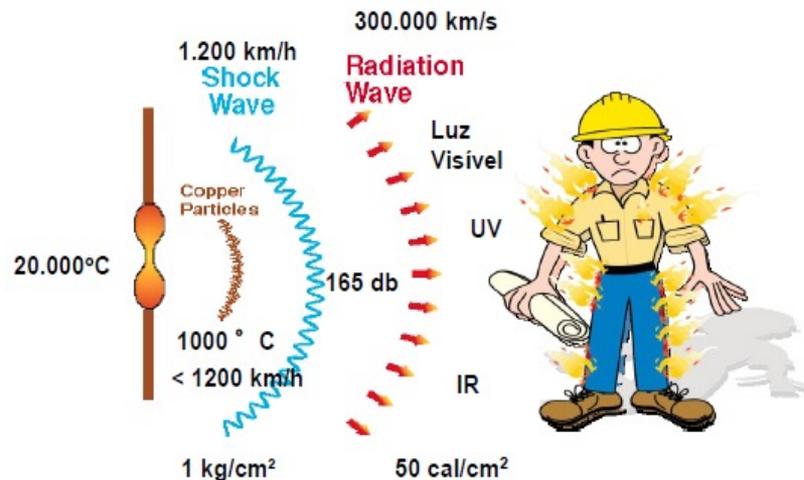
O QUE FAZER PARA  
***REDUZIR***  
***O RISCO***  
DE ARCO ELÉTRICO?

# ANÁLISE DA ENERGIA INCIDENTE

## ❖ CONCEITO DE ENERGIA INCIDENTE

- ❖ A **Energia Incidente** é definida na **NFPA 70E** como a **quantidade de energia impressa em uma superfície**, a certa distância da fonte, **gerada durante um evento de arco elétrico**.

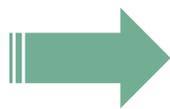
Em outras palavras, é a **densidade de energia em calorías/cm<sup>2</sup> ou Joules/cm<sup>2</sup>** à qual a face ou corpo do trabalhador fica exposta em uma abertura de arco elétrico, para uma determinada distância de trabalho.



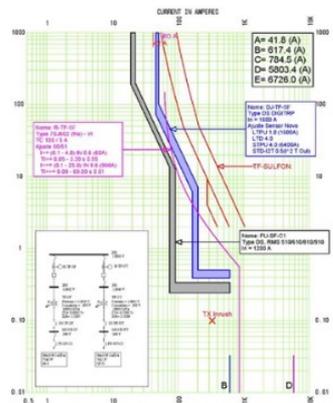
# ANÁLISE DA ENERGIA INCIDENTE



Levantamento  
de campo



Estudo de  
Curto-circuito



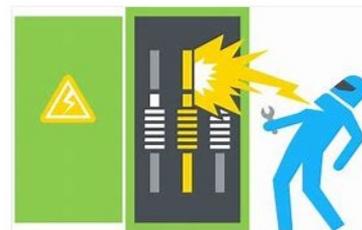
Estudo de  
Seletividade

ENERGIA  
INCIDENTE

$\alpha$

NÍVEIS DE  
CURTO-CIRCUITO

TEMPOS ATUAÇÃO  
PROTEÇÃO

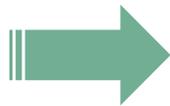


Estudo de  
Energia  
Incidente

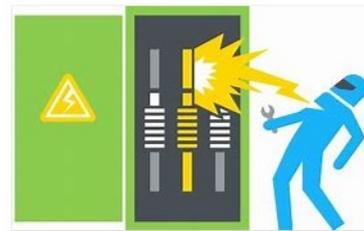
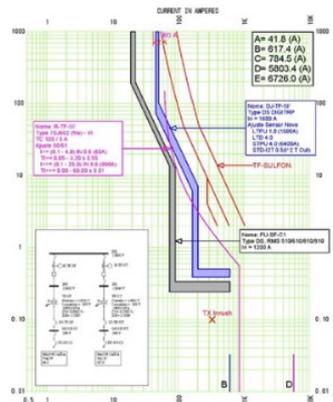
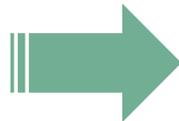
# ANÁLISE DA ENERGIA INCIDENTE



Levantamento  
de campo



Estudo de  
Curto-circuito



Estudo de  
Seletividade

Estudo de  
Energia  
Incidente

O guia **IEEE 1584.1 - 2022** apresenta orientações para à especificação e desempenho de um estudo de cálculo de risco de arco voltaico, de acordo com o processo definido na **IEEE Std. 1584 - 2018**, incluindo recomendações de escopo de trabalho e entregas associadas.

## ❖ NR 10 – SEGURANÇA EM INSTALAÇÕES E SERVIÇOS EM ELETRICIDADE

- ❖ As vestimentas de trabalho devem ser adequadas às atividades.
- ❖ O Prontuário da NR 10 tem que apresentar a memória de cálculo de energia incidente para a especificação das vestimentas.

## ❖ NR 6 - EQUIPAMENTO DE PROTEÇÃO INDIVIDUAL (EPI)

- ❖ Cita no Anexo I os EPIs contra AGENTES TÉRMICOS, mas não detalha quanto à sua especificação.

TEM PODER  
DE LEI!!!

Normas  
Regulamentadoras

NR



- ❖ Trata-se de uma entidade privada, sem fins lucrativos e de utilidade pública, fundada em 1940 e confirmada pelo governo federal por meio de diversos instrumentos legais.
- ❖ A ABNT é responsável pela elaboração das Normas Brasileiras (ABNT NBR), elaboradas por seus Comitês Brasileiros (ABNT/CB), Organismos de Normalização Setorial (ABNT/ONS) e Comissões de Estudo Especiais (ABNT/CEE).

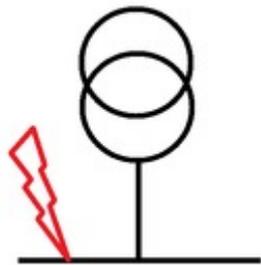


- ❖ **ABNT NBR 16384 - Segurança em Eletricidade**
- ❖ **ABNT NBR IEC6 1482 - Trabalho sob tensão — Vestimenta de proteção contra perigos térmicos de um arco elétrico**  
Parte 1: Métodos de Ensaios;  
Parte 2: Requisitos.
- ❖ **ABNT/CB-003/CE 003 064 012 – “Energia Incidente”.**

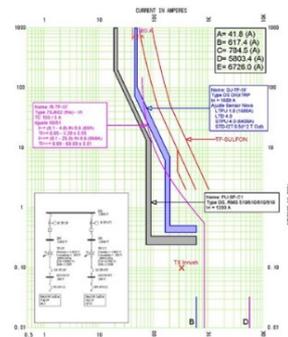
# ANÁLISE DA ENERGIA INCIDENTE



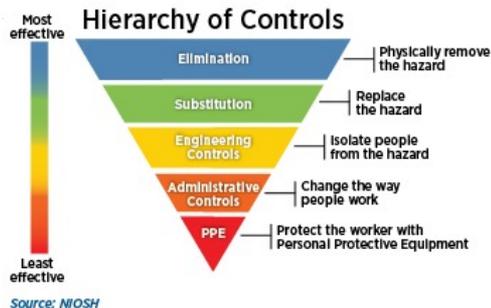
Levantamento  
de campo



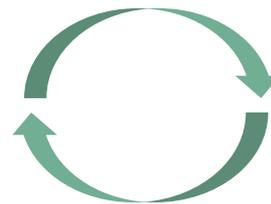
Estudo de  
Curto-circuito



Estudo de  
Seletividade



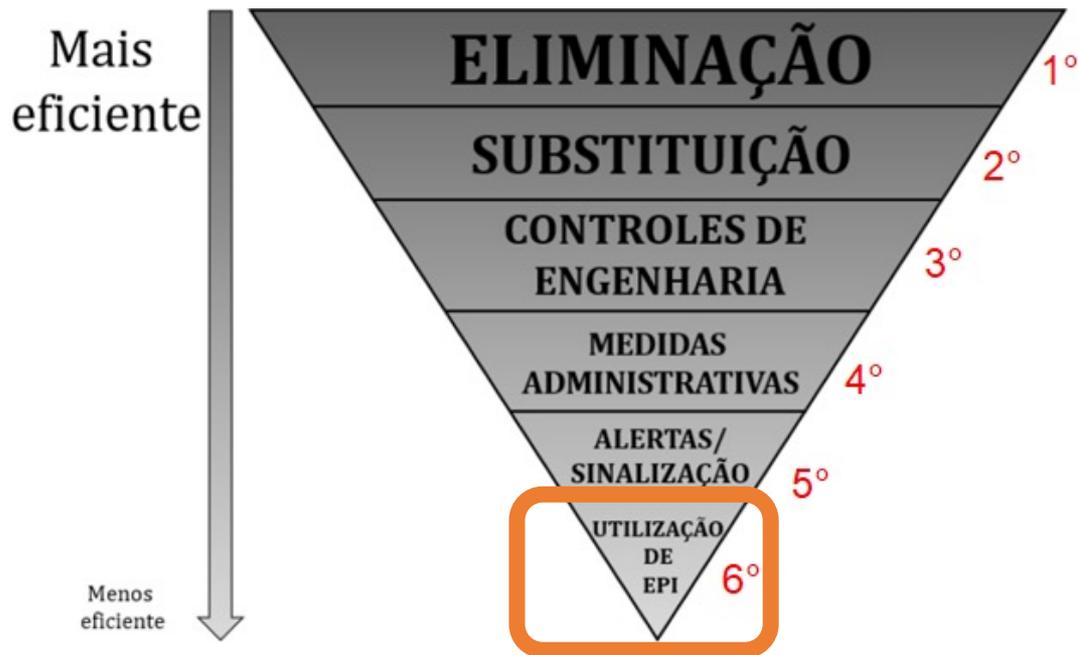
Medidas de  
Controle



Estudo de  
Energia  
Incidente

# MEDIDAS DE CONTROLE

A **OSHA 18001** e a **ISO 45001** estabelecem requisitos relacionados à Gestão da Segurança e Saúde Ocupacional e recomendam que as **Medidas de Controle para Redução do Risco** devem obedecer preferencialmente a seguinte **hierarquia**.



# MEDIDAS DE CONTROLE

## ❖ 1º – ELIMINAÇÃO

- ❖ **DESENERGIZAR = Interromper a Produção.**
- ❖ **Sempre que possível**, trabalhar com o **sistema desenergizado**, conforme recomendação das normas **NR 10** e **NFPA 70E**.
- ❖ Medida de controle mais efetiva, porém a mais difícil de implementar.



# MEDIDAS DE CONTROLE

## ❖ 2º – SUBSTITUIÇÃO

- ❖ **Substituir equipamentos** para **aumento da segurança dos operadores**, como painéis antigos por novos à prova de arco.
- ❖ **Substituir equipamentos** para **reduzir a Energia Incidente** no sistema, tais como:
  - Transformadores de força (ex.: menor potência / maior impedância);
  - Sistemas antigos de proteção por unidades microprocessadas (ex.: inclusão de elementos sensíveis às correntes de curto-circuito limitadas por arco elétrico).



# MEDIDAS DE CONTROLE

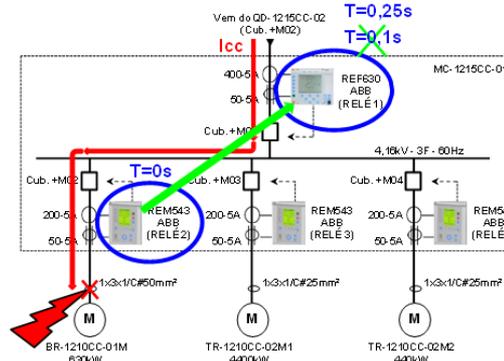
## ❖ 3º – CONTROLES DE ENGENHARIA

❖ Projetos novos ou adequação de existentes, contemplando:

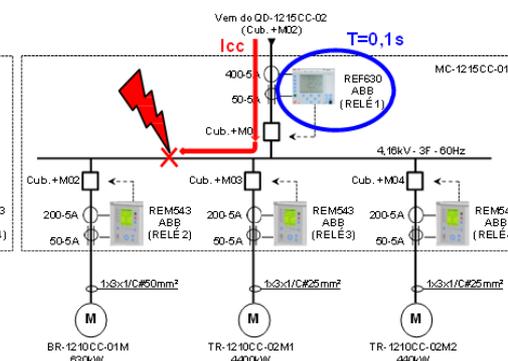
- Realizar uma análise de energia incidente em projetos básicos.
- Definição de **filosofias e sistemas de proteção**, visando a **redução dos tempos de atuação** dos dispositivos.

Tensão kV	Tipo $I_{cc}$	$I_a$ kA	TRIP s	$t_d$ s	E cal/cm <sup>2</sup>	TRIP <sub>1</sub> Seletividade Lógica	E <sub>1</sub> cal/cm <sup>2</sup>
13,8	Máx	26,9	0,250	0,080	30,78	0,100	6,53
	Mín	16,4	0,250		10,23		

RELÉ 2: INSTANTÂNEO, T=0s (SINAL DE PICK-UP)  
RELÉ 1: TEMPORIZADO, T1=0,25s e T2=0,1s



RELÉ 2: INSTANTÂNEO, T=0s  
RELÉ 1: TEMPORIZADO, T1=0,25s e T2=0,1s

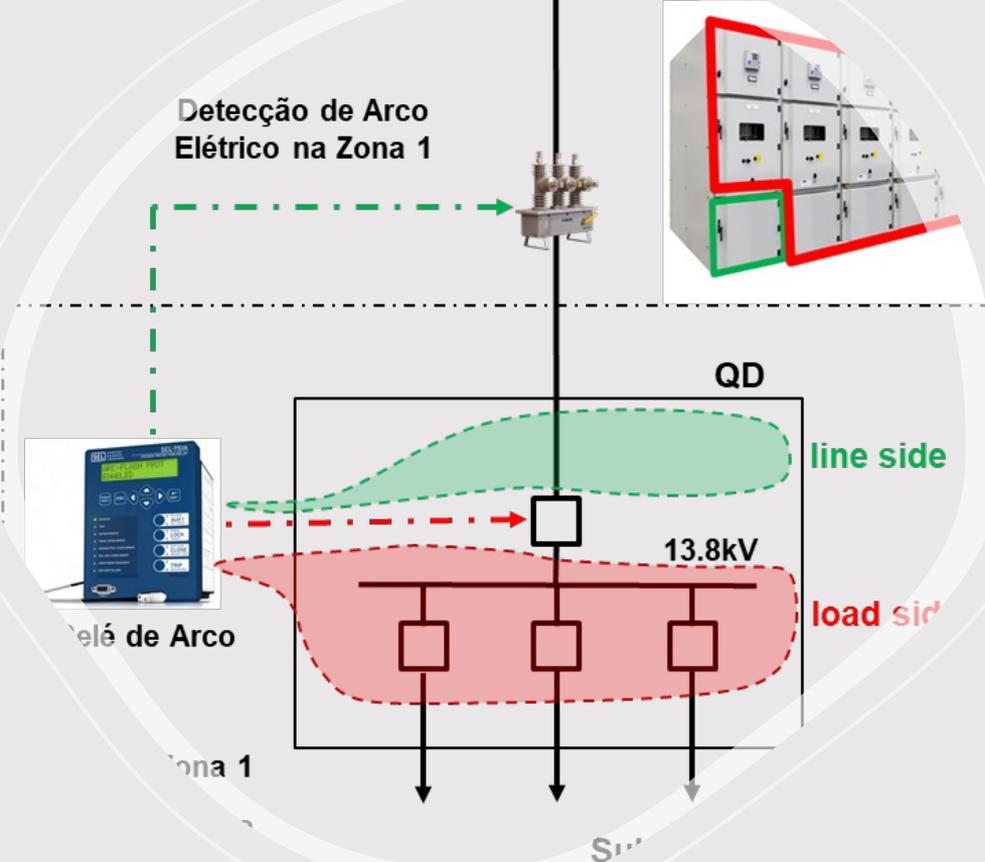


# MEDIDAS DE CONTROLE

## ❖ 3º – CONTROLES DE ENGENHARIA

❖ Projetos novos ou adequação de existentes, contemplando:

- Instalação de **relés de proteção contra arcos elétricos**, visando a **redução dos tempos de atuação** dos dispositivos.



Tensão (kV)	I <sub>arc</sub> Max (kA)	Tempo relé de arco (ms)	Tempo de abertura do disjuntor (ms)	Energia Incidente com Relé de Arco (cal/cm <sup>2</sup> )	Energia Incidente Atual (cal/cm <sup>2</sup> )
6.6	9.987	7	80	1.57	8.67
0.44	25.77	7	80	3.08	9.90
0.44	33.63	7	80	4.65	20.37

# MEDIDAS DE CONTROLE

## ❖ 3º – CONTROLES DE ENGENHARIA

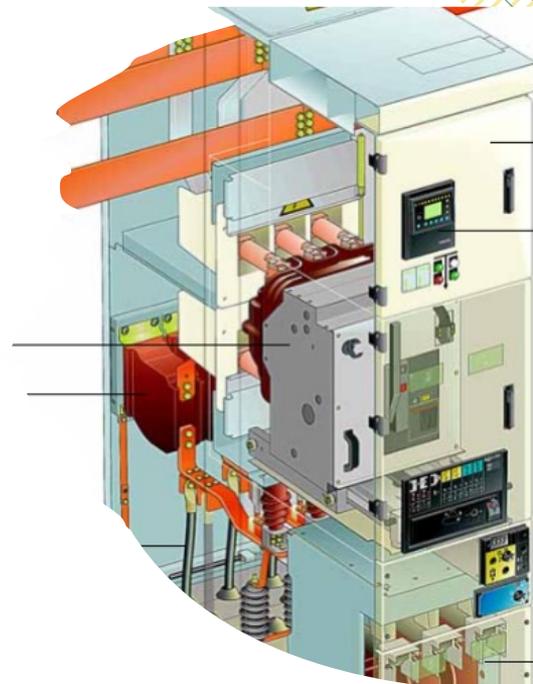
- ❖ Projetos novos ou adequação de existentes, contemplando:
  - Utilizar **chave seletora** para manutenção, de forma a **trocar o grupo de ajustes do relé** somente durante intervenções.
  - **Manobras remotas** de abertura / fechamento e inserção / extração de **disjuntores**.



# MEDIDAS DE CONTROLE

## ❖ 3º – CONTROLES DE ENGENHARIA

- ❖ Projetos novos ou adequação de existentes, contemplando:
  - Utilização de **disjuntores** com carrinhos **motorizados** para **manobras remotas** de inserção e extração.
  - Instalar **micro switch fim de curso** nas **portas** frontais e traseiras para **TRIP** em caso de **abertura**.



# MEDIDAS DE CONTROLE

## ❖ 4º – MEDIDAS ADMINISTRATIVAS

- ❖ Adoção de conjunto de procedimentos e instruções técnicas e administrativas para serviços em painéis elétricos,
  - Treinamentos constantes com a equipe técnica.
  - Desenergização total, quando possível.
  - Testes e ensaios em todos os equipamentos / painéis elétricos
- Plano de manutenção preventiva.
- Controle de acesso para permitir apenas profissionais habilitados e capacitados.
- Preenchimento de Análises de Riscos e Tarefas.
- Certificações dos equipamentos e materiais elétricos.
- Limitação dos níveis de EI nos painéis elétricos.



# MEDIDAS DE CONTROLE

## ❖ 4º – MEDIDAS ADMINISTRATIVAS

- ❖ Adoção de conjunto de procedimentos e instruções técnicas e administrativas para serviços em painéis elétricos, tais como:
  - **Seccionar, bloquear e sinalizar / etiquetar** as fontes de energia, incluindo o circuito a montante.



# MEDIDAS DE CONTROLE

## ❖ 5º – ALERTAS / SINALIZAÇÃO

- ❖ Conforme recomendado na **NR 10, IEEE 1584, IEEE 1584.1, NFPA 70E e NEC**, os painéis deverão ser identificados através de etiquetas visíveis com informações mínimas sobre a tensão nominal, nível de energia incidente e distância segura de aproximação.

Ibf (kA)	VCB		VCBB		HCB	
	Energia Incidente (cal/cm <sup>2</sup> )	AFB (mm)	Energia Incidente (cal/cm <sup>2</sup> )	AFB (mm)	Energia Incidente (cal/cm <sup>2</sup> )	AFB (mm)
5	1.53	1069.3	1.92	1199.4	2.86	1518.0
10	2.99	1635.1	4.03	1840.1	6.04	2348.2
15	4.4	2093.6	6.22	2362.3	9.33	3027.3
20	5.8	2494.8	8.45	2820.9	12.68	3621.1
25	7.18	2859.2	10.73	3237.3	16.05	4155.7
30	8.55	3196.8	13.03	3622.1	19.41	4644.0
35	9.92	3513.0	15.35	3981.0	22.74	5093.4
40	11.26	3810.5	17.66	4317.5	26	5508.1
45	12.59	4090.7	19.96	4634.0	29.17	5890.9
50	13.89	4354.4	22.24	4932.6	32.22	6243.3

Tabela 1. Configuração VCB, VCBB e HCB – IEEE-1584 (2018)

ATENÇÃO

---

RISCO DE CHOQUE E ARCO ELÉTRICO  
UTILIZE EPI RECOMENDADO

---

PROTEÇÃO CONTRA ARCO ELÉTRICO

Índice de Risco de Arco: 914.4 mm
Energia Incidente:

Proteção contra Arco: 2891 mm
8.68 cal/cm<sup>2</sup>

---

PROTEÇÃO CONTRA CHOQUES

Choque se portas removidas ou abertas: 6.6 kV
Distância - zona controlada: 1350 mm  
Distância - zona de risco: 350 mm

**EPI:**  
 Proteção apropriadas para a energia incidente (cal/cm<sup>2</sup>) deste painel: Macacão ou camisa de algodão e calça; luva multicamada; balaclava; capacete com visor acoplado; abaflador e botina de fibra de vidro ou de compósito.  
 A luva multicamada deverá ser utilizada com uma luva de isolamento de tensão de classe 1 (branca), 1295.

ATENÇÃO

---

RISCO DE CHOQUE E ARCO ELÉTRICO  
UTILIZE EPI RECOMENDADO

---

PROTEÇÃO CONTRA ARCO ELÉTRICO

Índice de Risco de Arco: 609.6 mm
Energia Incidente:

Proteção contra Arco: 3475.7 mm
41.11 cal/cm<sup>2</sup>

---

PROTEÇÃO CONTRA CHOQUES

Choque se portas removidas ou abertas: 0.44 kV
Distância - zona controlada: 700 mm  
Distância - zona de risco: 200 mm

**EPI:**  
 PARA A EXECUÇÃO DE TRABALHOS COM ESTE PAINEL ENERGIZADO, O OPERADOR DEVE USAR VESTIMENTA ADEQUADA PARA ESTE NÍVEL DE ENERGIA INCIDENTE. O DESLIGAMENTO E O BLOQUEIO DEVEM SER OBRIGATORIAMENTE REALIZADOS PELO OPERADOR ANTES DO AJUSTE DO ALIMENTADOR DESTA PAINEL.

**Localização: SALA ELÉTRICA**  
**Painel: PAINEL**

# MEDIDAS DE CONTROLE



## ATENÇÃO

### ❖ 6º – UTILIZAÇÃO DE EPIs

- ❖ **Medida de controle menos eficiente.**
- ❖ **O EPI não elimina o risco**, sendo apenas a **última das barreiras** para evitar ou atenuar a lesão ou agravo a saúde decorrente do da exposição ao arco elétrico.
- ❖ A **utilização de EPI** de forma alguma pode se constituir **em justificativa** para a **não implementação de todas as medidas de controle** mais eficientes.

# MEDIDAS DE CONTROLE

## ❖ 6° – UTILIZAÇÃO DE EPIs

<b>Tabela 130.5 da NFPA 70E</b> <b>Descrição dos EPI's</b>	<b>Energia Incidente Calculada (cal / cm<sup>2</sup>)</b>
<p>Camisa de manga comprida e calça a prova de arco elétrico com capacidade igual ou superior à energia incidente calculada.</p> <p>Protetor facial e bala clava a prova de arco ou vestimenta especial com capuz e capacete interno com visor acoplado.</p> <p>Luvas de couro próprias para trabalho pesado, luvas a prova de arco ou luvas de borracha isolante com proteção de couro.</p> <p>Capacete, abafador e botina de segurança.</p>	<b>1,2 cal / cm<sup>2</sup></b> <b>até</b> <b>12 cal / cm<sup>2</sup></b>
<p>Camisa de manga comprida e calça a prova de arco elétrico com capacidade igual ou superior à energia incidente calculada.</p> <p>Vestimenta especial com capuz e capacete interno com visor acoplado.</p> <p>Luvas de couro próprias para trabalho pesado, luvas a prova de arco ou luvas de borracha isolante com proteção de couro.</p>	<b>Acima de</b> <b>12 cal / cm<sup>2</sup></b>

# MEDIDAS DE CONTROLE

## ❖ 6º – UTILIZAÇÃO DE EPIs – INDICADOR ATP

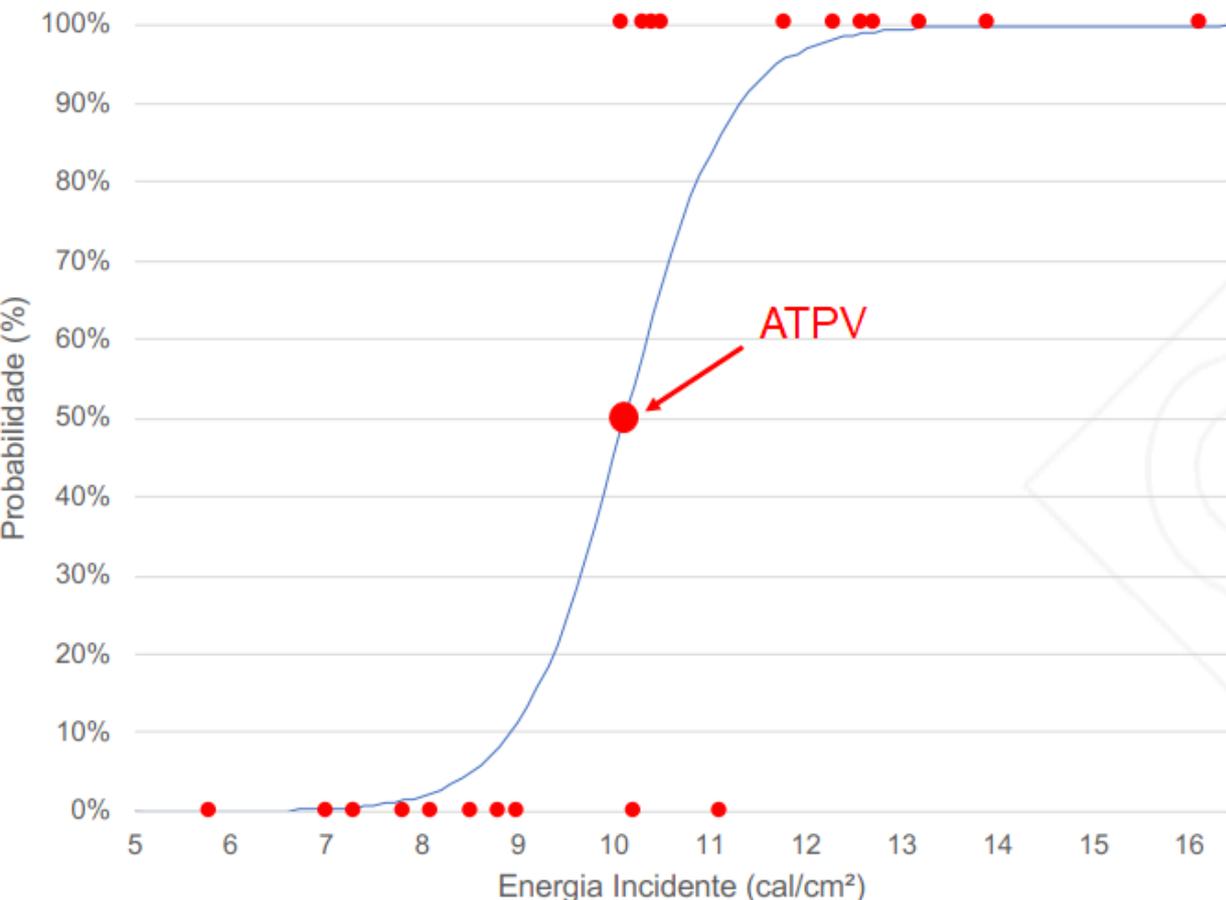
A Norma **ASTM F1959** definiu um indicador denominado **ATPV (Arc Thermal Performance Value)** para medir o desempenho dos tecidos e caracterizar as roupas de proteção contra arco elétrico.

**ATPV** é um **valor numérico** de **EI** atribuído a um produto ensaiado que descreve suas propriedades térmicas de atenuação de um fluxo de calor gerado por um arco elétrico, **determinado por uma curva de probabilidade.**





### ATPV - 50% de probabilidade de queimadura do 2º grau



- Mínimo de 20 amostras;
- 15% acima Stoll;
- 15% abaixo Stoll;
- 50% dentro de  $\pm 1,2$  ATPV;
- ATPV  $\rightarrow$  50 % de probabilidade.

#### Sumário do Modelo

	R2 (Aj.)		Área sob a			
R2	Deviance	Deviance	AIC	AICc	BIC	curva ROC
	63,97%	60,53%	14,47	15,14	16,56	0,9545

#### Testes de Qualidade de Ajuste

Teste	GL	Qui-Quadrado	Valor-P
Deviance	19	10,47	0,940
Pearson	19	10,58	0,937
Hosmer-Lemeshow	8	2,49	0,962

$$p(E) = \frac{1}{1 + e^{-a-b \cdot E}}$$

#### Coefficientes

Termo	Coef
a	-18,62
b	1,842

#### Indicadores de Desempenho

Indicador	cal/cm²
ATPV	10,1
ELIM	8,8



# VESTIMENTAS ANTICHAMAS

## ❖ INDICADOR ATPV

O ATPV é o valor máximo da energia incidente sobre o tecido que resulta numa probabilidade de 50% de que o calor transferido provoque uma queimadura do segundo grau, ou seja, 1,2 cal/cm<sup>2</sup> (5 Joules/cm<sup>2</sup>).

Energia  
Incidente  
calculada em  
um painel

=

ATPV da  
vestimenta

# VESTIMENTAS ANTICHAMAS

❖ **INDICADOR ATPV**

Energia  
Incidente  
calculada em  
um painel

=

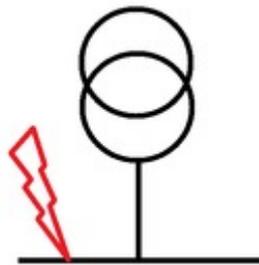
ATPV da  
vestimenta

**O profissional tem  
50% de chance de ter  
uma queimadura do  
segundo grau.**

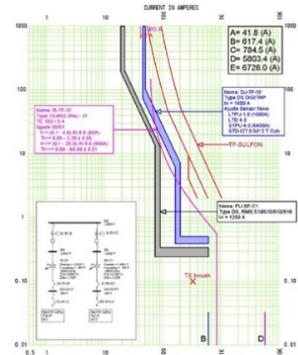
# ANÁLISE DA ENERGIA INCIDENTE



Levantamento de campo



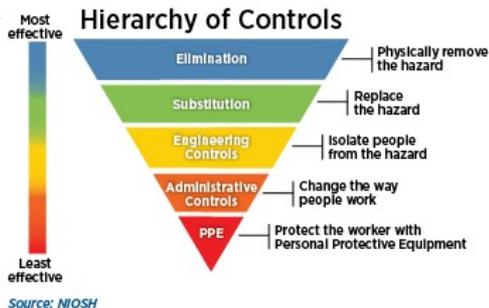
Estudo de Curto-circuito



Estudo de Seletividade



Medidas de Controle



Estudo de Energia Incidente



A maior especialista em  
elétrica e automação do Brasil.

# Análise da Energia Incidente por Arcos Elétricos

*Segurança dos Profissionais e Otimização  
das Instalações*





**SM&A**

SISTEMAS ELÉTRICOS E AUTOMAÇÃO

A maior especialista em  
elétrica e automação do Brasil.

OBRIGADO