

MEMORIAL DE CÁLCULO
ENERGIA INCIDENTE — ARC FLASH

ESTUDO CONFORME ABNT NBR 17227:2025 · IEEE 1584:2018

Norma Principal	ABNT NBR 17227:2025 — Arco elétrico — Gerenciamento de risco de energia incidente, precauções e métodos de cálculo
Referência Internacional	IEEE 1584:2018 — Guide for Performing Arc-Flash Hazard Calculations
Metodologia	Rigor Classe A — Motor validado · 90 cenários aprovados
Seções inclusas	Energia Incidente (Seções 1–4) · Tabela-Mestra da Instalação (Seção 5) · Análise de Sensibilidade (Seção 6) · Curto-Circuito IEC 60909 (Seção 7) · Coordenograma TCC (Seção 8) · Checklist Normativo (Seção C) · Fundamentos Técnicos (Seção T)

Equipamento / TAG:	SE 1000 kVA · QGBT	Data / Hora:	22/10/2026 00:24
Local / Instalação:	Indústria Modelo — Unidade Piloto	Responsável Técnico:	Eng. Responsável — CREA 0000000000
CREA:	—	ART nº:	—
Impressão do modelo:	f578cd8d32379cef	Abrange:	rede, proteções, ajustes, geometria e tempo de abertura

TERMO DE RESPONSABILIDADE TÉCNICA

Este memorial foi gerado pela **Arc Flash Platform v7.419.0 (motor v1.2 · regras v2)** (estudoseletricos.com) com base nos dados de entrada fornecidos pelo usuário. Ao utilizar este documento como laudo técnico, o engenheiro signatário declara estar ciente de que:

(a) Responsabilidade do laudo: O engenheiro signatário é o único responsável técnico pelo estudo, conforme atribuições do CREA e Lei 5.194/1966. A plataforma fornece o cálculo conforme norma, mas não substitui o julgamento técnico, a inspeção em campo nem a Anotação de Responsabilidade Técnica (ART).

(b) Responsabilidade pelos dados de entrada: Os parâmetros utilizados (tensão, corrente de curto-circuito, tempos de proteção, dimensões do invólucro, configuração de eletrodo) são de inteira responsabilidade do usuário. Dados incorretos produzem laudos incorretos.

(c) A plataforma calcula conforme norma, mas não substitui o julgamento técnico: O motor implementa IEEE 1584:2018 (validado, desvio máx. $E_i=0,781\%$) e ABNT NBR 17227:2025. Para instalações fora do escopo normativo da NBR 17227 (208–600 V com gap 6,35–76,2 mm; 601 V–15 kV com gap 19,05–254 mm), métodos alternativos são necessários — ver Seções 5.3 e 5.4 da NBR 17227 para outras faixas. Mudanças na instalação tornam este laudo desatualizado — reavaliar a cada modificação relevante conforme NR-10.

Sumário — Conteúdo conforme NBR 17227:2025 §11

Este laudo consolidado reúne, em documento único, os elementos exigidos pela gestão do estudo de energia incidente (§11). A coluna à direita indica o requisito normativo atendido por cada item.

Item do laudo	Requisito NBR 17227:2025 §11
Capa e Termo de Responsabilidade Técnica	§11 — Identificação, responsável e data
1. Introdução e Objetivo	§11.b — Metodologia e escopo
2. Dados de Entrada	§11.a — Dados do sistema elétrico
3. Memorial Analítico — Ei e LAS	§11.b · §11.e — Cálculo de Ei e LAS
4. Conclusão e Prescrição de EPI	§11.f · §11.g — EPI requerido e conclusões
T. Fundamentos Técnicos	§11.b — Embasamento normativo e teórico
5. Tabela-Mestra da Instalação — Ei por Barra	§11.e · §11.f — Resultados e EPI de todos os pontos
6. Memória de Curto-Circuito (IEC 60909)	§11.c — Corrente de curto-circuito
7. Coordenograma de Proteção — TCC	§11.d — Coordenação e tempos de atuação

O sumário não indica número de página; as seções seguem na ordem listada.

1. Introdução e Objetivo

O presente memorial documenta a avaliação quantitativa do risco de arco elétrico conforme **ABNT NBR 17227:2025** (Gerenciamento de risco de energia incidente) e **IEEE 1584:2018**, em atendimento à **NR-10** (Segurança em Instalações Elétricas e Serviços em Eletricidade). A análise determina a **Energia Incidente (Ei)** e o **Limite de Aproximação Segura (LAS/AFB)**, habilitando a seleção do EPI adequado conforme **NFPA 70E** e o registro no **PIE (Prontuário das Instalações Elétricas)**.

Metodologia aplicada: **Rigor Classe A** — modelo matemático completo IEEE 1584:2018 (regressão multivariada), distinção entre corrente âncora e corrente real (Eq. 31), Eq. 10/33 da NBR para LAS direto na faixa BT, coeficientes exatos das Tabelas 4, 5, 6 e 8 da NBR 17227. Motor validado contra planilha v208: 90 cenários, 0 erros.

2. Dados de Entrada

Parâmetro	Valor	Unidade
Voc — Tensão nominal	0.380	kV
Ibf — Corrente de curto franco	29.1436	kA
G — Gap entre eletrodos	32.00	mm
D — Distância de trabalho	610.0	mm
T pleno (entrada → efetivo)	442 → 442	ms
T reduzido (entrada → efetivo)	503 → 503	ms
Configuração de eletrodo	VCB	—
Invólucro (Larg×Alt×Prof)	508×508×508	mm
Tipo de invólucro (classificado)	Típico	—
EES — Tamanho equivalente	20.0000	in

Configuração de eletrodo não confirmada em campo — adotado HCB (Horizontal Conductors in a Box) como caso conservador conforme recomendação da IEEE 1584:2018. Recomenda-se confirmar a configuração real do equipamento e refazer a análise para otimizar os requisitos de EPI e medidas de engenharia.

3. Memorial Analítico — Passo a Passo

Este memorial segue a metodologia da **ABNT NBR 17227:2025**, seção 5.1 (processo de 10 passos) e seção 5.2 (modelo matemático). Todas as equações citadas referem-se à numeração da norma (Eq. 1 a Eq. 34). Os coeficientes k_i e b_i são obtidos das Tabelas 4, 5, 6 e 8 da NBR conforme a configuração de eletrodo (**VCB**) e a faixa de tensão do sistema (**BT (208 V ≤ Voc ≤ 600 V)**).

Etapa 1 — Corrente de Arco (Iarc) e Corrente Reduzida (Iarc_min) — Passo 7 da NBR 17227 (seção 5.1.8)

1.1 Correntes de arco intermediárias — Eq. 1 NBR (seção 5.2.4)

$$I_{arc_Voc} = 10^{(k_1 + k_2 \cdot \log(I_{bf}) + k_3 \cdot \log(G))} \cdot (k_4 \cdot I_{bf}^6 + k_5 \cdot I_{bf}^5 + k_6 \cdot I_{bf}^4 + k_7 \cdot I_{bf}^3 + k_8 \cdot I_{bf}^2 + k_9 \cdot I_{bf} + k_{10})$$

Avaliada para as âncoras de tensão da norma (coeficientes da Tabela 4 NBR, configuração VCB):

1.2 Fator de correção da variação — Eq. 2 NBR (seção 5.2.5)

$$VarCf = k_1 \cdot Voc^6 + k_2 \cdot Voc^5 + k_3 \cdot Voc^4 + k_4 \cdot Voc^3 + k_5 \cdot Voc^2 + k_6 \cdot Voc + k_7 \text{ (coeficientes da Tabela 5 NBR)}$$

1.3 Corrente de arco final (BT) — Eq. 31 NBR (seção 5.2.10)

$$I_{arc} = 1 / \sqrt[0,6]{Voc} \cdot (1 / I_{arc_600}^2 - (0,36 - Voc^2) / (0,36 \cdot I_{bf}^2))]$$

Substituindo Voc=0.380 kV, Iarc_600=23.0457 kA, Ibf=29.144 kA:

$$I_{arc} = 1 / \sqrt[0,6]{(1.5789)^2 \cdot (1/23.0457^2 - (0.2156)/(305.7653))}] = 18.4546 \text{ kA}$$

1.4 Corrente de arco reduzida — Eq. 34 NBR (seção 5.2.11)

$$I_{arc_min} = I_{arc} \cdot (1 - 0,5 \cdot VarCf)$$

$$\text{Com } VarCf=0.257334 \text{ e } (1 - 0,5 \cdot VarCf)=0.871333: I_{arc_min} = 18.4546 \cdot 0.871333 = 16.0801 \text{ kA}$$

Parâmetro	Valor	Unidade
Iarc_600V (âncora BT)	23.0457	kA
Iarc_2700V (âncora MT1)	25.2804	kA
Iarc_14300V (âncora MT2)	27.6789	kA
VarCf	0.257334	—
(1 - 0,5·VarCf)	0.871333	—
Iarc — corrente real	18.4546	kA
Iarc_min	16.0801	kA

Etapa 2 — Invólucro — EES e Fator de Correção CF — Passo 4 da NBR 17227 (seções 5.1.5 e 5.2.8)

2.1 Dimensões equivalentes — Eq. 11 e 12 NBR (seção 5.2.8). Eq. 11 e 12 aplicam-se a invólucros com medida real entre 660,4 e 1244,6 mm. Para outras faixas, valem as diretivas da Tabela 7 NBR: (a) medida < 508 mm → 20 in (típico) ou medida × 0,03937 (raso); (b) 508 ≤ medida ≤ 660,4 mm → medida × 0,03937; (c) medida > 1244,6 mm → aplicar Eq. 11/12 com Largura/Altura = 1244,6 mm.

$$Largura_1 = (600,4 + (Largura - 660,4) \cdot (Voc + A)/B) \cdot 25,4^{(-1)} \text{ [Eq. 11]}$$

$$Altura1 = (600,4 + (Altura - 660,4) \cdot (Voc + A)/B) \cdot 25,4^{(-1)} \text{ [Eq. 12]}$$

NOTA TÉCNICA — Divergência entre NBR 17227:2025 e IEEE 1584:2018 nas Eq. 11 e 12:

A NBR 17227:2025 traz, nas Eq. 11 e 12, o valor **600,4 mm** como constante aditiva inicial. A referência original IEEE 1584:2018 utiliza, no mesmo ponto da equação, o valor **660,4 mm**. Esta divergência foi comunicada à comissão revisora da NBR (CB-3/ABNT) e deve ser corrigida em errata futura.

A Arc Flash Platform implementa o valor **660,4 mm (IEEE 1584:2018 original)** para preservar consistência com a base experimental que originou o modelo, e registra esta decisão técnica neste memorial. Para o caso de referência validado da plataforma (508×508×508 mm, VCB), a decisão não altera materialmente os resultados, pois as Eq. 11 e 12 só se aplicam a invólucros com dimensões reais entre 660,4 e 1244,6 mm — para dimensões menores, valem as diretrizes da Tabela 7 NBR descritas a seguir.

Constantes A e B (Tabela 7 NBR): A=4 e B=20 para VCB; A=10 e B=24 para VCBB; A=10 e B=22 para HCB.

2.2 Tamanho equivalente do invólucro — Eq. 13 NBR

$$EES = (Largura1 + Altura1) / 2$$

2.3 Classificação do invólucro e CF aplicado

Classificação: Invólucro Típico (Typical) — Dimensões acima dos limites Raso ou tensão $\geq 0,6$ kV (NBR 5.2.8.2). **Aplicada Eq. 15 NBR — invólucro típico:** $CF = b1 \cdot EES^2 + b2 \cdot EES + b3$. Em invólucros típicos, o arco é confinado dentro do compartimento e parte da energia liberada é refletida pelas paredes internas e direcionada para a abertura frontal (efeito caixa), elevando a energia incidente em relação ao mesmo arco em ambiente aberto. Este fator é aplicado nas Eq. 6 (energia) e Eq. 10 (DLA) por meio do termo $\log(1/CF)$.

Coeficientes b1, b2, b3 obtidos da Tabela 8 NBR conforme tipo de compartimento (Típico) e configuração de eletrodo (VCB).

Parâmetro	Valor	Unidade
Tipo classificado	Típico	—
EES	20.0000	in
CF	0.999900	—

Etapas 3 — Energia Incidente Ei — Cenários Pleno e Reduzido — Passo 9 da NBR 17227 (seção 5.1.10)

3.1 Energia incidente intermediária (BT) — Eq. 6 NBR (seção 5.2.6)

$$E_{\leq 600} = (12,552/50) \cdot T \cdot 10^{[k1 + k2 \cdot \log(G) + k3 \cdot I_{arc_600} / (k4 \cdot I_{bf}^7 + k5 \cdot I_{bf}^6 + k6 \cdot I_{bf}^5 + k7 \cdot I_{bf}^4 + k8 \cdot I_{bf}^3 + k9 \cdot I_{bf}^2 + k10 \cdot I_{bf}) + k11 \cdot \log(I_{bf}) + k12 \cdot \log(D) + k13 \cdot \log(I_{arc}) + \log(1/CF)]}$$

Coeficientes k1 a k13 da Tabela 6 NBR (faixa 600 V) para configuração VCB.

3.2 Energia incidente final (BT) — Eq. 32 NBR (seção 5.2.10)

$$E = E_{\leq 600} \text{ (valor intermediário é diretamente o final na faixa BT)}$$

Avaliando E para os dois cenários (t em ms, D em mm, Iarc em kA, CF adimensional):

$$E_{\text{pleno}} (T=442 \text{ ms}, I_{arc}=18.4546 \text{ kA}, D=610 \text{ mm}, CF=0.9999) = 56.3825 \text{ J/cm}^2 = 13.4757 \text{ cal/cm}^2$$

$$E_{\text{reduzido}} (T=503 \text{ ms}, I_{arc_min}=16.0801 \text{ kA}, D=610 \text{ mm}, CF=0.9999) = 56.2684 \text{ J/cm}^2 = 13.4485 \text{ cal/cm}^2$$

Conversão J/cm² → cal/cm²: dividir por 4,184 (NBR seção 5.2.9.2 e 5.2.10.3).

Critério final: **Ei = MAX(E_pleno, E_reduzido)** — prescrição da NBR 5.2.11.3 (e 5.1.12).

Parâmetro	Valor	Unidade
T efetivo pleno	442	ms
T efetivo reduzido	503	ms
Ei plena (T_pleno, Iarc)	13.4757	cal/cm ²

Ei reduzida (T _{red} , I _{arc_min})	13.4485	cal/cm ²
Ei FINAL — pior caso MAX(Ei _p , Ei _r)	13.4757	cal/cm ²

Etapa 4 — Distância-Limite de Arco (DLA / LAS / AFB) — Passo 10 da NBR 17227 (seção 5.1.11)

Definição (NBR 3.2.8): distância da fonte de arco onde a energia incidente calculada é igual a 5,0 J/cm² (1,2 cal/cm²).

4.1 DLA intermediária (BT) — Eq. 10 NBR (seção 5.2.7)

$$DLA_{\leq 600} = 10^{\left\{ \left[k_1 + k_2 \cdot \log(G) + k_3 \cdot I_{arc_600} / (k_4 \cdot I_{bf}^7 + \dots + k_{10} \cdot I_{bf}) + k_{11} \cdot \log(I_{bf}) + k_{13} \cdot \log(I_{arc}) + \log(1/CF) - \log(20/T) \right] / (-k_{12}) \right\}}$$

4.2 DLA final (BT) — Eq. 33 NBR (seção 5.2.10)

$$DLA = DLA_{\leq 600} \text{ (valor intermediário é diretamente o final na faixa BT)}$$

Avaliando DLA para os dois cenários:

$$DLA_{pleno} (T=442 \text{ ms}, I_{arc}=18.4546 \text{ kA}) = 2771.0 \text{ mm}$$

$$DLA_{reduzido} (T=503 \text{ ms}, I_{arc_min}=16.0801 \text{ kA}) = 2767.5 \text{ mm}$$

Critério final: **DLA = MAX(DLA_{pleno}, DLA_{reduzido})** — consistente com o critério aplicado a Ei (NBR 5.1.12 e 5.2.11.3).

Parâmetro	Valor	Unidade
LAS pleno (T _{pleno} , I _{arc})	2771.0	mm
LAS reduzido (T _{red} , I _{arc_min})	2767.5	mm
LAS FINAL — pior caso MAX(LAS _p , LAS _r)	2771.0	mm

4. Conclusão e Prescrição de EPI (NBR 17227:2025 – Seções 6.5, 7 e 11)

ENERGIA INCIDENTE – PIOR CASO	13.4757	cal/cm ² 56.383 J/cm ²
LIMITE DE APROXIMAÇÃO SEGURA (LAS/AFB)	2771	mm 2.771 m 109.1 in

NBR 17227 – Tabela 12

Equivalência NR-10 Anexo IV (referência NFPA 70E 2024): Categoria de EPI 3 – vestimenta arc-rated ≥ 25 cal/cm². Equivalência derivada da energia incidente calculada; o método de tabela do Anexo IV (Quadros I e II) só é válido dentro dos limites de corrente de falha, tempo de eliminação e distância mínima ali fixados (NR-10 item 10.11.2.2 – Portaria MTE 737/2026).

EPIs requeridos – NFPA 70E:2024 Table 130.5(G) / NBR 17227 Seção 6.5 (Tabelas 11 e 12):

- Vestimenta arc-rated OU traje de manobra com ATPV/ELIM/EBT ≥ 13.48 cal/cm²
- Capuz-carrasco arc-rated (obrigatório – NBR 17227 Tabela 12)
- Luvas com resistência ao arco elétrico ou luvas isolantes de borracha com protetores de couro
- Capacete de segurança
- Óculos de segurança ou óculos de proteção
- Proteção auditiva
- Calçado de couro

Observações normativas obrigatórias (NBR 17227:2025 – Seções 7 e 11):

1. O LAS/DLA é a distância a partir da qual a energia incidente cai abaixo do limiar de queimadura de segundo grau (1,2 cal/cm² · critério de Stoll, NBR 17227 itens 3.2.8 e 3.2.16). O acesso à zona interna ao LAS exige uso de EPI com resistência ao arco compatível com Ei calculada (NBR 17227 Seção 6.5; NR-10 itens 10.6.5 e 10.11.2 – Portaria MTE 737/2026). O LAS equivale à 'distância segura contra os efeitos do arco elétrico' definida na NR-10 (Anexo I – Glossário): distância na qual a energia incidente atinge 5 J/cm² (1,2 cal/cm²).
2. O tempo de atuação inclui o tempo de abertura mecânico do disjuntor. Confirmar com o fabricante.
3. Este memorial deve ser arquivado no PIE e revisado em qualquer alteração do sistema.
4. Resultados válidos para condições nominais de rede. Alterações exigem recálculo.
5. Qualquer trabalho energizado exige Análise de Risco prévia e Permissão de Trabalho (NR-10).

Zonas de aproximação – NR-10 Anexo II (proteção contra choque elétrico):

As distâncias a seguir são valores normativos **fixos** da NR-10 Anexo II, Tabela 1 (Portaria MTE 737/2026), definidos pela tensão nominal da instalação (**0.380 kV**) – não são calculadas pelo motor IEEE 1584 e não se confundem com o LAS/AFB, que é a fronteira **térmica** do arco (1,2 cal/cm²). Estas zonas delimitam a proteção contra **choque** elétrico (medidas no ar, a partir do ponto energizado, sem superfície isolante interposta):

- **Zona de Risco (ZR):** até **0.20 m** – aproximação somente por trabalhador autorizado, com técnicas e instrumentos apropriados.
- **Zona Controlada (ZC):** de 0.20 m até **0.70 m** – aproximação somente por trabalhador autorizado.
- **Zona Livre (ZL):** além de 0.70 m.

Faixa de tensão aplicada: < 1 kV.

Responsável Técnico:	Eng. Responsável – CREA 0000000000	Data / Hora:	22/10/2026 00:24
----------------------	------------------------------------	--------------	------------------

Rodapé de Auditoria – TAG: SE 1000 kVA · QGBT · Iarc=18.4546 kA · Voc=0.380 kV · NBR 17227:2025 / IEEE 1584:2018 · estudoseletricos.com

C. Checklist Normativo (IA-1)

Verificações automáticas do estudo desta barra (CK-01 a CK-08). Os itens de bloqueio e de atenção exigem ciência antes da emissão; as notas informativas, não.

Código	Severidade	Verificação	Referência
CK-06	informação	Apenas um ponto de medição avaliado	NBR 17227:2025 §11

EXEMPLO · instalação fictícia de demonstração · não é laudo

T.1 O que é Arco Elétrico?

O arco elétrico é uma descarga elétrica de alta intensidade que ocorre quando a corrente elétrica flui através de um meio ionizado (geralmente o ar) entre dois condutores. Diferente de um curto-circuito convencional — que é conduzido por um caminho metálico de baixa resistência —, o arco elétrico converte energia elétrica em energia térmica, luminosa, de pressão e sonora de forma quase instantânea.

As temperaturas no núcleo do arco podem ultrapassar 20.000 °C — quatro vezes a temperatura da superfície do Sol. Essa energia térmica, expressa em **cal/cm² (calorias por centímetro quadrado)**, é chamada de **Energia Incidente (Ei)** e representa a quantidade de energia que chega à superfície do corpo de um trabalhador a uma determinada distância do ponto de arco.

T.2 Por que a Distância de Trabalho Importa?

A energia incidente diminui com o quadrado da distância (lei do inverso do quadrado). Dobrar a distância reduz a energia incidente a aproximadamente um quarto do valor original. Por isso, a norma IEEE 1584:2018 define o **Limite de Aproximação Segura (LAS)** — também chamado de **Arc Flash Boundary (AFB)** — como a distância a partir do ponto de arco além da qual a energia incidente é inferior a 1,2 cal/cm²: limiar em que a queimadura de segundo grau é evitável com o EPI correto.

T.3 Níveis de EPI — ABNT NBR 17227:2025

A ABNT NBR 17227:2025 define dois níveis de proteção individual contra arco elétrico, selecionados com base na energia incidente calculada:

Nível	Energia Incidente	EPI Mínimo Requerido
Abaixo do LAS	< 1,2 cal/cm²	EPI padrão da planta — sem requisito de AR (NBR 17227 §10.1.3)
Tabela 11	1,2 – 12,0 cal/cm²	Vestimenta AR ≥ Ei + protetor facial/balaclava/capuz-carrasco AR + luvas + prot. auditiva
Tabela 12	> 12,0 cal/cm²	Vestimenta AR ou traje de manobra ≥ Ei + capuz-carrasco AR (obrigatório) + luvas AR + prot. auditiva
Acima da Cat 4	≥ 40,0 cal/cm²	Priorizar desenergização (NBR 17227 §6.3.1); na impossibilidade, medidas de controle do §6.3.2 sob análise de risco do RT

T.4 Curto-Circuito e sua Relação com o Arco Elétrico

O curto-circuito é a condição em que dois condutores de potenciais diferentes são conectados por uma impedância muito baixa (praticamente zero no curto franco). A corrente resultante — chamada **corrente de curto-circuito franco (Ibf)** — é limitada apenas pelas impedâncias da rede, transformadores e cabos, podendo atingir dezenas de kA.

A corrente de arco (**Iarc**) é sempre menor que a corrente de curto franco (Ibf) porque o próprio arco elétrico adiciona impedância ao circuito. A razão Iarc/Ibf depende da tensão, geometria e configuração do equipamento, e é calculada pelas equações da IEEE 1584:2018.

A energia incidente é diretamente proporcional ao **tempo de duração do arco** — controlado pelo tempo de atuação da proteção. Por isso, relés rápidos e coordenação de proteção adequada são as principais medidas de engenharia

para redução do risco de arco elétrico.

T.5 Como Reduzir o Risco de Arco Elétrico

Em ordem decrescente de eficácia, conforme hierarquia de controles da NFPA 70E e NR-10:

- 1. Eliminação:** Desenergizar o equipamento antes da intervenção. A energia zero é o único controle que elimina o risco completamente.
- 2. Substituição:** Substituir equipamentos de alta energia por versões de baixa energia (ex: trocar disjuntores antigos por modelos com zona de inibição de arco).
- 3. Controles de engenharia:** Reduzir o tempo de atuação da proteção (relé de alta velocidade, manutenção do modo de alta sensibilidade), aumentar a distância de trabalho, instalar barreiras físicas.
- 4. Controles administrativos:** Procedimentos de trabalho seguro, permissão de trabalho (PT), treinamento NR-10 e NR-10 SEP.
- 5. EPI de arco elétrico:** Último recurso — protege o trabalhador quando os demais controles não eliminam completamente o risco.

Base normativa deste estudo: IEEE 1584:2018 (método de cálculo de energia incidente) · ABNT NBR 17227:2025 (requisitos brasileiros) · NFPA 70E (classificação de risco e EPIs) · IEC 60909:2016 (curto-circuito) · NR-10 (segurança em instalações elétricas e serviços em eletricidade — Brasil).

EXEMPLO · instalação fictícia de demonstração · não é laudo

5. Tabela-Mestra da Instalação — Triagem por Barra

Visão consolidada de todas as barras da rede multibarra: corrente de falta presumida (I_{bf}), correntes de arco plena e reduzida ($I_{arc} \cdot I_{min}$), adequação do dispositivo de entrada ($I_{bf} \leq I_{cu}$ — IEC 60947-2), energia incidente governante com o lado e a corrente que a dão, o par de tempos (pleno / reduzido) e a categoria de EPI (NBR 17227:2025 Tabelas 11 e 12). O que decide cada número e não está na linha vem a seguir, declarado.

Critérios do estudo

- **Regras de tempo e de cadeia:** v2
- **Energia incidente:** IEEE 1584:2018 / NBR 17227:2025 — o maior valor entre a corrente de arco plena e a reduzida, no pior lado do compartimento (o da barra e o da linha)
- **Corrente de curto da energia:** a máxima de cada barra (IEC 60909-0, c máximo)
- **Fonte máxima:** 350 MVA em 13,8 kV, X/R 12 — a declarada pela concessionária
- **Fonte mínima:** não declarada — a corrente mínima é a da IEC 60909-0 §7.1.2 sobre a fonte máxima
- **Fator de tensão c (corrente máxima):** 1,05 em 0,38 kV · 1,10 em 13,8 kV
- **Correção K_T dos transformadores:** aplicada na corrente máxima (IEC 60909-0 §6.3.3); igual a 1 na mínima (§7.1.2)
- **Temperatura dos cabos:** na máxima, a de operação declarada nos cabos (70 °C); na mínima, 160 °C ao fim do curto (IEC 60909-0 §7.1.2)
- **Banda de tolerância das proteções:** a do fabricante quando o banco a declara, ou a digitada no ajuste, pela borda lenta; sem nenhuma, a curva nominal
- **Critério de seletividade:** margem de pelo menos 15 % do tempo da proteção a montante e intervalo mínimo de 120 ms com relé a montante; entre disjuntores de disparo integrado, 100 ms quando algum está na curva nominal, e borda contra borda quando os dois têm a banda do fabricante — sempre a decisão da proteção de cima contra a eliminação da de baixo
- **Proteção que não vê nenhuma corrente de arco:** a barra sai sem número
- **Abertura do disjuntor comandado por relé:** 0 ms
- **Tempo máximo de arco:** 2000 ms (IEEE 1584:2018 §6.9.1), com a premissa de afastamento do trabalhador

Barra	Vn (kV)	I _{bf} (kA)	I _{arc} (kA)	I _{cu} (kA)	Adequação	Ei gov. (cal/cm²)	t gov. (ms)	Categoria EPI	Obs.
Entrada 13,8 kV VCB · G=152 · D=914 mm	13.80	14.72	13.74 I _{min} 13.57	—	—	2.20 barra · plena · instantânea	103 103 / 103	NBR 17227 — Tabela 11	—
QGBT — Quadro Geral VCB · G=32 · D=610 mm	0.38	29.14	18.45 I _{min} 16.08	65	OK	13.48 linha · plena · inversa (térmica)	503 442 / 503	NBR 17227 — Tabela 12	—
CCM 01 — Bombas VCB · G=32 · D=610 mm	0.38	15.62	10.44 I _{min} 9.10	50	OK	0.83 linha · plena · instantânea	50 50 / 50	Ei < 1,2 cal/cm²	—
CCM 02 — Ventilação VCB · G=32 · D=610 mm	0.38	7.94	5.19 I _{min} 4.52	55	OK	0.16 linha · plena · instantânea	20 20 / 20	Ei < 1,2 cal/cm²	—
QD 01 — Iluminação VCB · G=32 · D=610 mm	0.38	6.78	4.39 I _{min} 3.83	120	OK	0.13 linha · plena · instantânea	20 20 / 20	Ei < 1,2 cal/cm²	—
QD 02 — Ar condicionado VCB · G=32 · D=610 mm	0.38	8.08	5.29 I _{min} 4.61	50	OK	0.40 barra · plena · instantânea	50 50 / 50	Ei < 1,2 cal/cm²	—
QD 03 — Compressores VCB · G=32 · D=610 mm	0.38	17.82	11.88 I _{min} 10.35	50	OK	0.95 linha · plena · instantânea	50 50 / 50	Ei < 1,2 cal/cm²	—
QD 04 — Laboratório VCB · G=32 · D=610 mm	0.38	2.33	1.41 I _{min} 1.23	6	OK	0.04 linha · plena · instantânea	20 20 / 20	Ei < 1,2 cal/cm²	—
QD 05 — Utilidades VCB · G=32 · D=610 mm	0.38	7.31	4.76 I _{min} 4.14	120	OK	0.14 linha · plena · instantânea	20 20 / 20	Ei < 1,2 cal/cm²	—

Pior caso da instalação: QGBT — Quadro Geral — $E_i = 13.48 \text{ cal/cm}^2 \cdot \text{NBR 17227} - \text{Tabela 12} \cdot 0.38 \text{ kV}$

Adequação de equipamento: todos os dispositivos de entrada com I_{cu} conhecido atendem $I_{bf} \leq I_{cu}$ (IEC 60947-2).

Nota: 1 barra(s) com adequação não avaliável (I_{cu} indisponível no banco de dispositivos ou sem proteção a montante).

EXEMPLO · instalação fictícia de demonstração · não é laudo

6. Memória de Curto-Circuito (IEC 60909)

Cálculo das correntes de curto-circuito pelo método da fonte de tensão equivalente no local da falta da **IEC 60909-0:2016** (§5.3.1). Grandezas calculadas: $I_{k3''}$ trifásico (Fórmula 33), $I_{k2''}$ bifásico (Fórmula 46), $I_{k1''}$ fase-terra (Fórmula 54), fator de pico κ (Fórmula 57), corrente de pico i_p (Fórmula 56) e componente CC (Fórmula 81). As premissas e limitações desta memória estão declaradas ao final da seção.

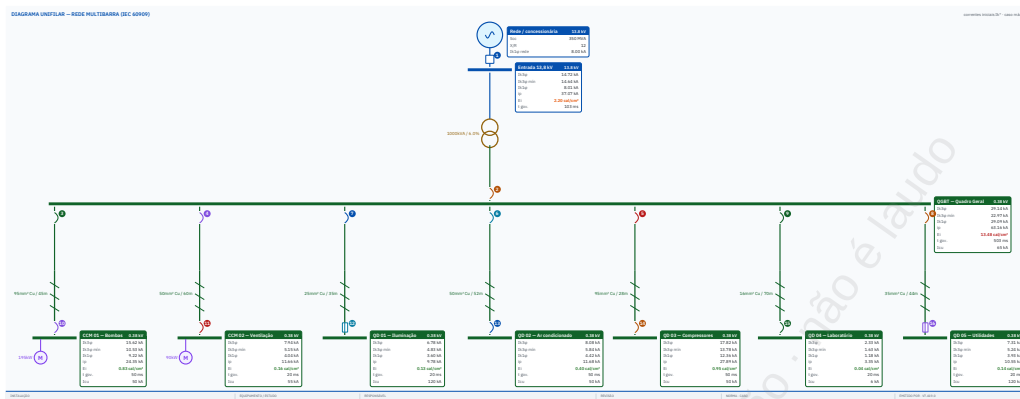


Figura 1 — Diagrama da Rede Multibarra (IEC 60909)

Parâmetro	Valor	Unidade
Zg — Rede (ref. BT)	—	mOhm
Zt — Transformador	—	mOhm
Zc — Cabo / Linha	—	mOhm
Z1 Total (seq. positiva)	$(1.763126 + j7.705263)$	mOhm
Z1	7.904410	mOhm
R1	1.763126	mOhm
X1	7.705263	mOhm
X/R	4.3702	—
Z1 pu (100 MVA)	5.473968	pu
$I_{k3''}$ — Trifásico (Formula 33)	29.143575	kA
$I_{k2''}$ — Bifásico (Formula 46)	25.239077	kA
$I_{k1''}$ — Fase-terra (Formula 54)	29.091151	kA
κ (Formula 57)	1.532534	—
i_p (Formula 56)	63.163768	kA
$I_{dc} (t=T/2)$	20.084442	kA
I_{as} assimétrica	35.393966	kA

Nota: sequencia zero montada POR ELEMENTO (§6.3.1 transformador, §6.4 cabos/linhas): $Z(0) = Z(0)T + 3 \cdot Z_n + Z(0)$ do cabo, sem a parcela da rede de montante — o enrolamento delta de um transformador Dyn a bloqueia. Onde o elemento nao declara, as razoes usadas ($Z(0)T/Z(1)T$: R 1,00 e X 0,95 no trafo; $R(0)/R(1) = 4,00$ e $X(0)/X(1) = 3,00$ no cabo) sao DEFAULTS desta plataforma, nao valores normativos: a norma manda tomar $Z(0)T$ do fabricante (Clausula 11) e as razoes da linha de dado proprio. Informe os valores reais quando a falta fase-terra for dimensionante.

Premissas e limitacoes deste calculo

- Falta afastada de gerador (far-from-generator), rede alimentada pela concessionária — radial ou com alimentação em paralelo, resolvida por redução nodal. Geradores síncronos, unidades geradoras, eólicas e conversores (§6.5 a §6.9) não são modelados; motores de indução entram somente quando informados (§6.10 e §7.1.3).
- O S_{cc} (ou I_{cc}) da concessionária adotado deve ser a contribuição MÁXIMA da rede (§7.1.2 d), não o valor operacional do momento: ele muda com a configuração da rede e com obras futuras.
- Corrente MÁXIMA pelas condições do §7.1.2: c_{max} da Tabela 1, fator de correção K_T do §6.3.3 (Fórmula 12a) no transformador e resistência de cabos e linhas a 20 graus C (condição f). A corrente MÍNIMA sai pelas condições 1 a 7 do mesmo item (c_{min} , fatores de correção iguais a 1, sem motores e resistência a temperatura de fim de curto pela Fórmula 32) — a verificação de sensibilidade da proteção deve usá-la, não a máxima.
- Sequência zero montada por elemento; onde o elemento não declara, razões DEFAULT da plataforma ($Z(0)T/Z(1)T$: R 1,00 e X 0,95 no trafo; $R(0)/R(1) = 4,00$ e $X(0)/X(1) = 3,00$ no cabo) — a norma pede dado de fabricante. Dado da concessionária para falta fase-terra vale no ponto de conexão e não é propagado através de transformador (o delta bloqueia a sequência zero).
- Verificação de adequação de dispositivos limitada ao poder de interrupção simétrico ($I_{cu} \geq I_k$ ", IEC 60947-2). Capacidade de estabelecimento ($I_{cm} \times t_p$) e suportabilidade térmica ($I_{cw} \times t_{th}$, Clausula 14) não são verificadas.
- ATERRAMENTO DO NEUTRO (transformadores da rede): nenhum transformador declara resistor de aterramento — o neutro de baixa do único transformador foi ASSUMIDO solidamente aterrado ($R_n = 0$).

EXEMPLO · instalação fictícia de demonstração · não é laudo

7. Coordenograma de Proteção – TCC (IEC 60255-151)

Gráfico Tempo-Corrente (TCC) gerado pelo módulo de coordenação v5. As linhas verticais indicam a **Corrente de Arco (Iarc)** e a **Corrente Mínima de Arco (Iarc_min)** calculadas pela engine IEEE 1584:2018. Os marcadores (quadrado/triângulo) indicam o tempo de atuação de cada proteção nessas correntes, que correspondem diretamente aos tempos T_pleno e T_reduzido do cálculo de energia.

Tensão de referência do coordenograma: 0.380 kV (Voc do estudo de arco elétrico – IEEE 1584:2018)

A folha declara:

- Curva do relé = atuação + abertura do disjuntor que ele comanda: 51 – Entrada 13,8 kV +83 ms (83 ms = padrão, 5 ciclos a 60 Hz – nenhum tempo foi declarado). A seletividade compara a jusante por esse tempo e a montante pela decisão.
- Geral QGBT (ACB) – banda do fabricante (Ir +5/+20 %, tr -20/+0 %, Isd ± 10 %, Ii ± 10 %); interrupção máxima: S 200 ms no tap de 200 ms, I 50 ms; a borda cheia é a que vai à energia incidente · Schneider DOCA0102EN-12 p.107 (L), p.110 (S), p.112–115 (I) – MicroLogic 5.0 X.

#	Curva	In (A)	Curva TCC	Ir (pu)	TMS	Isd (pu)	tsd (ms)	Ii (pu)	t_inst (ms)
1	51 – Entrada 13,8 kV	63	IEC Very Inverse (VI)	0.85	0.20	—	—	10.00	20
2	Geral QGBT (ACB)	1600	IEC Standard Inverse (SI)	0.95	0.10	6.00	200	12.00	50

Seletividade entre proteções adjacentes (verificação par a par: margem mínima de 15 % do tempo de cima e o piso de intervalo do par – 120 ms com relé a montante; entre disjuntores de disparo integrado, 100 ms se algum está na curva nominal e nenhum com a banda do fabricante nos dois):

Par (montante ↔ jusante)	Resultado	Pontos	Critério
51 – Entrada 13,8 ↔ Geral QGBT (ACB)	4 conflitos · 3 na faixa da barra	50	15% · 120 ms

Conflitos abaixo da faixa de falta da barra – 51 – Entrada 13,8 ↔ Geral QGBT (ACB): 1 abaixo de 14.45 kA. O limite é a menor corrente de falta nesta barra que atravessa o par (arco reduzido ou curto mínimo): abaixo dele o conflito só ocorre com falta mais a jusante, onde as proteções de baixo atuam antes.

COORDENOGRAMA — CURVAS TEMPO × CORRENTE

IEC 60255-151 · IEEE C37.112 · IEEE 1584-2018

Barra QGBT — Quadro Geral · 0.38 kV · Ibf 29.14 kA · curvas referidas a 0.38 kV

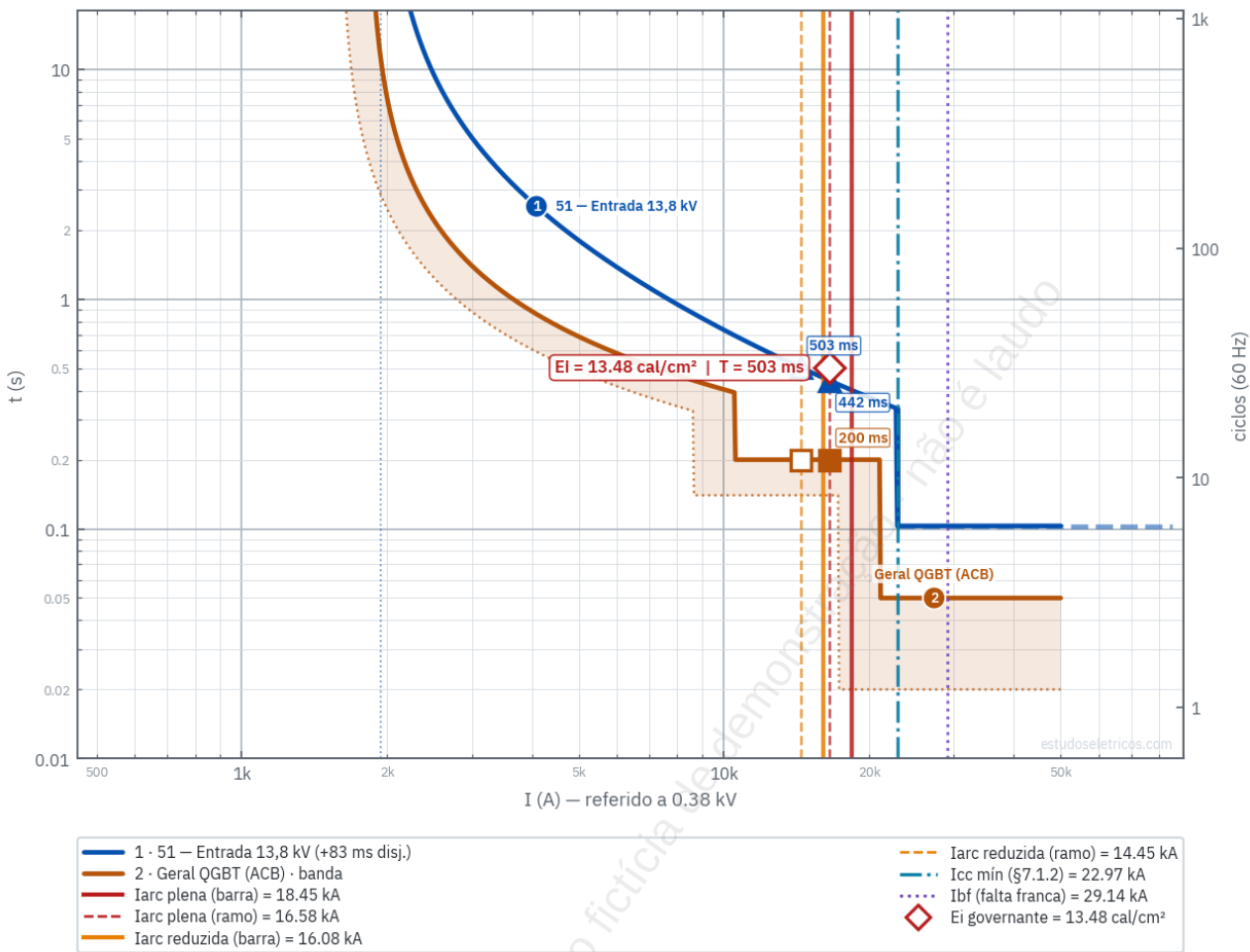


Figura 2 — Coordenograma de Proteção (IEC 60255-151 / IEEE C37.112)