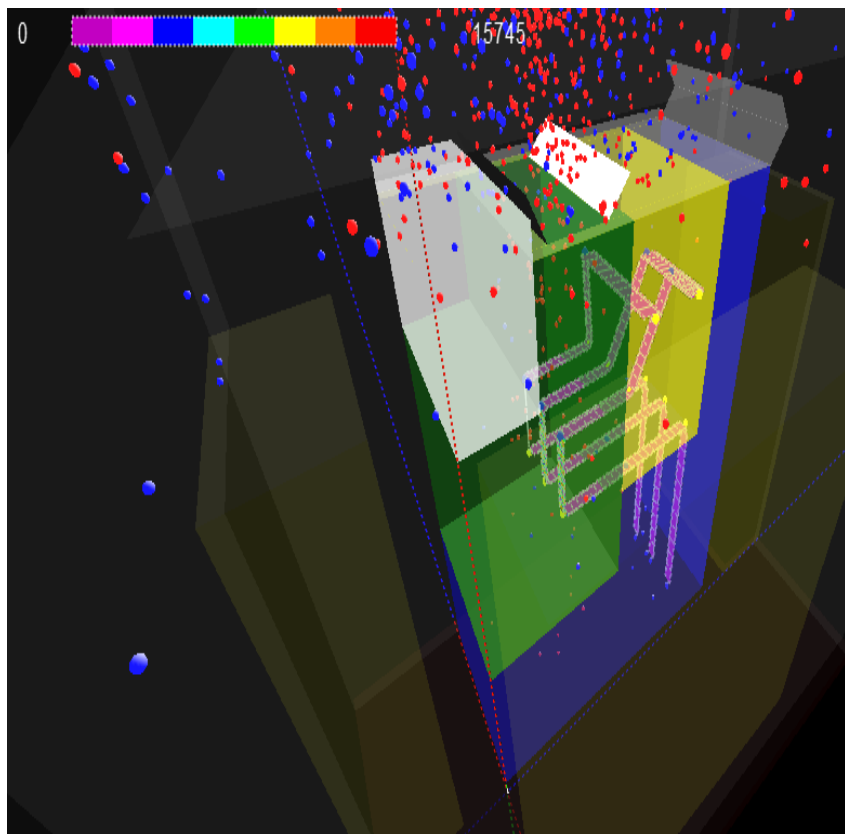


PAINÉIS, BARRAMENTOS E SECCIONADORES

E

EQUIPAMENTOS DE SUBESTAÇÕES DE TRANSMISSÃO e DISTRIBUIÇÃO

Sergio Feitoza Costa



Texto de referencia para os cursos

PAINÉIS, BARRAMENTOS E
SECCIONADORES
E
EQUIPAMENTOS DE SUBESTAÇÕES
DE TRANSMISSÃO e DISTRIBUIÇÃO

Sergio Feitoza Costa

1ª Edição

Câmara Brasileira de Jovens Escritores

Copyright © Sergio Feitoza Costa

Câmara Brasileira de Jovens Escritores
Rua Marquês de Muritiba, 865 sala 201 – Cep21910-280
Rio de Janeiro – RJ
Tel : (21) 33932163
cbje@globo.com

Janeiro de 2013

Primeira Edição

Coordenação editorial: Gláucia Helena
Editor: Georges Martins
Produção gráfica: Sergio Feitoza Costa
Revisão do autor
Capa: Sergio Feitoza Costa

Sergio Feitoza Costa

Texto de referencia para os cursos

PAINÉIS, BARRAMENTOS E SECCIONADORES
E
EQUIPAMENTOS DE SUBESTAÇÕES
DE TRANSMISSÃO e DISTRIBUIÇÃO

Janeiro 2013

Rio de Janeiro - Brasil

Mensagem do Sergio Feitoza Costa

Por muito tempo eu estava tomando coragem de deixar como um "livro livre", este texto que uso como referência para dois cursos de treinamento tenho aplicado por muitos anos pelo mundo afora. Agora está feito e espero que este material possa ser útil para profissionais que não participaram dos cursos, para professores e para estudantes de engenharia elétrica.

Eu ainda estou aplicando os cursos, mas com uma frequência muito menor, devido ao meu envolvimento crescente com o projeto de laboratórios de ensaio elétricos e com o trabalho de consultoria que eu faço para fabricantes de equipamentos para o desenvolvimento de produtos.

Também estou disponibilizando o software SwitchgearDesign_307 desenvolvido por mim para o projeto de painéis, barramentos, seccionadores e outros equipamentos para subestações (Ver Seção 7 deste livro). A explicação sobre obtê-los está na primeira página do site do Cognitor <http://www.cognitor.com.br> (em Inglês, Espanhol e Português).

Lá você também vai encontrar como obter o meu recente livro não técnico intitulado "Entre cálculos, musicas e meditações" e um link para ouvir as músicas do meu terceiro CD (nas horas vagas sou musico e compositor)

A divulgação é benvinda e se tiver comentários envie para meu email sergiofeitoza@cognitor.com.br Espero que gostem ! Sergio

- Projetos de laboratórios de ensaios de alta potencia e alta tensão, engenheiro de ensaios e gerente dos laboratórios de ensaios do CEPEL.
- Chairman IEC -International Electro technical Commission –TC 32 - Fuses (1990-1994)
- Membro WG A3.24 do CIGRE International: – Simulation Tools .
- Membro do WG IEC SC 17 C / WG31: Guidance for the extension of validity of type tests of ac metal-enclosed switchgear and controlgear
- Serviços de simulações e treinamento com software para projetos de equipamentos de alta, média e baixa tensões.

Para contato com Sérgio Feitoza Costa

Cognitor - Consultoria , Pesquisa Tecnológica e Treinamento Ltda

Telefone: (55) (21) 2465 3689 -- 3393 4600 – 8887 4600

E-mail: sergiofeitoza@cognitor.com.br

Site www.cognitor.com.br



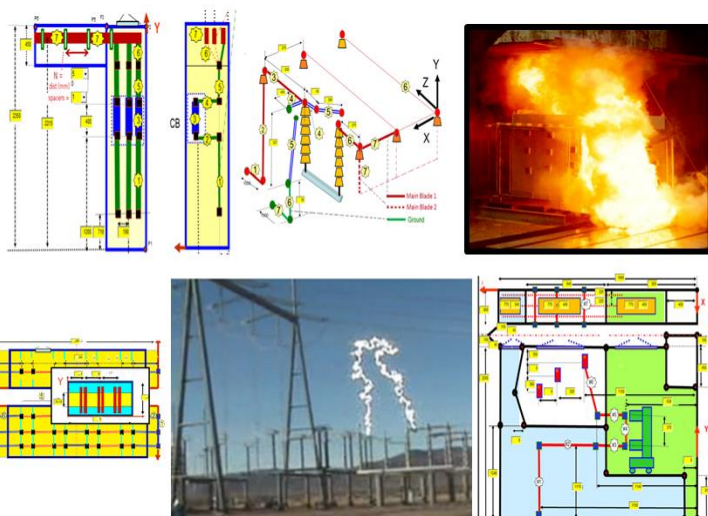
PROGRAMA DO CURSO- 7 MODULOS

- 1 OS ESTUDOS QUE FAZEM A BASE DAS ESPECIFICAÇÕES
- 2 SOBRETENSÕES E COORDENAÇÃO DE ISOLAMENTO
- 3 CURTOS CIRCUITOS, AMPACIDADES, SOBRECARGAS E CONTATOS ELÉTRICOS.
 - ELEVAÇÃO DE TEMPERATURA
 - FORÇAS E TENSÕES ELETRODINAMICAS NO CURTO CIRCUITO.
 - TENSÕES TRANSITORIAS DE RESTABELECIMENTO E PROCESSOS DE INTERRUPÇÃO
- 4 ARCOS DE POTENCIA E SEGURANÇA DE PESSOAS E INSTALAÇÕES
- 5 ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS DE COMPRA DE EQUIPAMENTOS DE SUBESTAÇÕES POR CONCESSIONARIAS DE ENERGIA
- 6 NORMAS PAINÉIS DE MÉDIA TENSÃO (IEC_62271-200) / BAIXA TENSÃO (IEC_61439)
- 7 SIMULAÇÃO DE ENSAIOS DE ALTA POTENCIA E USO DO SOFTWARE SwitchgearDesign_307

PAINÉIS, BARRAMENTOS E SECCIONADORES

E

EQUIPAMENTOS DE SUBESTAÇÕES DE TRANSMISSÃO e DISTRIBUIÇÃO

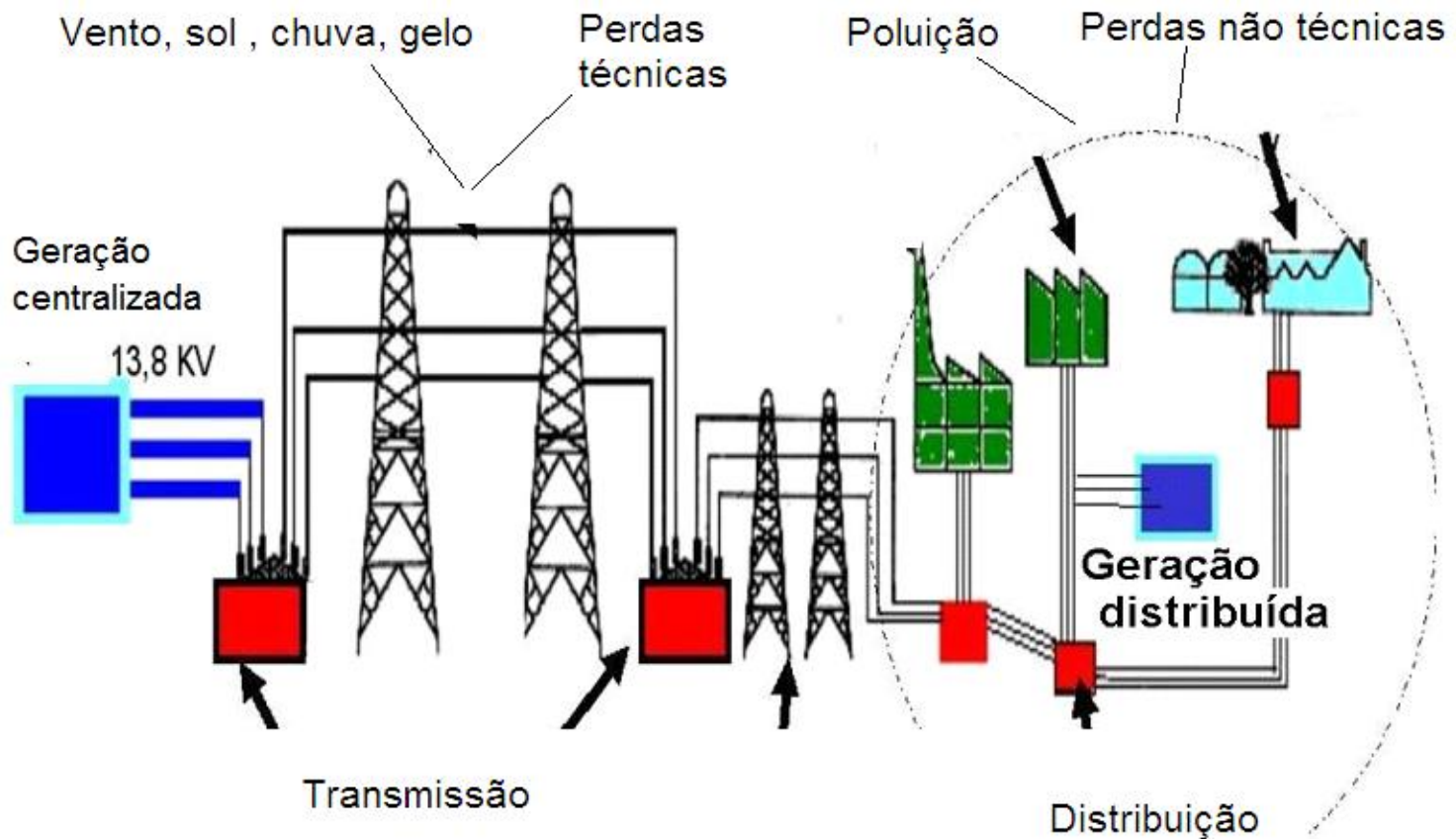


MODULO 1:

OS ESTUDOS QUE SÃO A BASE
DAS ESPECIFICAÇÕES

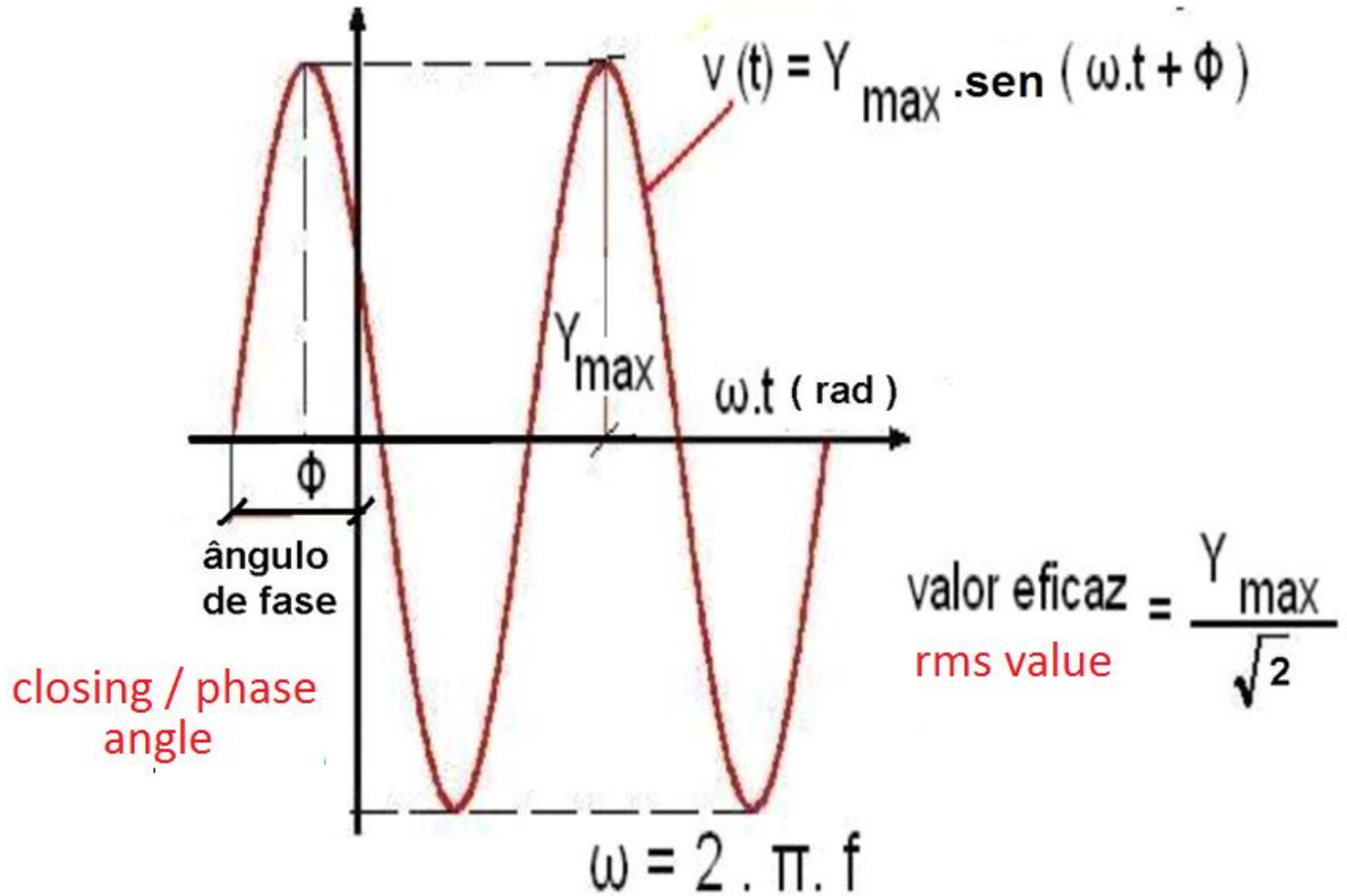
ALGUMAS DEFINIÇÕES E CONCEITOS DE REFERÊNCIA

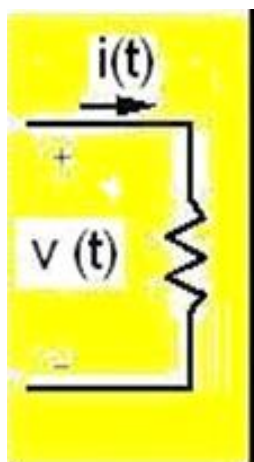
VALORES DE TENDÕES E CORRENTES



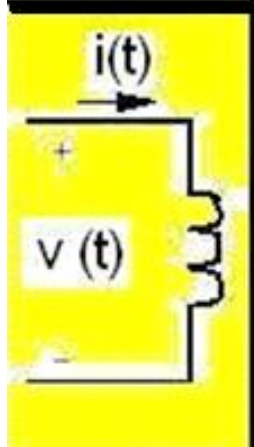
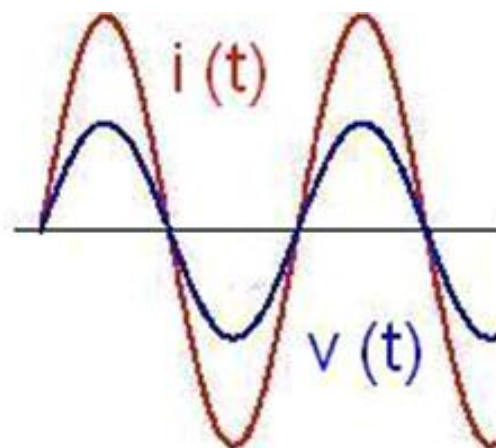
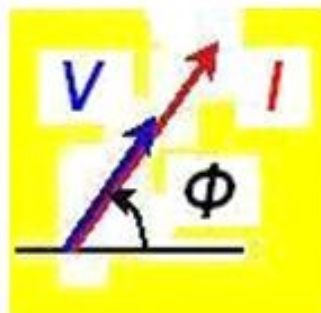
Transmitir potencia = tensão x corrente

NOMENCLATURA





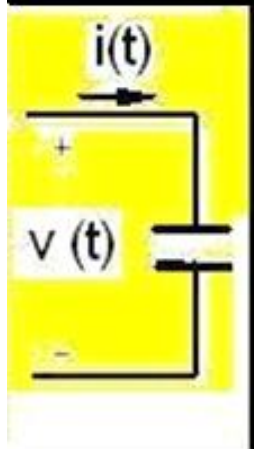
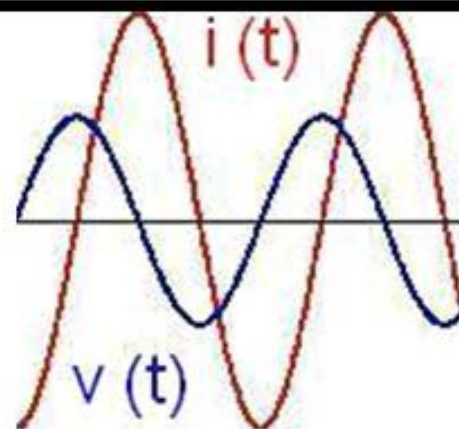
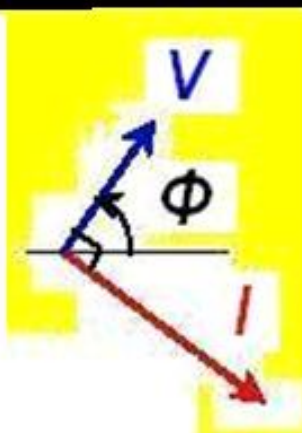
$$V = R \cdot I$$



$$V = X_L \cdot I$$

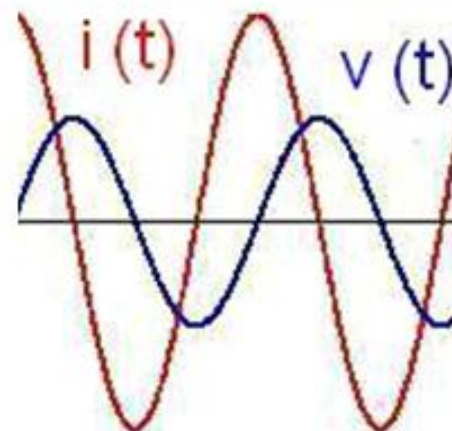
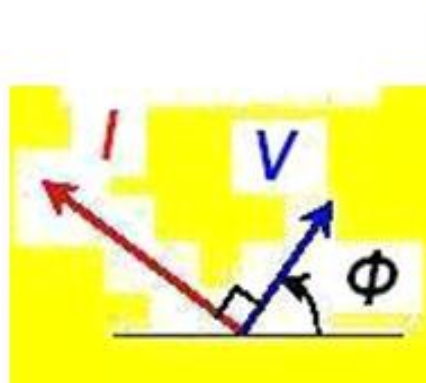
$$X_L = \omega \cdot L$$

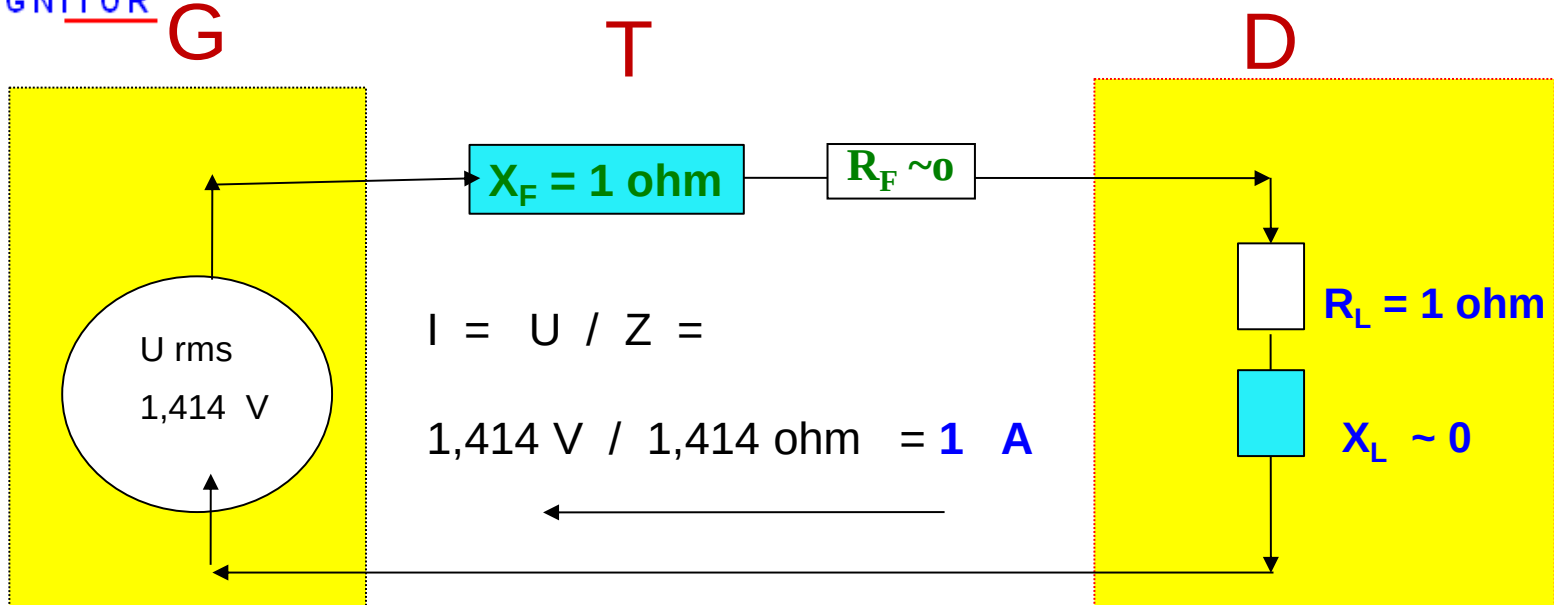
$$\omega = 2 \cdot \pi \cdot f$$



$$V = X_C \cdot I$$

$$X_C = \frac{1}{\omega \cdot C}$$



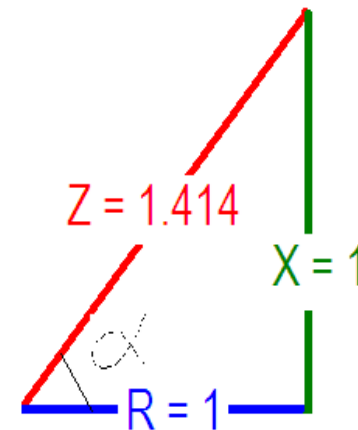


$$R = 1 \text{ Ohm}$$

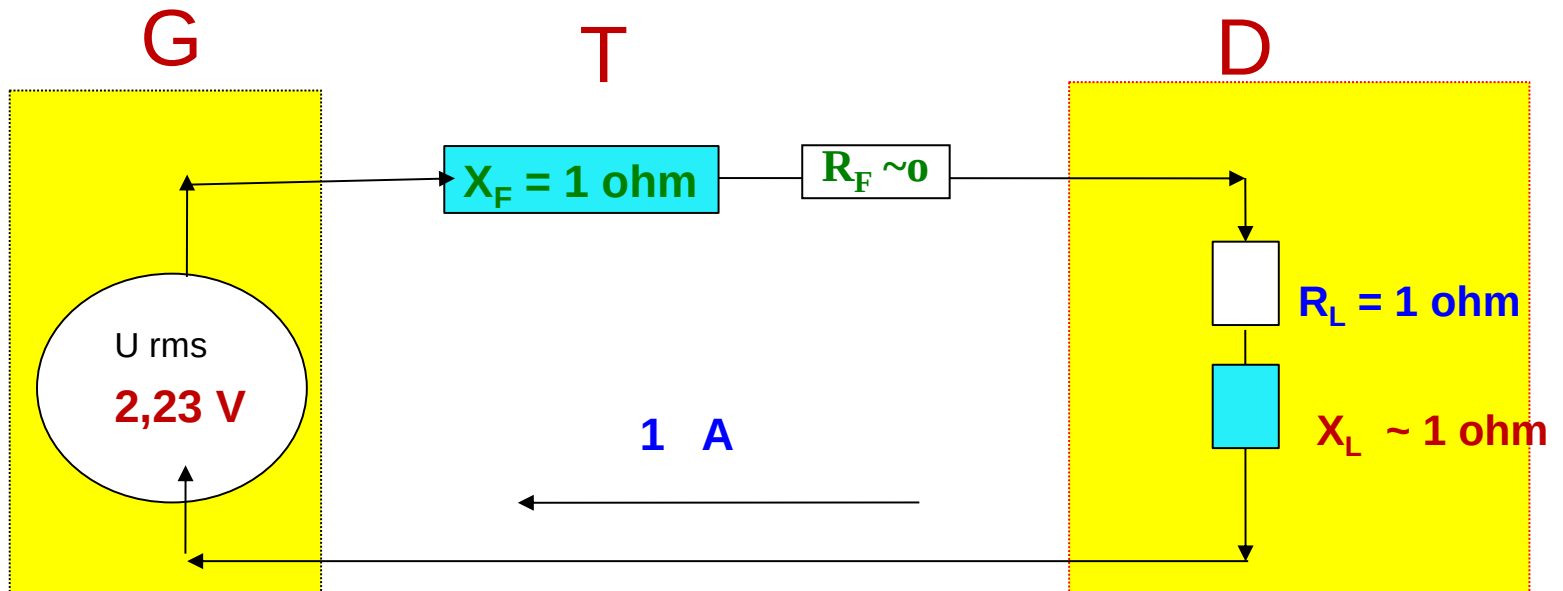
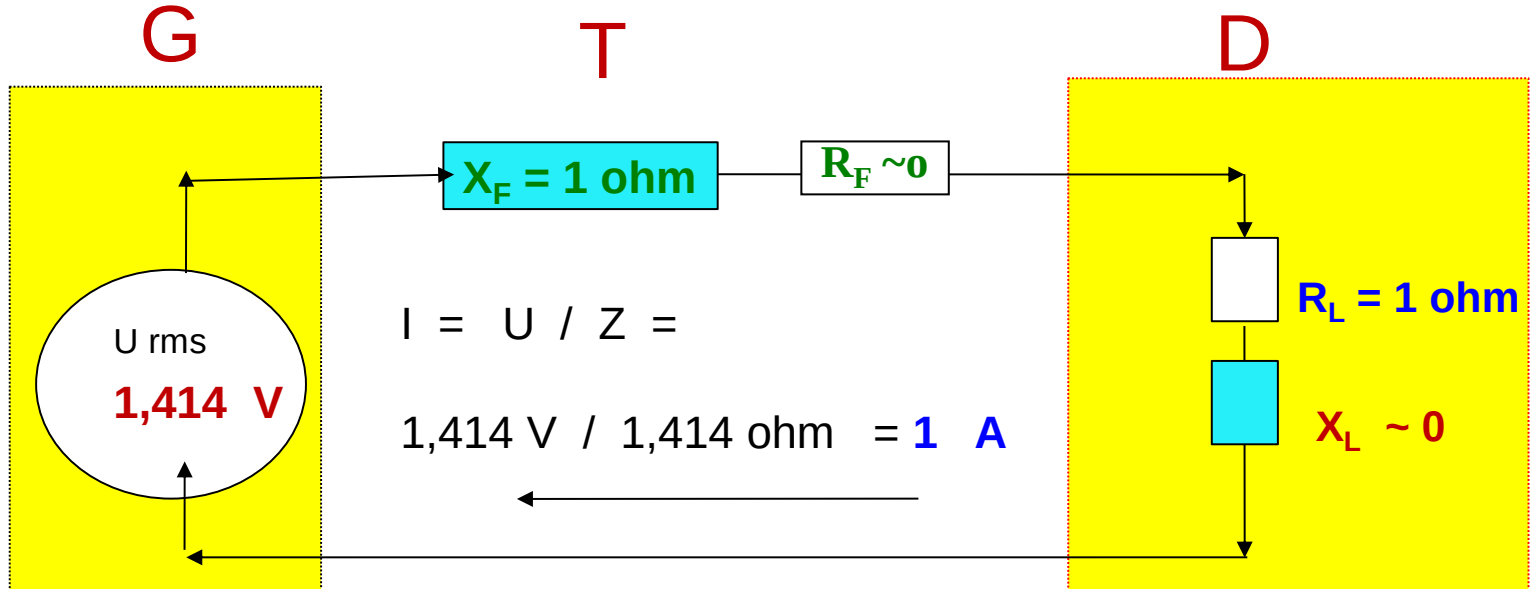
$$L = 0,0031 \text{ Henry}$$

$$X = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot L = 1 \text{ Ohm}$$

3,1416 50 Hz 0,0031

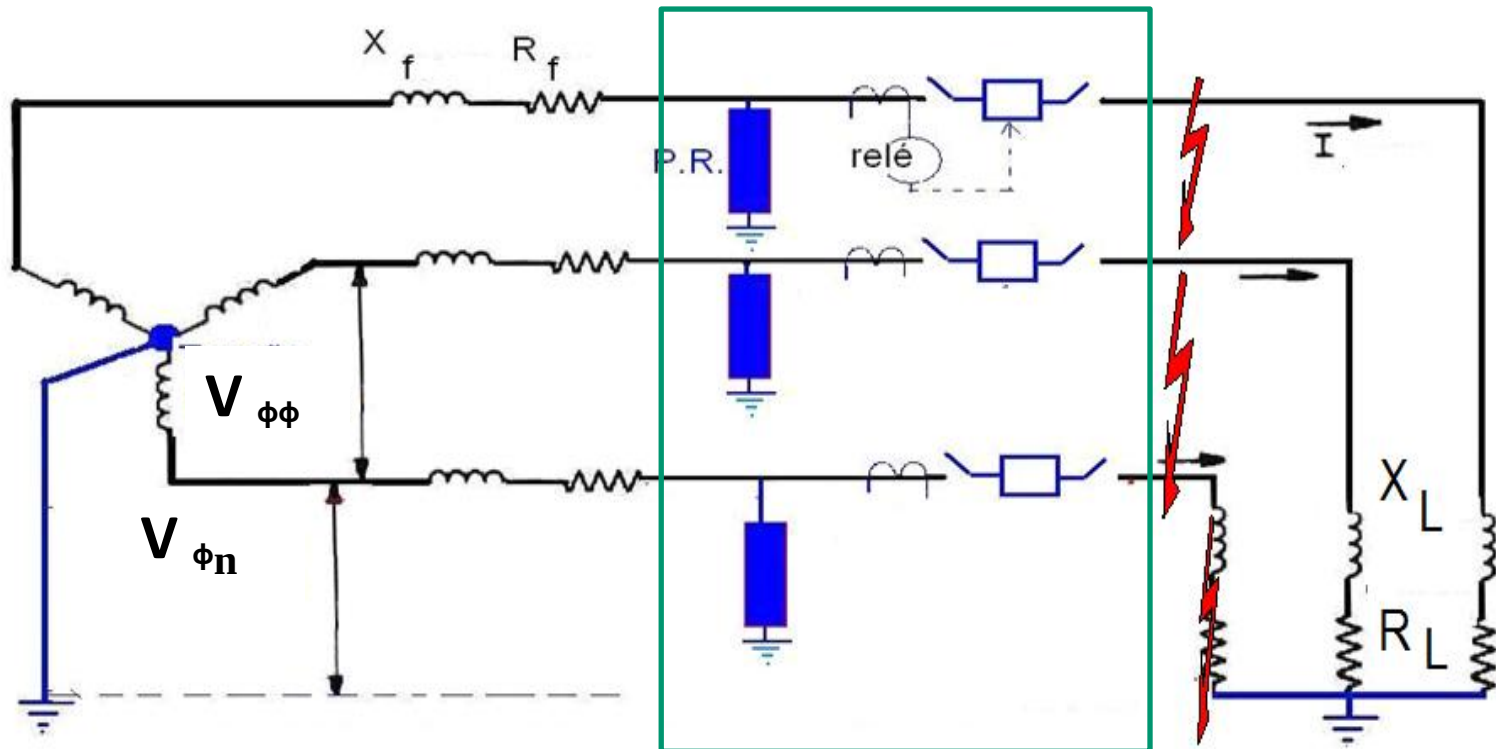


$$Z = \sqrt{R^2 + X^2} = 1,414 \text{ Ohms}$$



$$X_F \ll X_L$$

$$R_F \ll R_L$$



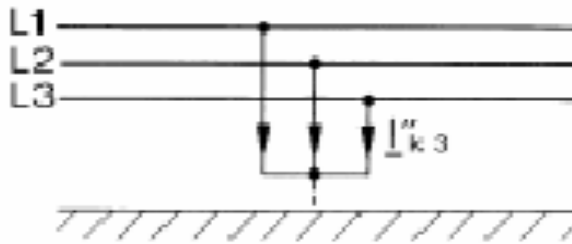
$$V_{\phi\phi} = 145 \text{ kV} > V_{\phi n} = 83,7 \text{ kV}$$

$$I_{sc} = 25 \text{ kA}_{rms}$$

$$P_{sc} = 1,732 \times 145 \text{ kV} \times 25 \text{ kA} = 6280 \text{ MVA}$$

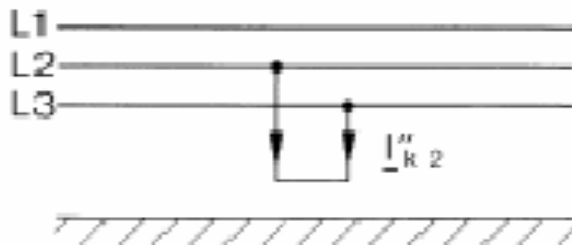
TYPES OF SHORT CIRCUIT

IEC 60909

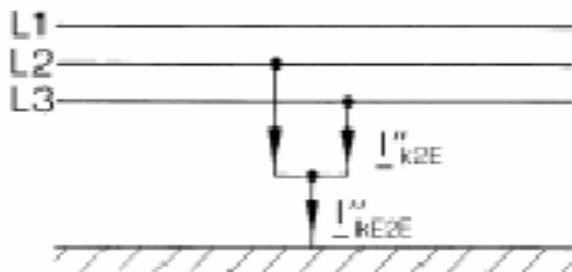


$$I_{k3}'' = \frac{1.1 \cdot U_n}{\sqrt{3} |Z_1|}$$

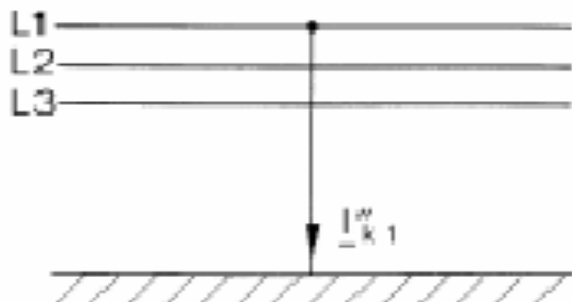
$$S_k'' = \sqrt{3} U_n I_{k3}''$$



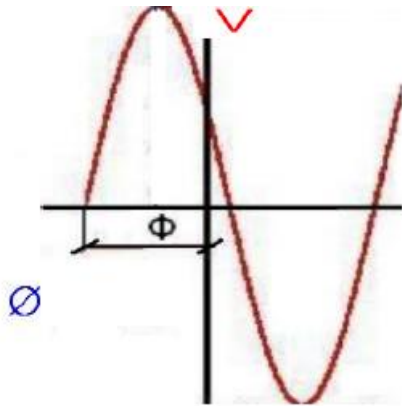
$$I_{k2}'' = \frac{1.1 \cdot U_n}{|Z_1 + Z_2|}$$



$$I_{kE2E}'' = \frac{\sqrt{3} \cdot 1.1 U_n}{\left| Z_1 + Z_0 + Z_0 \frac{Z_1}{Z_2} \right|}$$

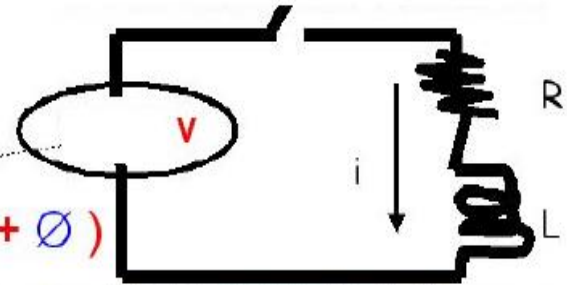


$$I_{k1}'' = \frac{\sqrt{3} \cdot 1.1 \cdot U_n}{|Z_1 + Z_2 + Z_0|}$$

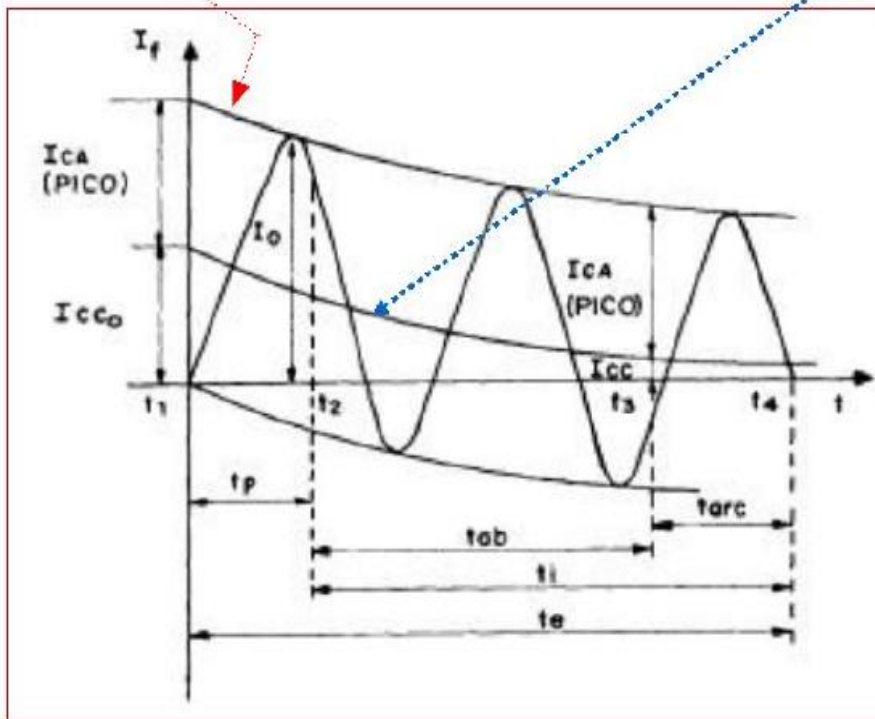


Estabelecimento de circuito CA e ângulo

$$v = V_{\max} \cdot \text{sen}(\omega t + \phi)$$



$$i = I_{\max} \times \text{sen}(\omega t + \phi - \alpha) - I_{\max} \times e^{-t/\sigma} \times \text{sen}(\phi - \alpha)$$



L = indutância

R = resistência

t = tempo

$\sigma = L/R$ = constante de tempo

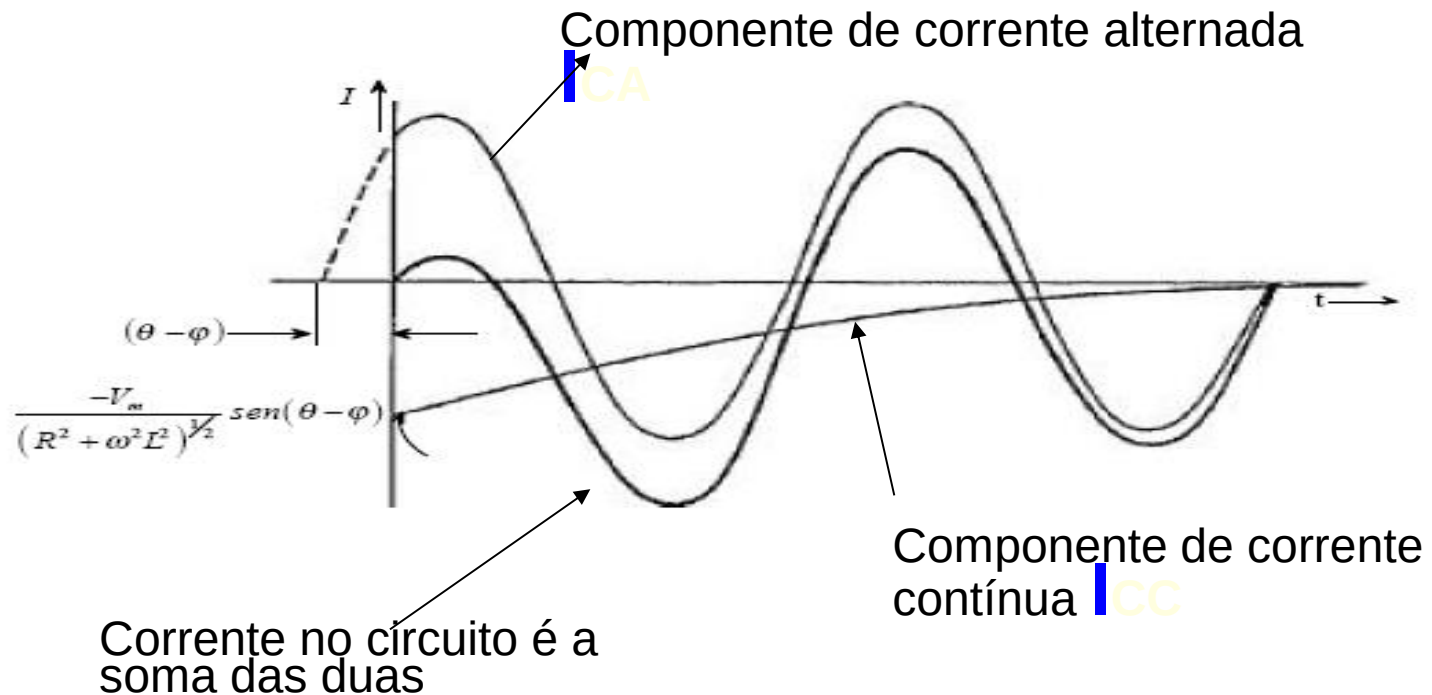
$$I_{\max} = V_{\max} / Z$$

$$\alpha = \text{arctg}(\omega L / R)$$

$$Z = (\omega L)^2 + R^2)^{1/2}$$

$$\omega = 2 \times \pi \times 60 = 377 \text{ s}^{-1}$$

Estabelecimento de um circuito CA



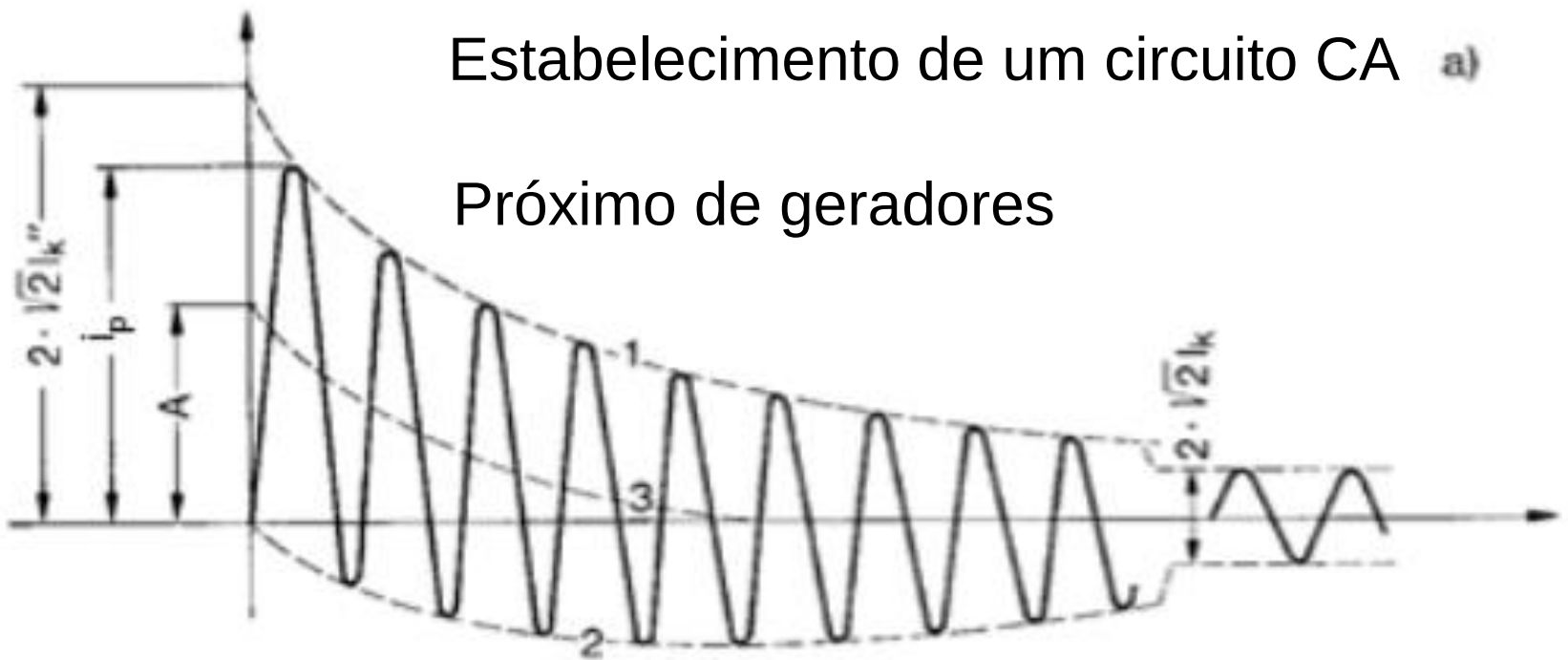
Normas IEC :

corrente eficaz simétrica (I_{CA}) e corrente de crista (primeira crista)
 p.ex. “Secionador 40 kA_{ef} durante 1 s com 100 kA_{cr}”

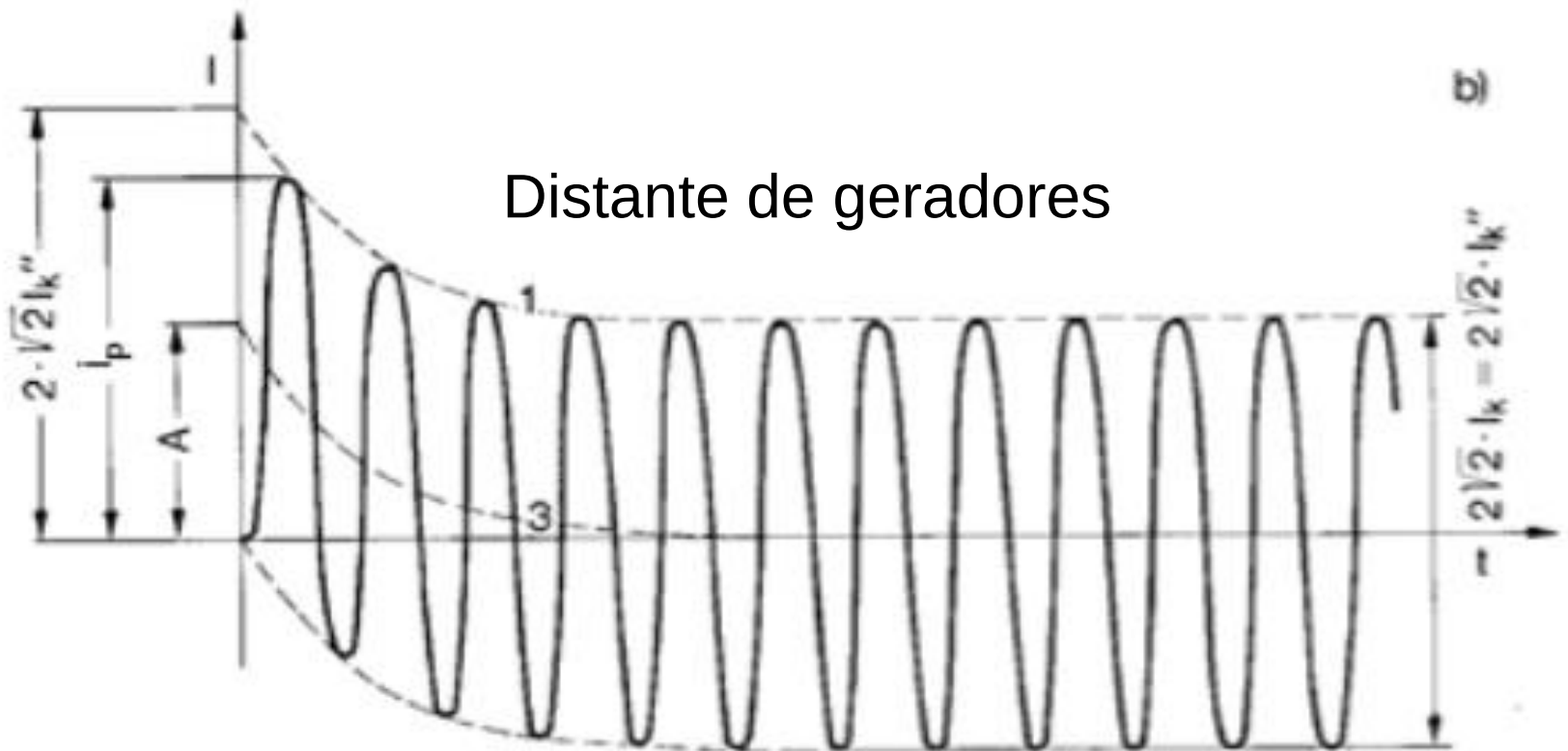
Normas ANSI “valor eficaz assimétrico” = valor eficaz da corrente total em um instante “assimétrico” = raiz quadrada ($I_{AC}^2 + I_{CC}^2$)

Estabelecimento de um circuito CA a)

Próximo de geradores



Distante de geradores



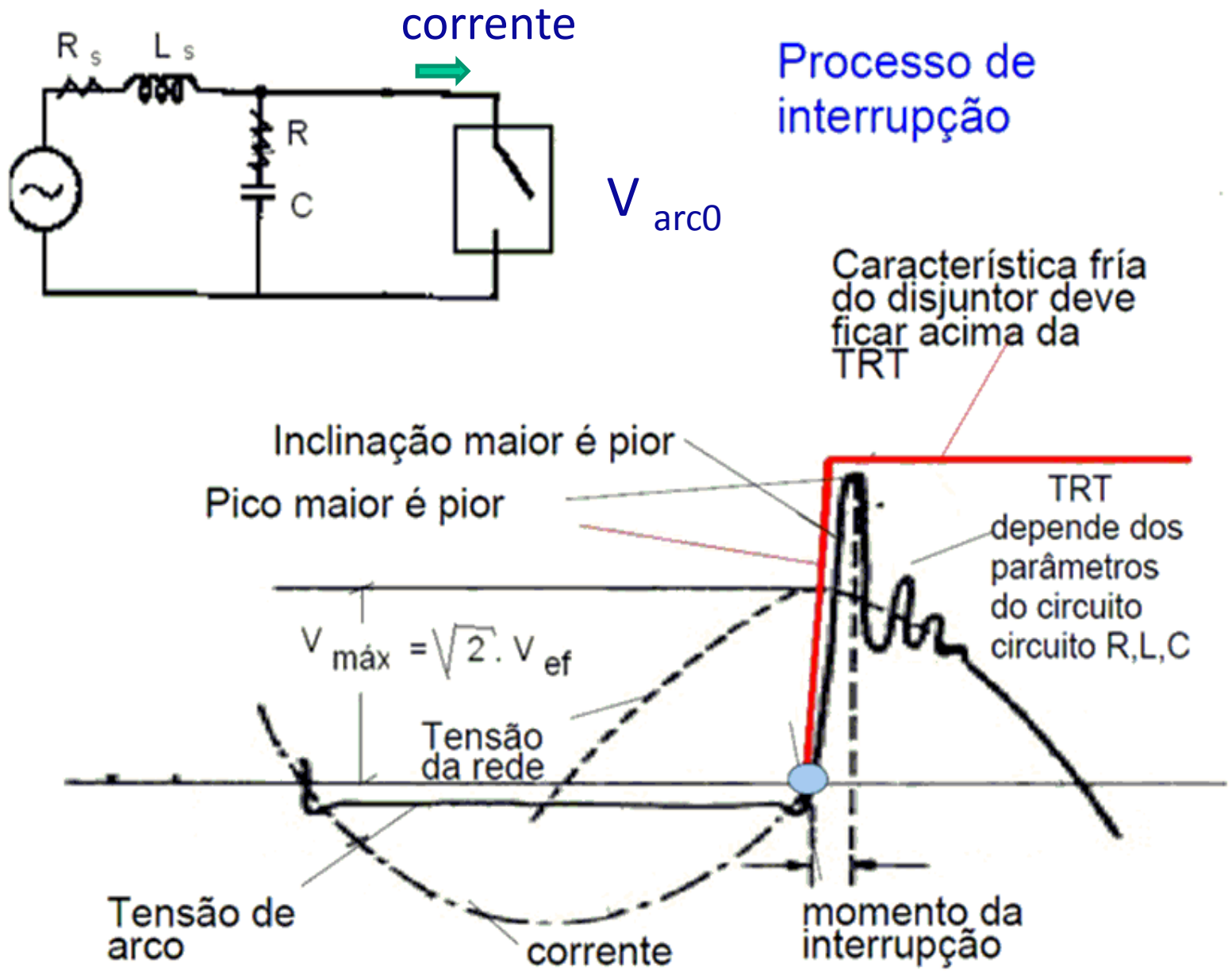
Reatância de máquinas síncronas (%)

Tipo de gerador	Turbogeradores	Geradores de polos salientes	
		Com/sem enrolamento amortecedor	
Reatancia subtransitoria X''	9...22	12...30 ³⁾	20...40 ³⁾
Reatancia transitoria X''_d	14...35 ⁴⁾	20...45	20...40
Reatancia síncrona X''_d	140...300	80...180	80...180

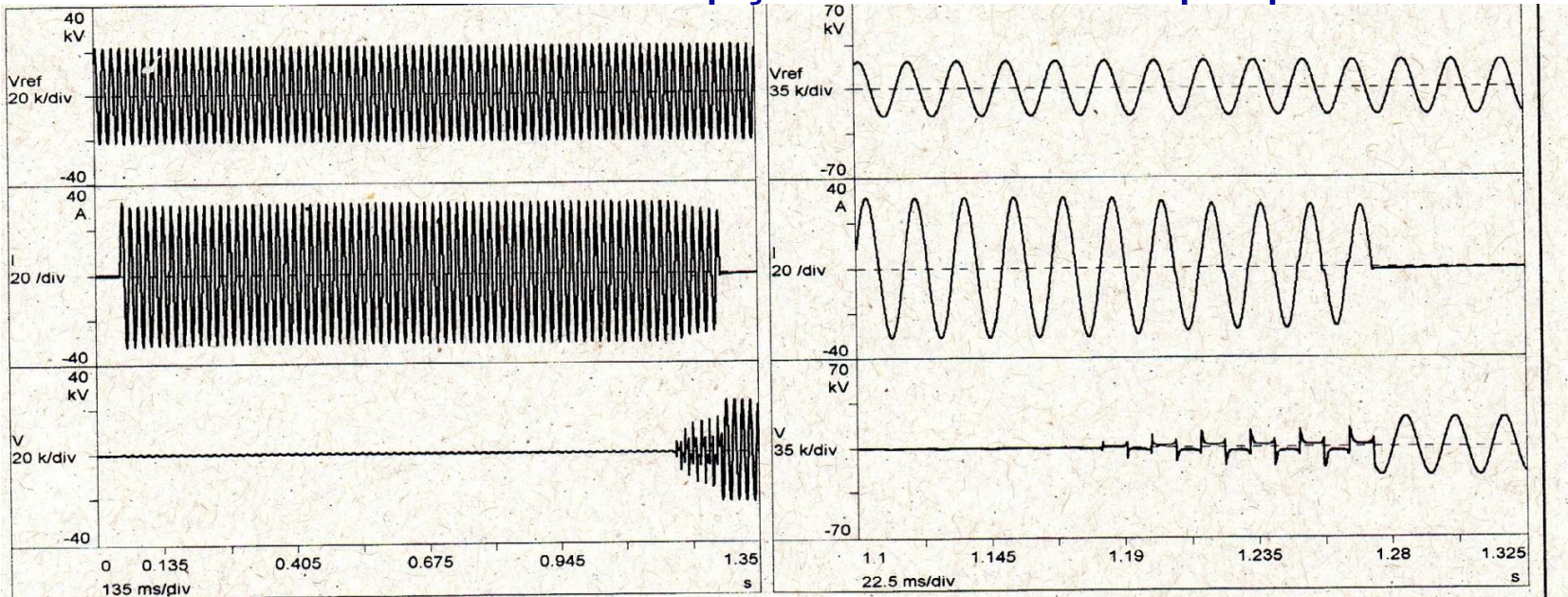
Transformadores

Valores típicos de impedância (%) de curto circuito (trifásicos) para diferentes valores de tensão primária KV

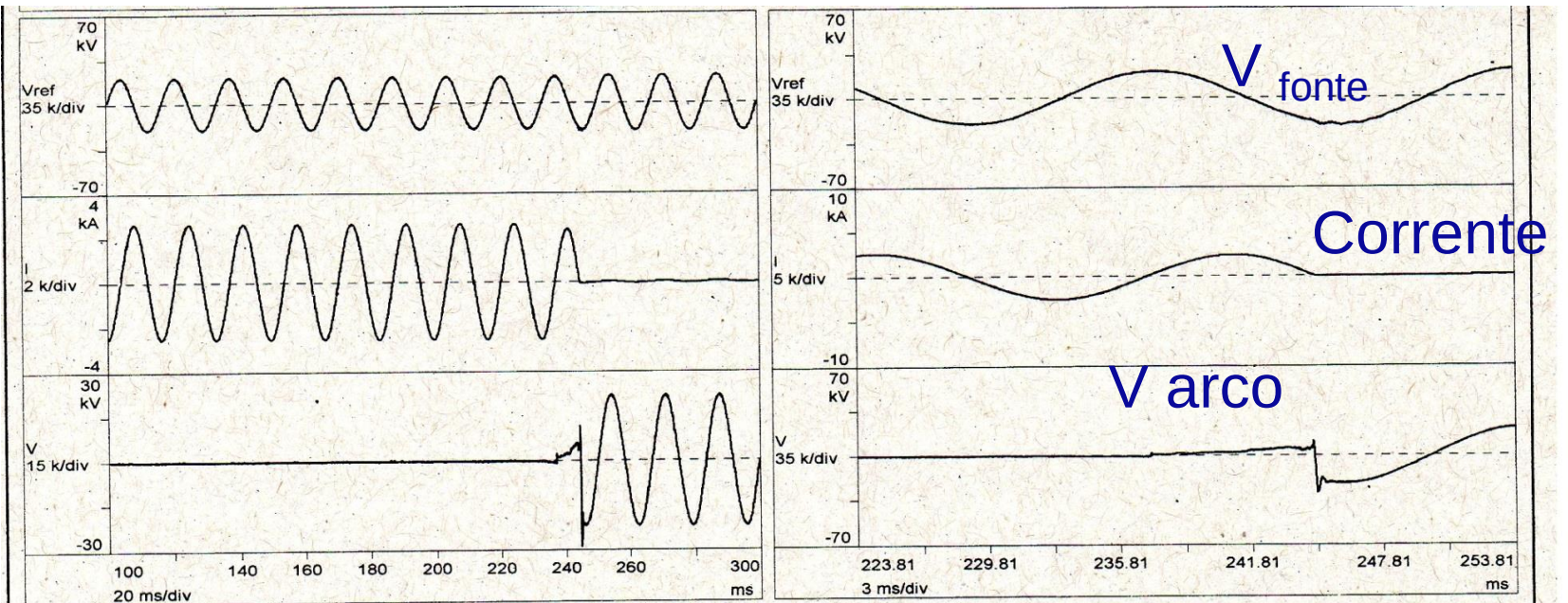
KV	5..20	30	60	110	220	400
u_k in %	3.5..8	6..9	7..10	9..12	10..14	10..16



Interrupção de corrente pequena



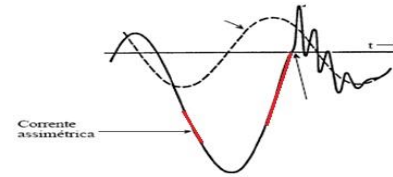
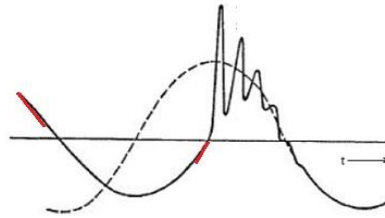
Interrupção de corrente elevada



TENSÃO DE RESTABELECIMENTO TRANSITÓRIA (TRT)

Corrente simétrica : componente de alta frequência se soma ao valor máximo da tensão do sistema.

Corrente assimétrica: se soma a valor < valor máximo da tensão



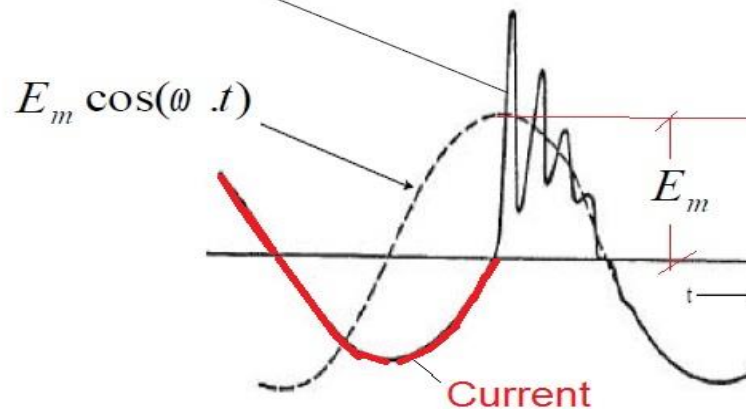
$$U(t) = E_m \left[\cos(\omega \cdot t) - \frac{1}{\sqrt{1 - \alpha^2}} e^{-\alpha \cdot \omega_0 \cdot t} \cos(\omega_0 \cdot \sqrt{1 - \alpha^2} \cdot t + \tan^{-1}(\frac{\alpha}{\sqrt{1 - \alpha^2}})) \right]$$

$$f_0 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{1}{L \cdot C} - \left(\frac{R}{2L} \right)^2}$$

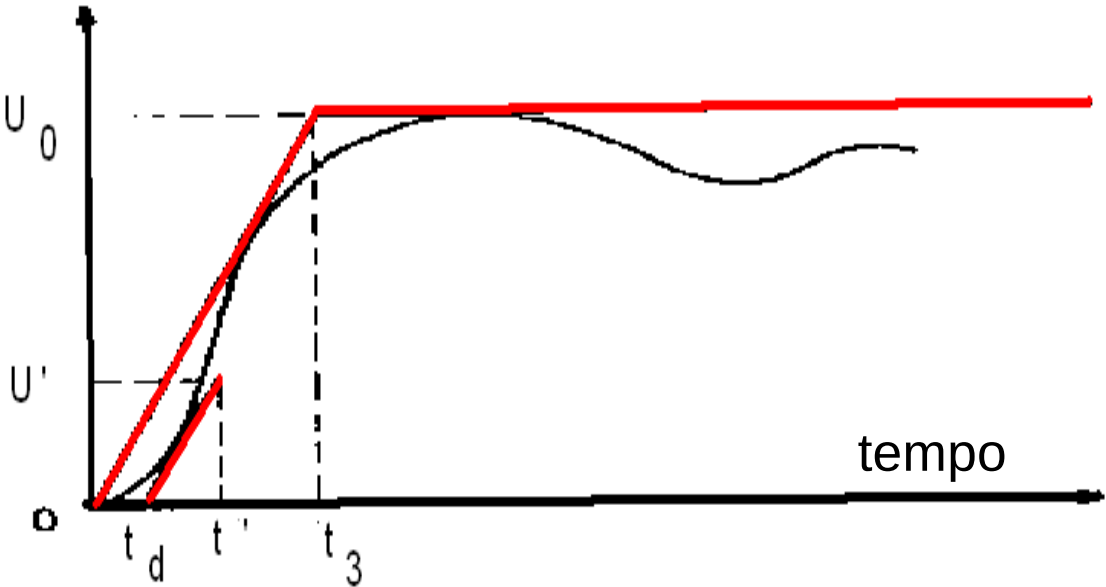
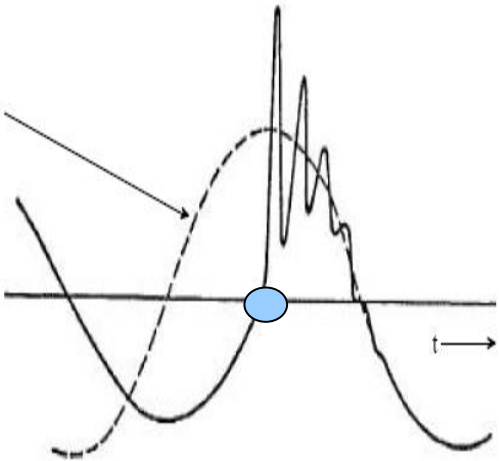
$$\omega = 2\pi f$$

$$\alpha = \frac{R}{2\sqrt{L/C}}$$

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$$

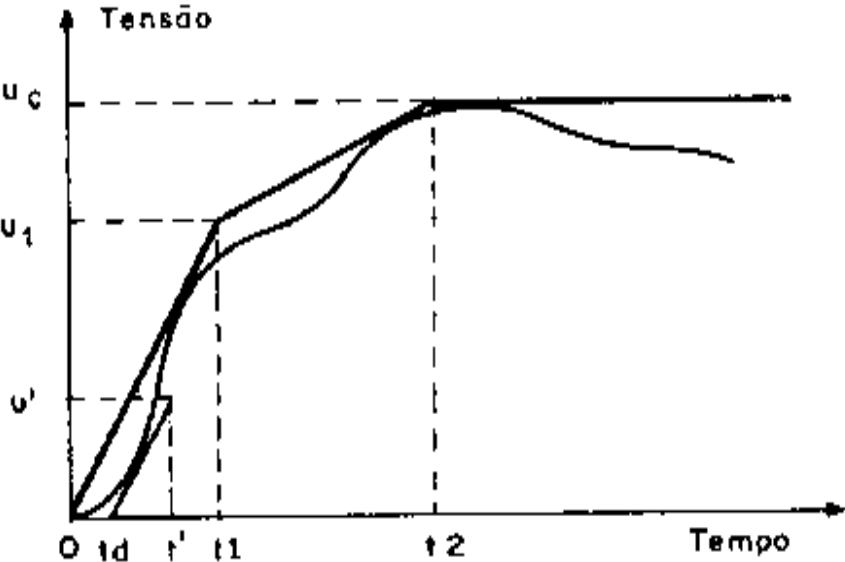
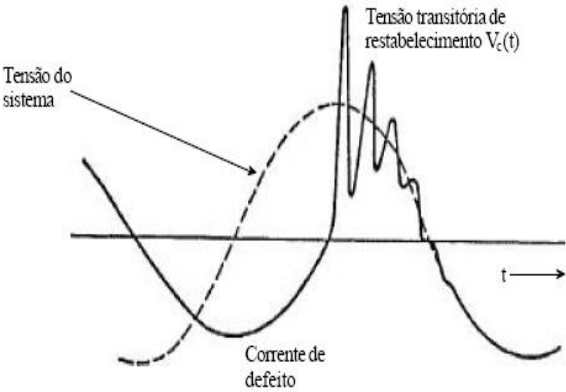


TRT A 2 PARÂMETROS



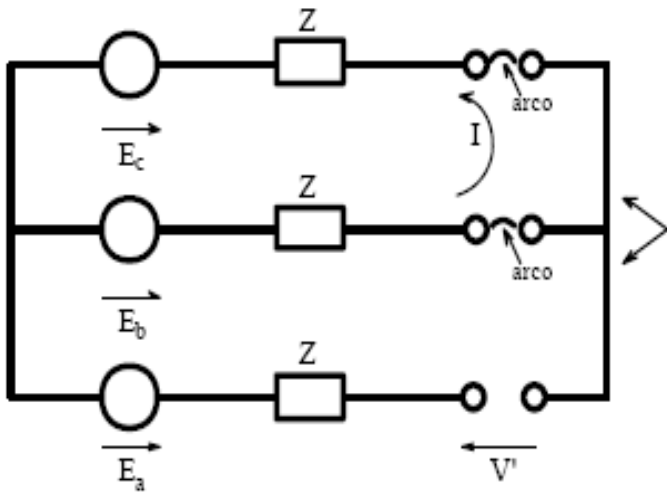
	Tensão Nominal	Tipo da interrupção	Fator de primeiro polo	Fator de amplitude	Valor de pico da TRT	Tempo	Tempo de retardo	Tensão	Tempo	TCTR ^b **
	U_r (kV)		k_{pp} (p.u.)	k_{af} (p.u.)	u_c (kV)	t_3 (μ s)	t_d (μ s)	u' (kV)	t' (μ s)	u_c / t_3 (kV/ μ s)
	4,76 ^c	Falta terminal	1,5	1,4	8,2	51	8	2,7	24	0,16
		Discordância de fases	2,5	1,25	12,1	101	15	4,0	48	0,12
	72,5 ^a	Falta terminal	1,5	1,4	124	165	8	41	63	0,75
		Falta quilométrica	1	1,4	83	166	8	28	64	0,50
		Discordância de fases	2,5	1,25	185	336	50	62	163	0,55

TRT A 4 PARÂMETROS

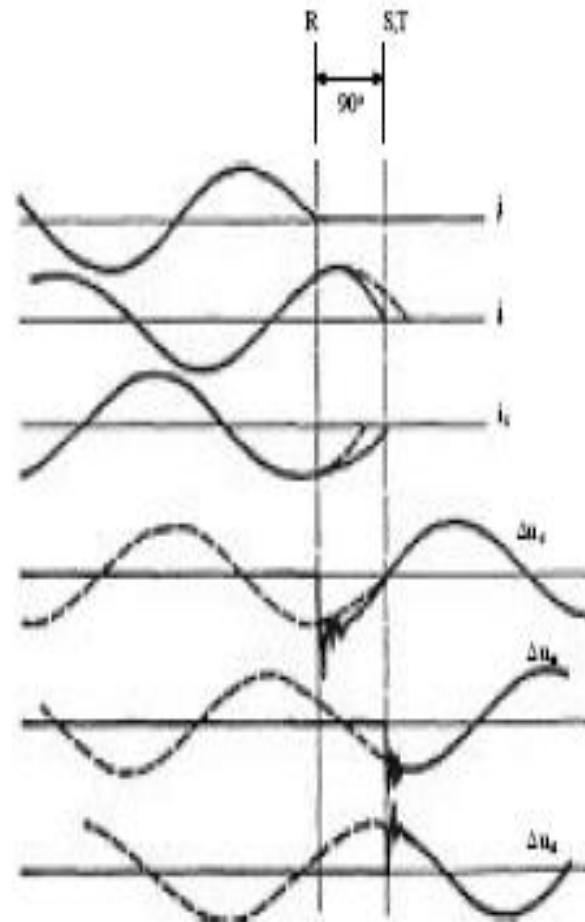
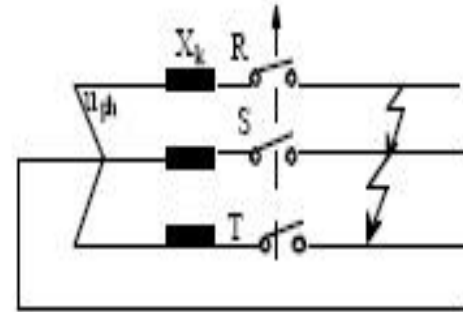
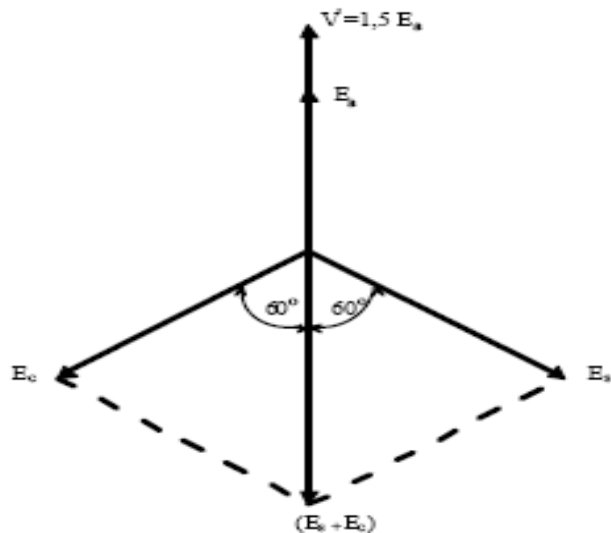


Tensão Nominal	Tipo da interrupção	Fator de primeiro polo	Fator de amplitude	Primeira tensão de referência	Tempo	Valor de pico da TRT	Tempo	Tempo de retardo	Tensão	Tempo	TCTR ^b
U_r (kV)		k_{pp} (p.u.)	k_{af} (p.u.)	u_1 (kV)	t_1 (μs)	u_c (kV)	t_2 (μs)	t_d (μs)	u' (kV)	t' (μs)	u_1/t_1 (kV/μs)
245	Falta terminal	1,3	1,4	260	130	364	390	2	130	67	2
	Falta quilométrica	1,0	1,4	200	100	280	300	2	100	52	2
	Discordância de fases	2	1,25	400	260	500	780	49	200	179	1,54

FATOR DE PRIMEIRO POLO



Voltages in the 1st pole to clear are 1,4 to 1,6 times the normal phase to ground voltage

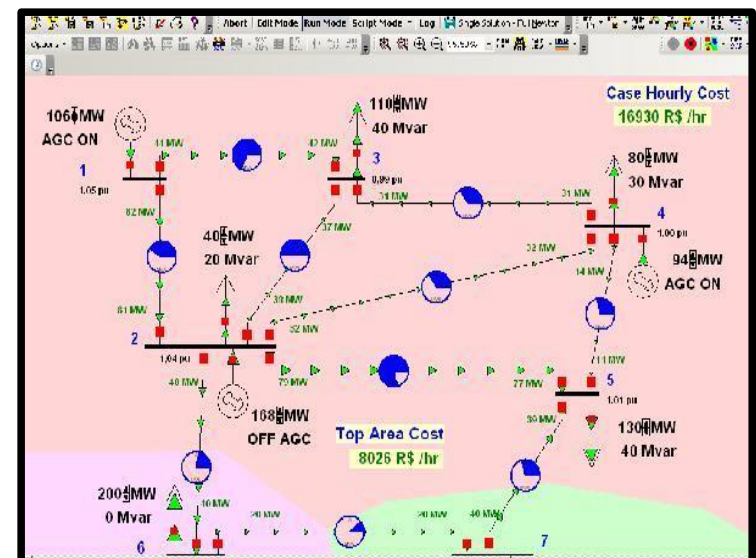
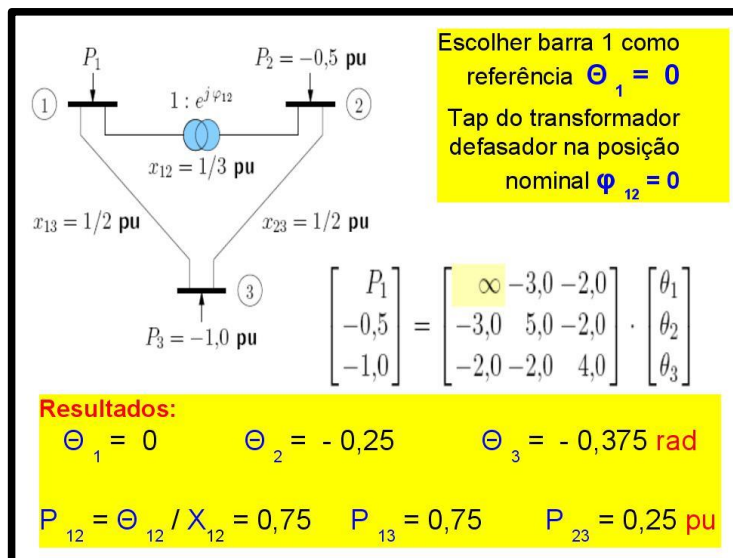


ESPECIFICAÇÃO DOS VALORES DE TENSÃO E CORRENTE EM UMA NOVA SUBESTAÇÃO:

- Estudos de fluxo de carga
- Estudos de curto circuito
- Valores padronizados nas normas técnicas
- Evitar exageros em especificações aumenta a eficiência da empresa sem perda de qualidade.

ESTUDOS DE FLUXO DE POTENCIA OU DE CARGA

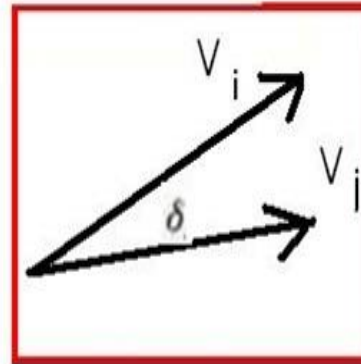
- ✓ Informações em Regime Permanente:
 - ◆ carregamento de linhas, geradores, transformadores,...
 - ◆ perdas de transmissão
 - ◆ módulos e ângulos de fase das tensões nas barras.
 - ◆ potências ativas e reativas nas linhas de transmissão
 - ◆ Horizonte 15 ou mais anos



ESTUDOS DE FLUXO DE POTENCIA

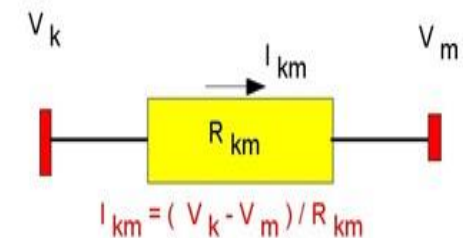
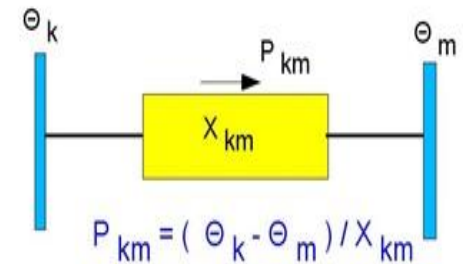
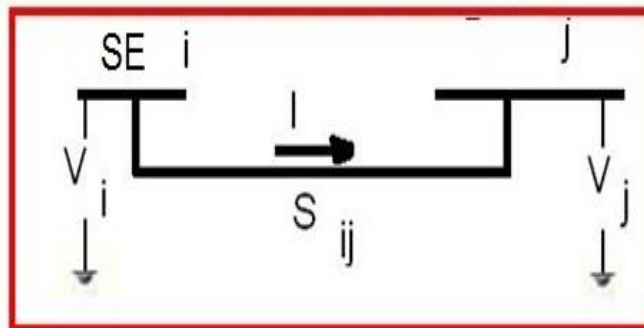
$$I = \frac{V_i - V_j}{Z} \quad S_{ij} = P_{ij} + j Q_{ij} = V \cdot I^* = \frac{V_i^* - V_j^*}{Z^*}$$

$$\delta = \angle V_i - \angle V_j$$



$$P_{ij} = \frac{1}{R^2 + X^2} (R|V_i|^2 - R|V_i||V_j|\cos\delta + X|V_i||V_j|\sin\delta)$$

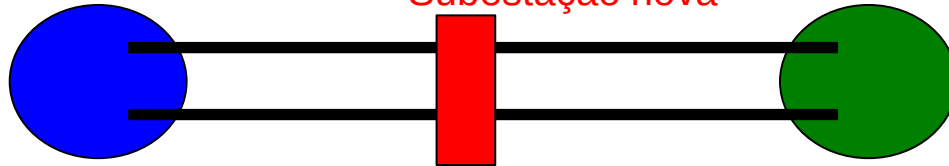
$$Q_{ij} = \frac{1}{R^2 + X^2} (X|V_i|^2 - X|V_i||V_j|\cos\delta - R|V_i||V_j|\sin\delta)$$



Subsistema 1 (existente)

Subestação nova

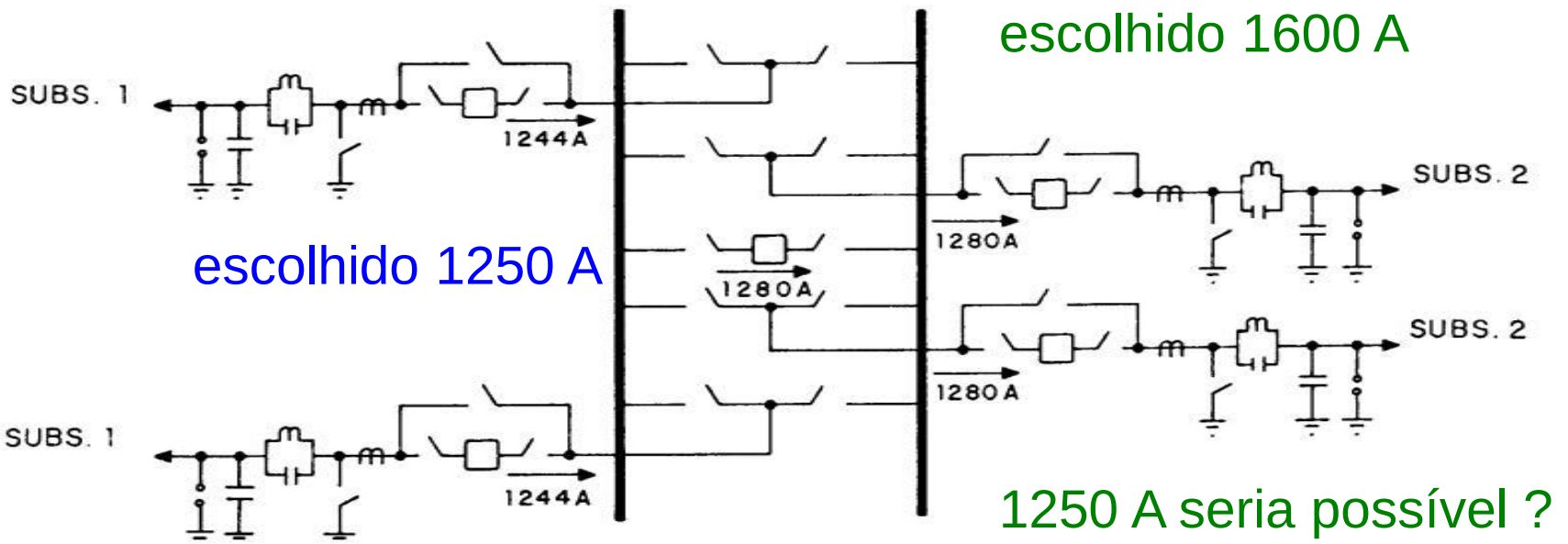
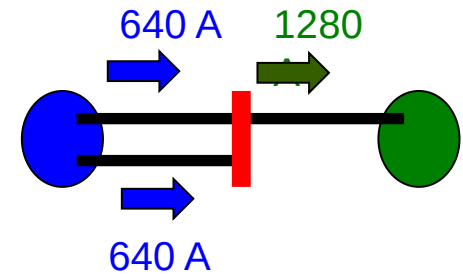
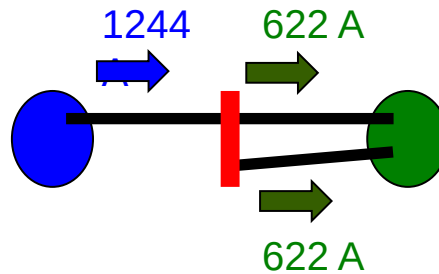
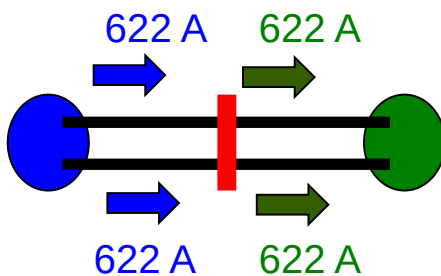
Subsistema 2 (existente)



Situação baixa carga

Emergência baixa carga

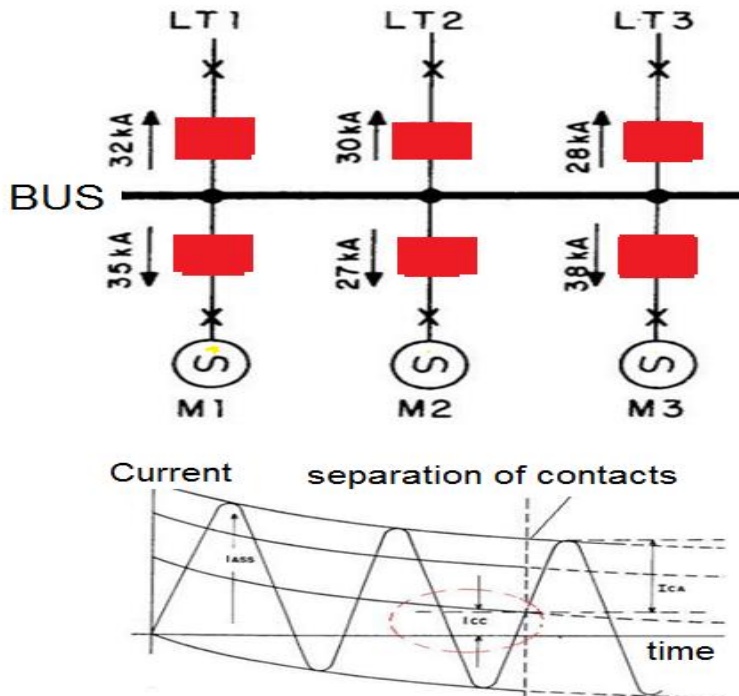
Emergência na ponta



ESTUDOS DE CURTOS CIRCUITOS

especificar as correntes suportáveis de curta duração e de crista
(e para disjuntores e fusíveis as capacidades de interrupção):

- Determinar X/R (L/R da componente de corrente contínua);
- Calcular correntes de curto, a crista máxima e durações .
- Adequar aos valores das normas
- Obter valor das componentes CA e CC na separação dos contatos.



Circuito	Corrente calculada (kA ef)	Valor de norma (kA ef)
LT1	32	40,0
LT2	30	31,5
LT3	28	31,5
M1	35	40,0
M2	27	31,5
M3	38	40,0

Informações e noções de usos do

ATP / ATPDRAW

- programa gratuito originário do EMTP
- cálculos de transitórios de tensões e de correntes
- ferramenta excelente para uso no dia a dia
- utilização relativamente simples

ABERTURA DE REATOR

Attributes

DATA	VALUE	NODE	PHASE	NAME
Amp	11267.65	AC	1	
f	60			
Pha	0			
At	1			
TSta	-1			
TSto	1			

Order: 0 Label: 13.8 kV

Cogment:

Type of source:

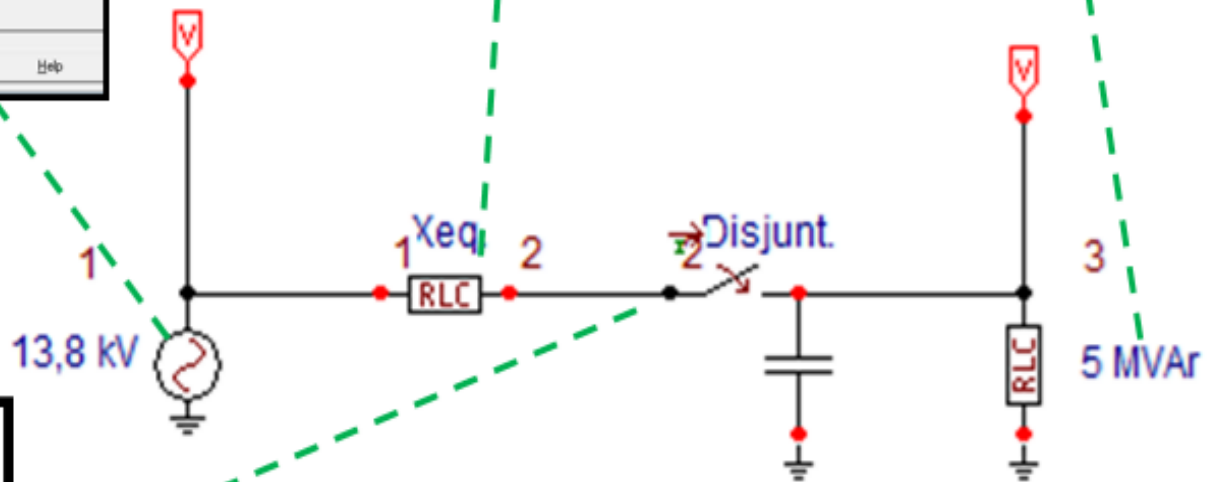
☐ Current ☒ Voltage

☐ Hide ☐ Lock

OK Cancel Help

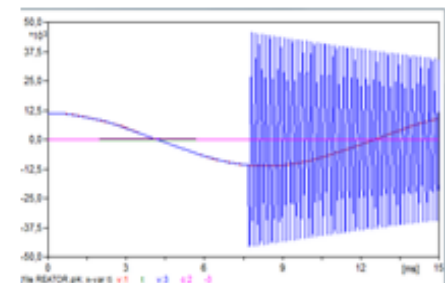
DATA	VALUE
R	1
L	0.1992
C	0

DATA	VALUE
R	8
L	38.088
C	0

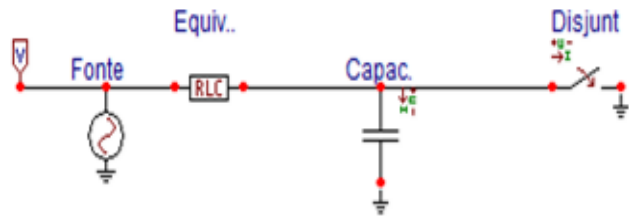


DATA	VALUE
T-cl	1
T-op	0.001
Imar	10

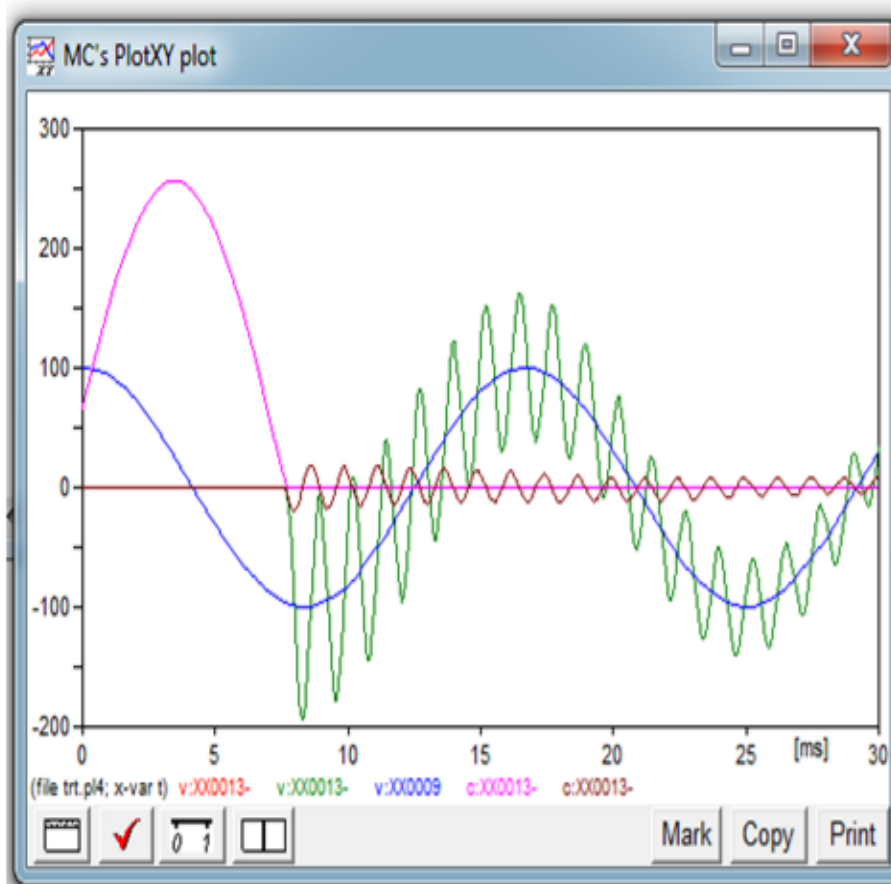
1 - Current



INTERRUPÇÃO DE FALTAS

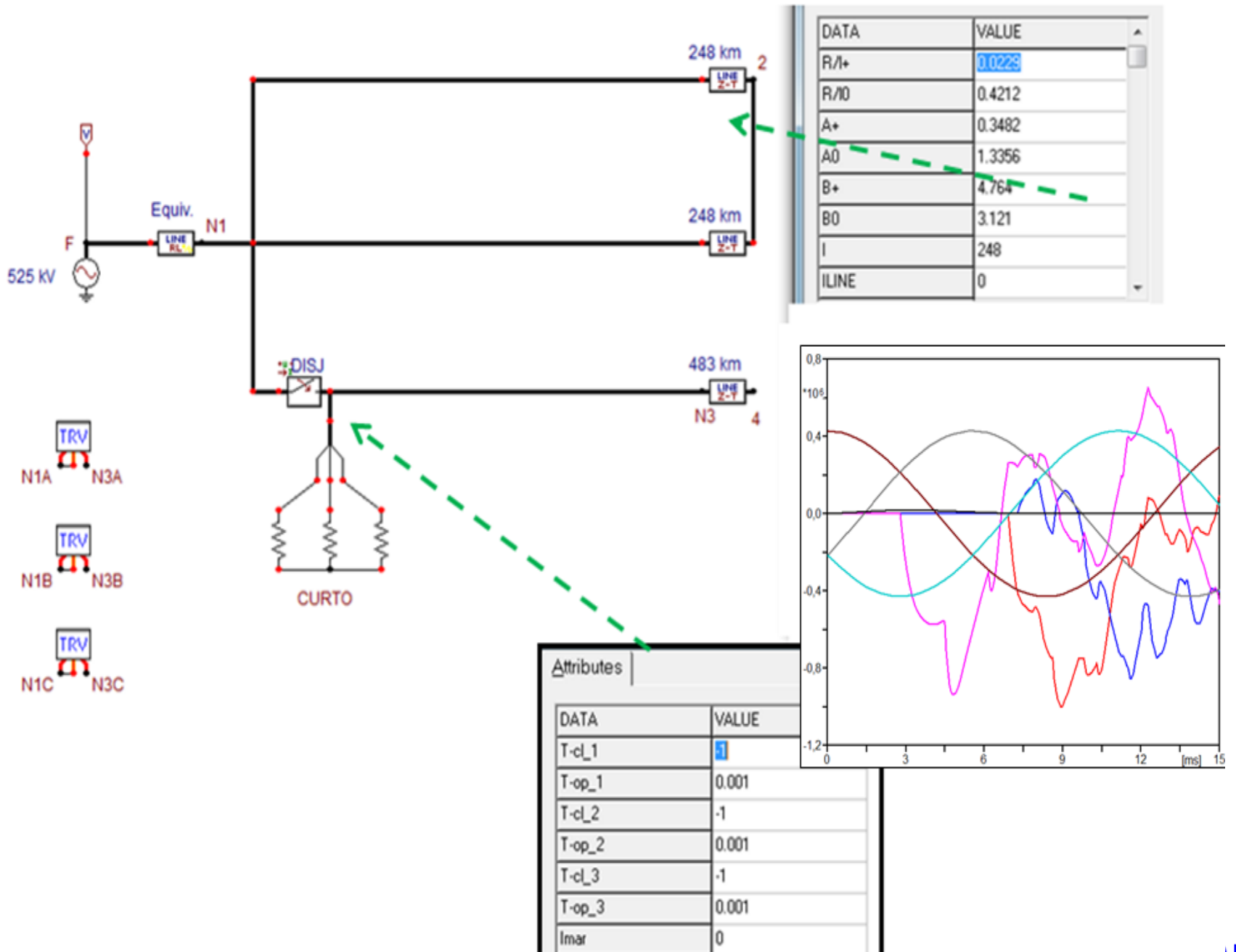


DATA	VALUE
R	0.1
L	1
C	0

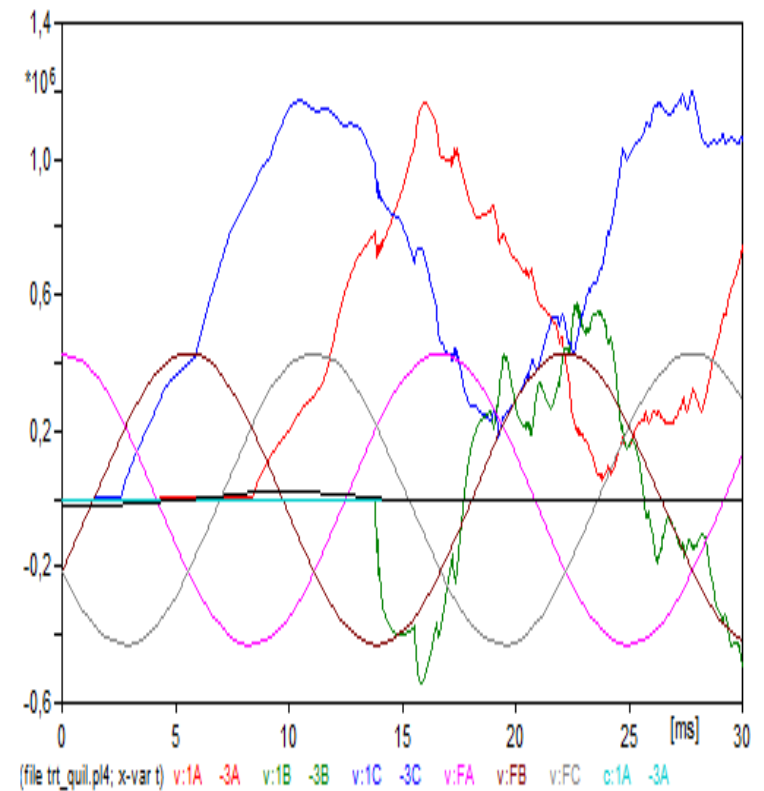
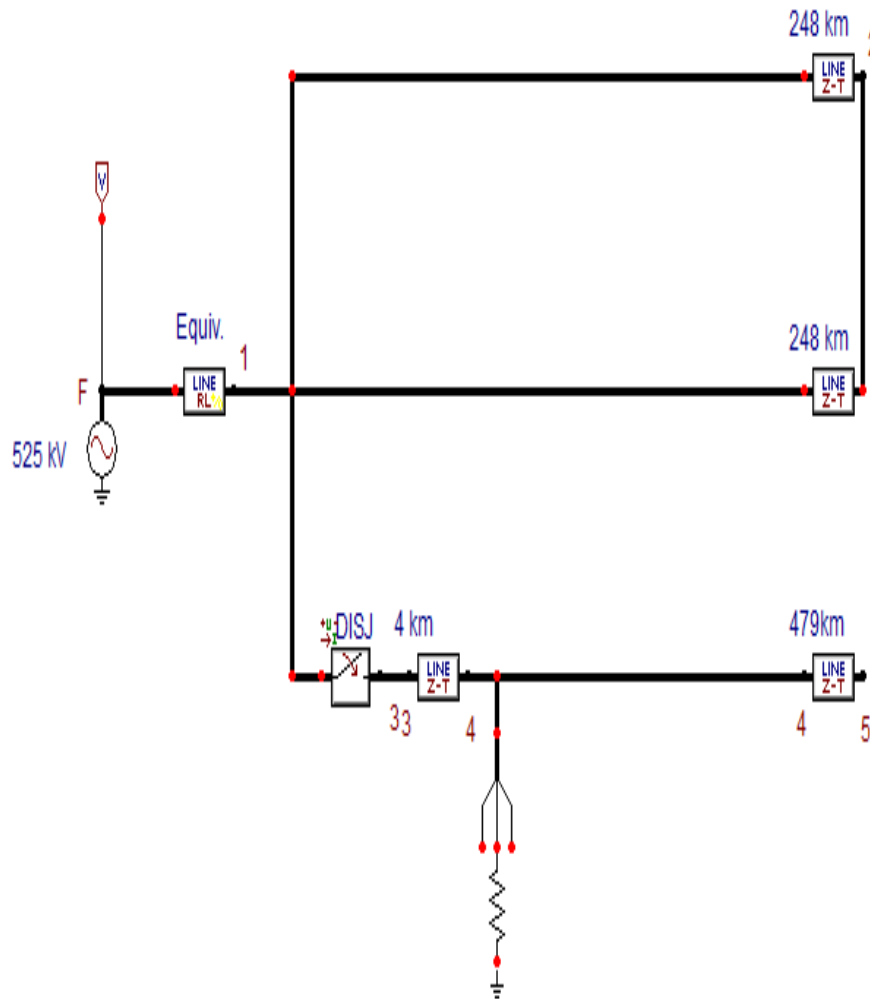


DATA	VALUE
T-cl	1
T-op	0.001
Imar	0

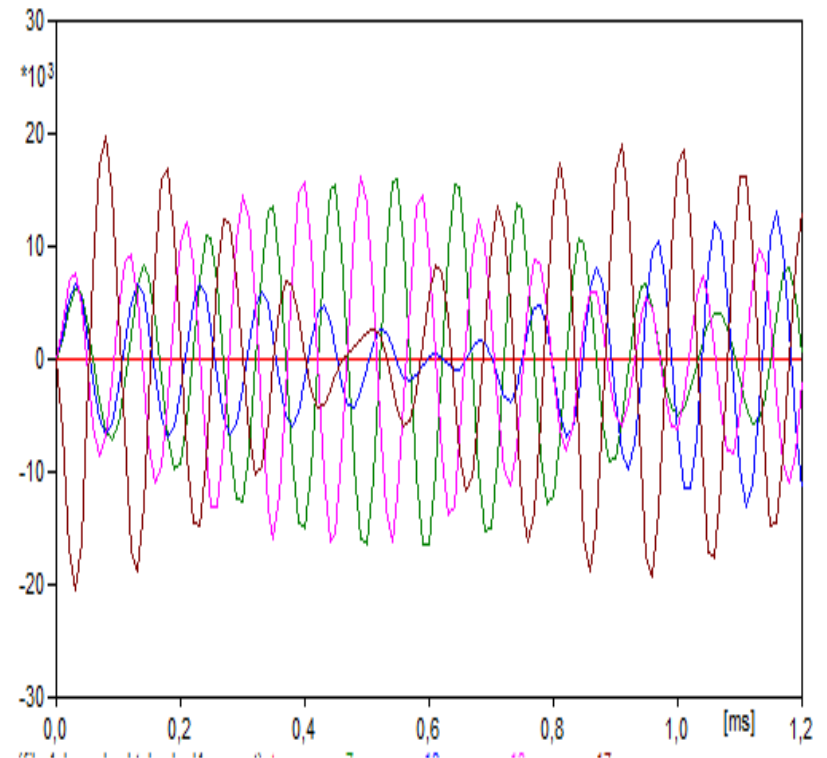
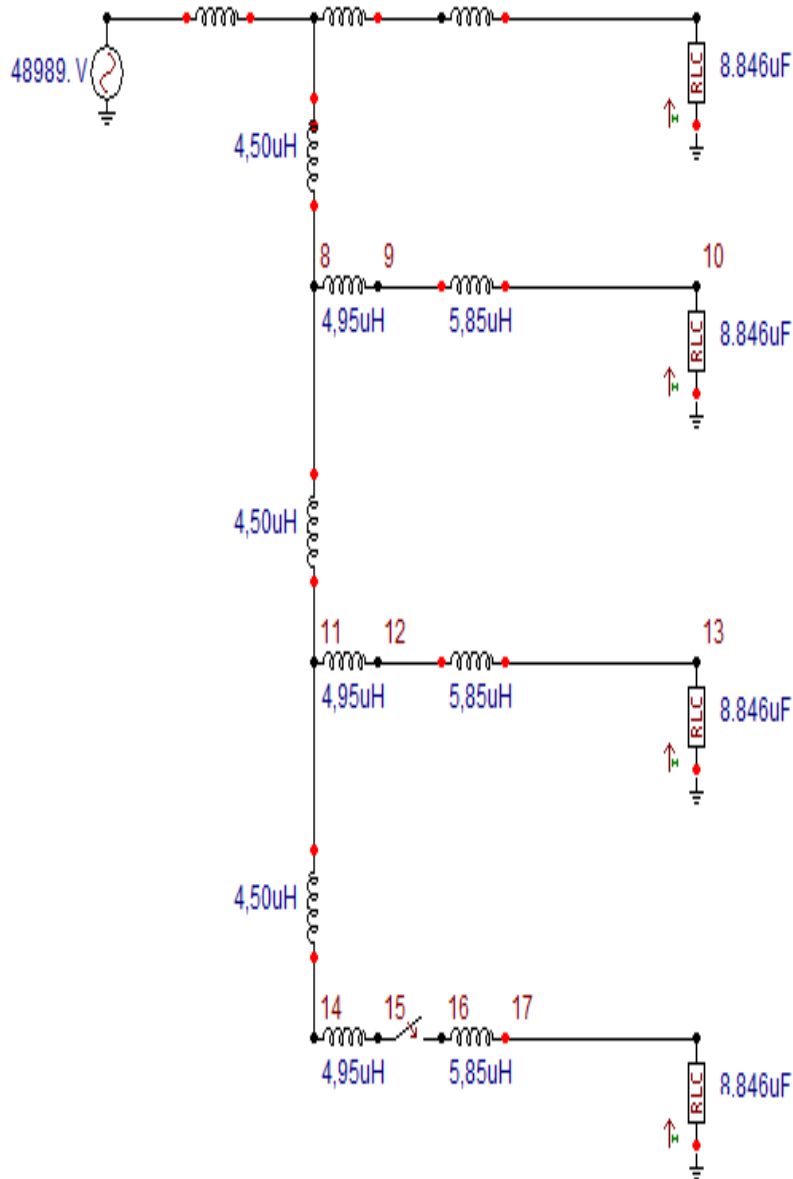
INTERRUPÇÃO DE FALTAS



INTERRUPÇÃO DE FALTAS EM LINHAS CURTAS



BANCO DE CAPACITORES “BACK TO BACK”





Cálculo de transitórios e ATP

MC's PlotXY - Data selection (3)

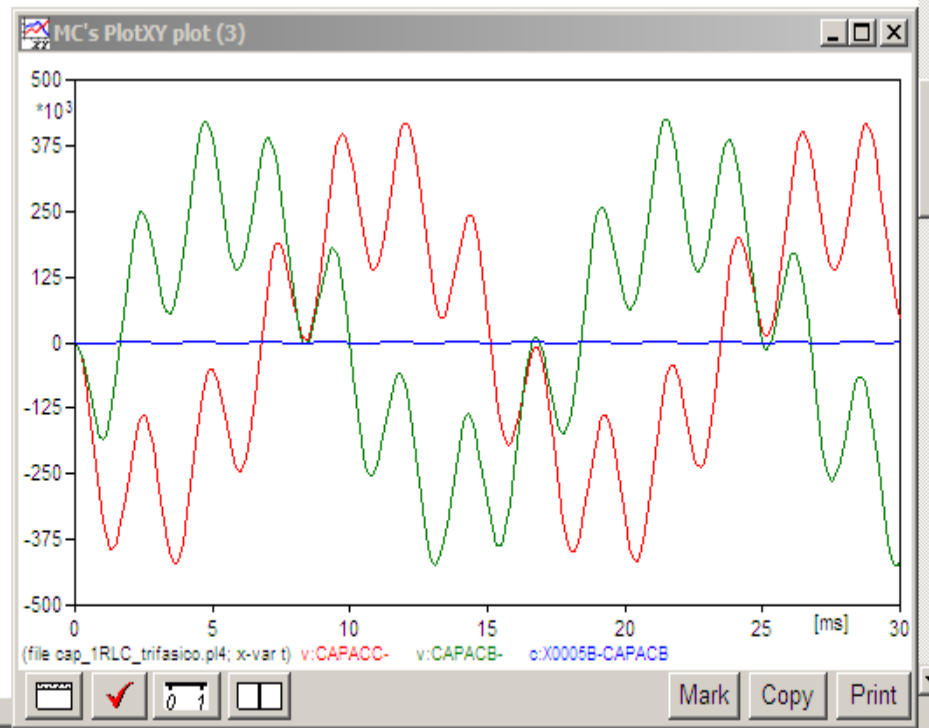
Load... Refresh

#	File Name	# of var	# of Point	Tmax
	cap_1RLC_trifasico	14	20001	0,2

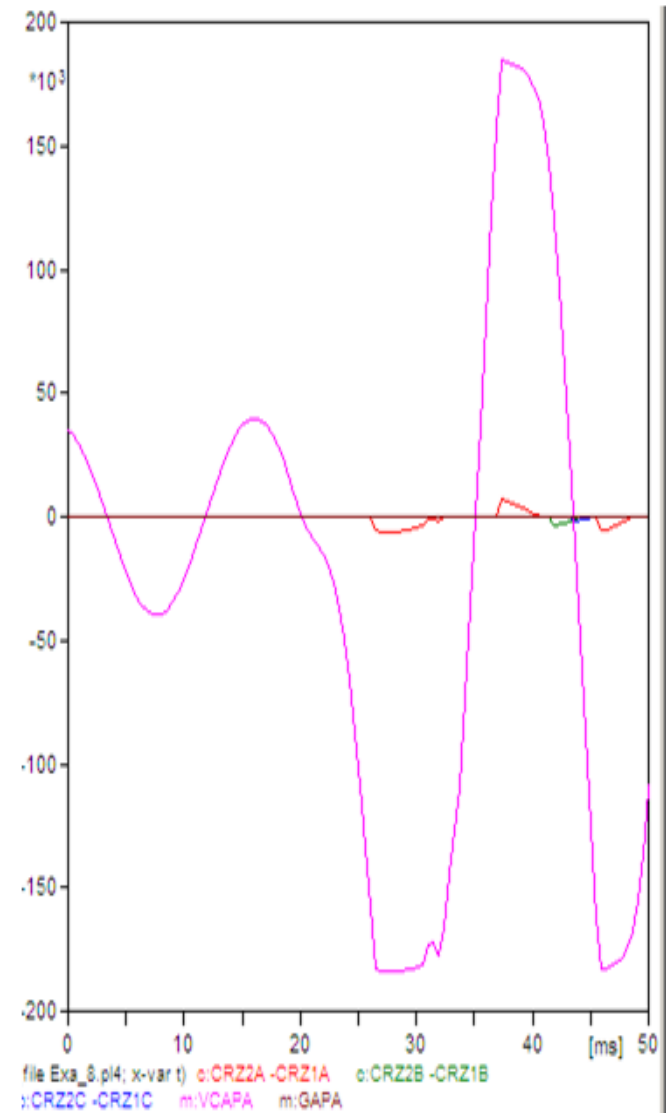
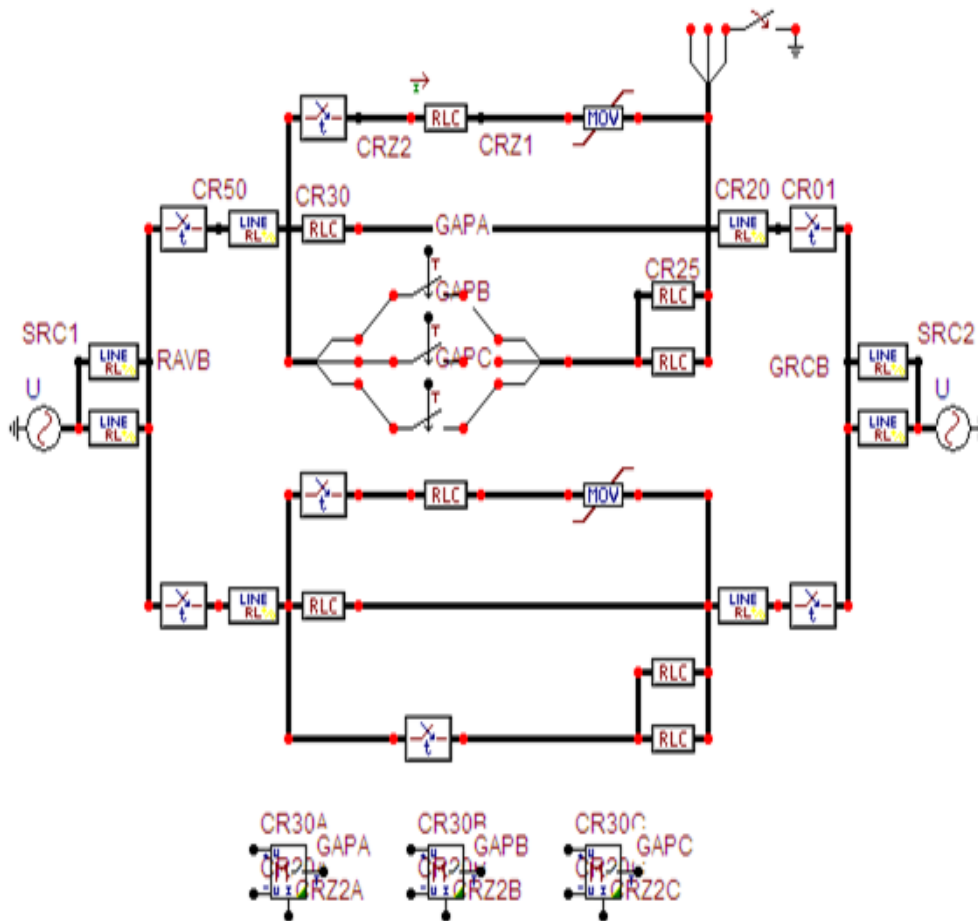
Variables

Variable	X	Facto	Offset
t	x	1	0
v:CAPACC-	1	0	
v:CAPACB-	1	0	
c:X0005B-CAPACB	1	0	

Update Four Plot



exa_8.adp



- Equipamentos Elétricos – Especificação e Aplicação em Subestações de Corrente Alternada – Furnas / UFF, 1985
- Transitórios Elétricos e Coordenação de Isolamento – Aplicação em Sistemas Elétricos de Alta tensão – Furnas / UFF, 1987
- Disjuntores e Chaves – Aplicação em Sistemas de Potência – CE 13 do Cigrè - Brasil em parceria com Furnas / UFF, 1996

ABB Switchgear Manual



ABB Switchgear Manual

More than 50 years after publication of the first edition of the BBC Switchgear Manual by A. Hoppner, we present to you the current edition of today's ABB Calor Emag Switchgear Manual in the internet the first time. As always, it is intended for both experienced switchgear professionals as well as beginners and students.

The ABB Calor Emag Switchgear Manual addresses all relevant aspects of switchgear technology for power transmission and distribution. Not only the technology of low, medium and high voltage switchgear and apparatus is considered but also related areas such as digital control systems, CAD/CAE methods, project planning, network calculation, electromagnetic compatibility (EMC), etc.

Imprint

ABB Pocket Book - Switchgear Manual
10th revised edition

Edited by

ABB Calor Emag Schaltanlagen AG Mannheim and ABB Calor Emag
Mittelspannung GmbH Ratingen

<http://www.4shared.com/office/ErozeZWB/20269998-5068033-ABB-Switch-Ge.html>

Transients in Power Systems – Lou Van de Sluis
John Wiley & Sons Ltd ISBN 0471486 396

FIM DO MODULO 1

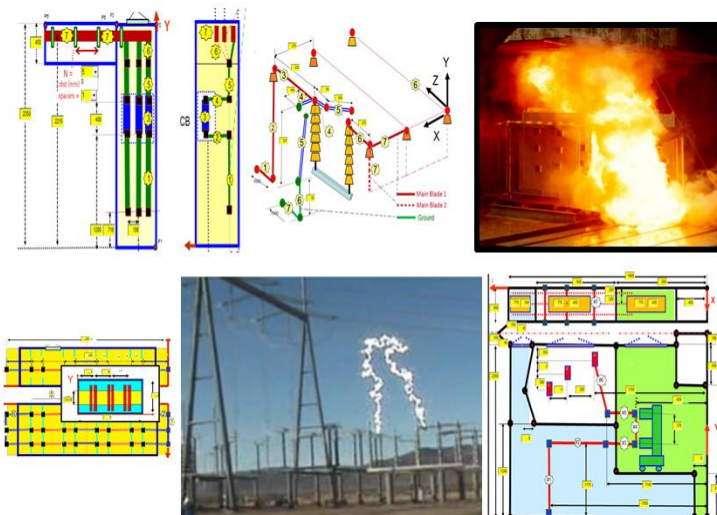
Por Sergio Feitoza Costa

www.cognitor.com.br

PAINÉIS, BARRAMENTOS E SECCIONADORES

E

EQUIPAMENTOS DE SUBESTAÇÕES DE TRANSMISSÃO e DISTRIBUIÇÃO



MÓDULO 2:

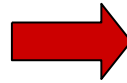
SOBRETENSÕES

E

COORDENAÇÃO DE ISOLAMENTO

EFEITOS DAS CORRENTES E TENSÕES

Menores ou iguais aos valores nominais (**permanentes**)



Envelhecimento “normal”

(p.ex. 20 anos)

Sobrecorrentes longa duração
(p.ex: **1,5 In** por **120 segundos**)



Elevações de temperatura moderadas: + envelhecimento

Sobrecorrentes curta duração
(p.ex: **20 In** por **1 segundo**)



Temperaturas altas $> 180^{\circ} \text{C}$:
recozimento, fusão, empeno



Efeitos eletrodinâmicos: forças até da ordem de toneladas danificam isoladores e partes metálicas

Sobretensões

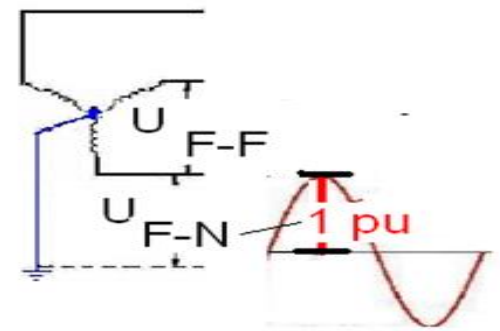
- **longa duração** (até **dezenas de segundos**)
- **curta duração** (**micro- segundos**)



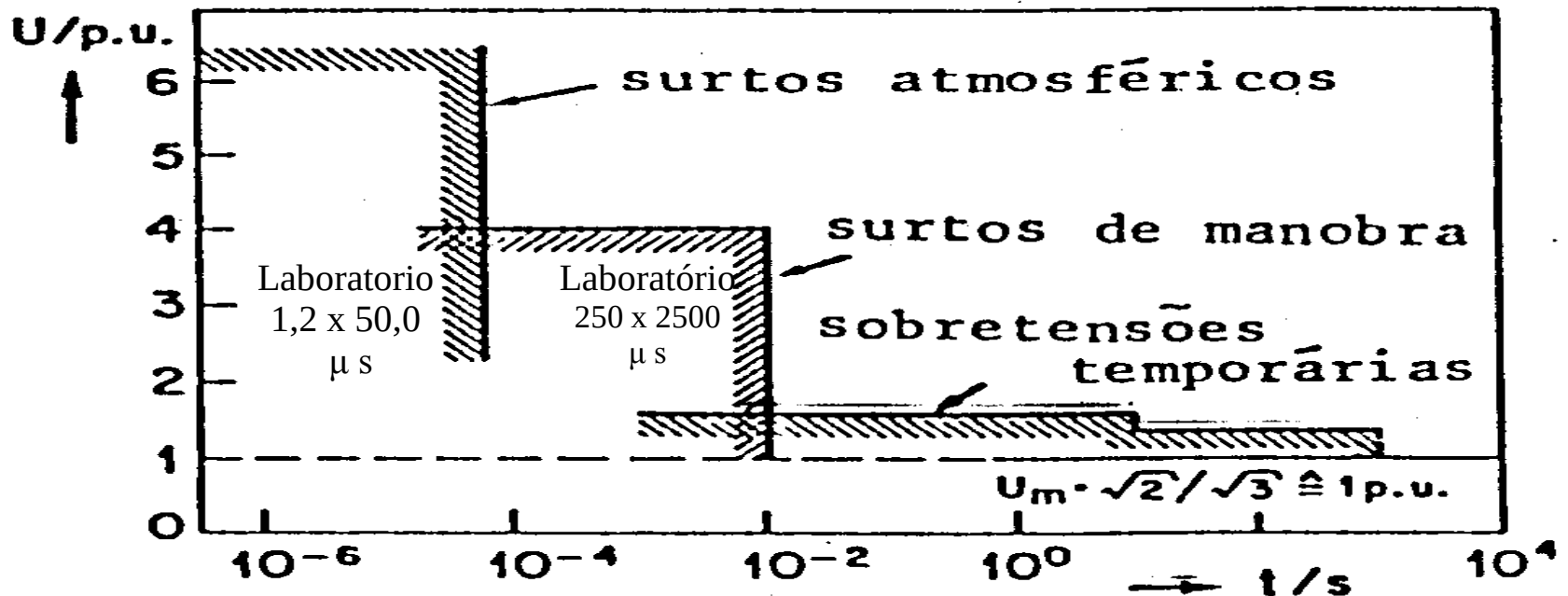
Falha imediata ou + envelhecimento dos isolamentos

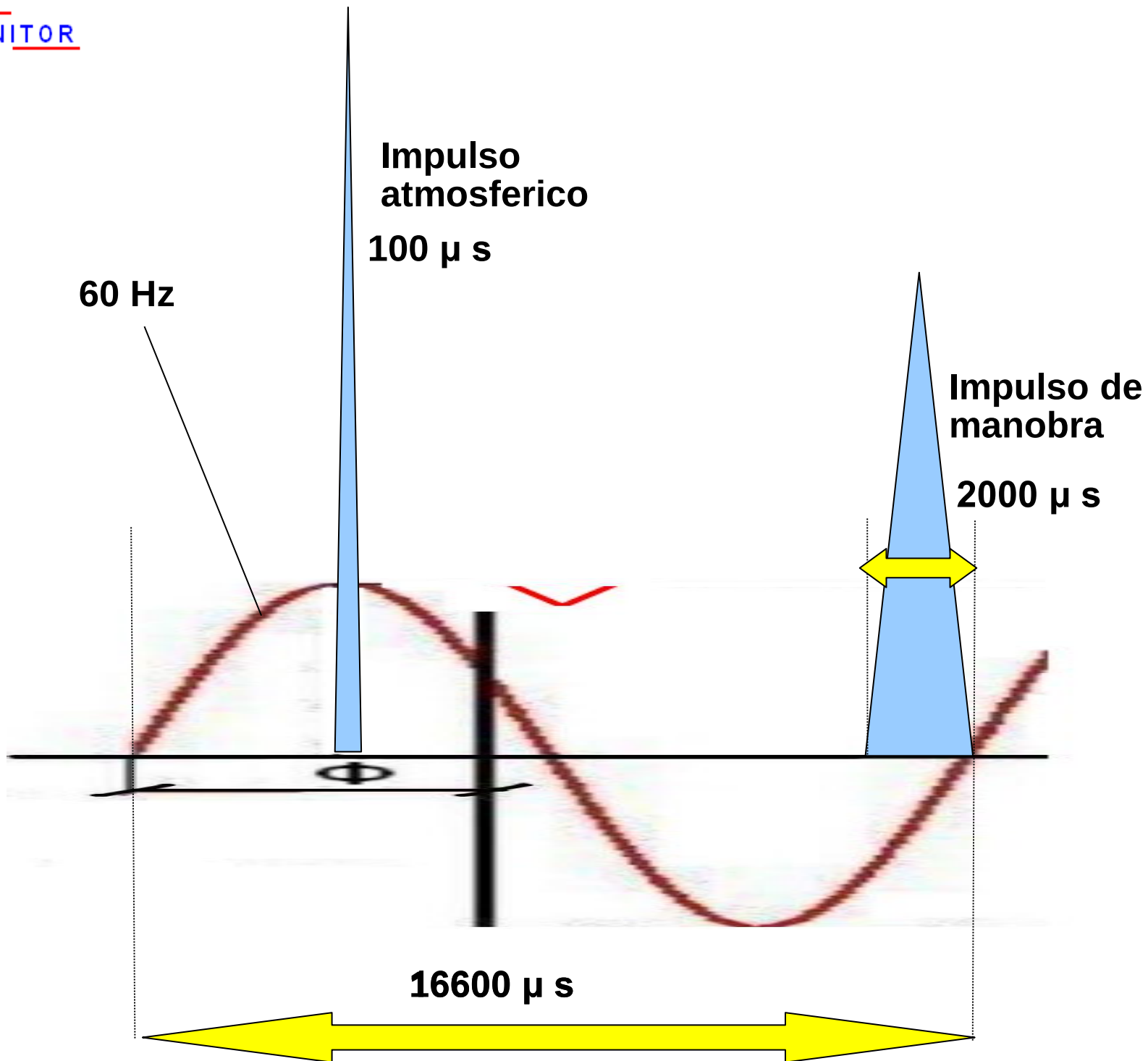
$$I^2 t \sim V^2 t$$

SOBRETENSÕES

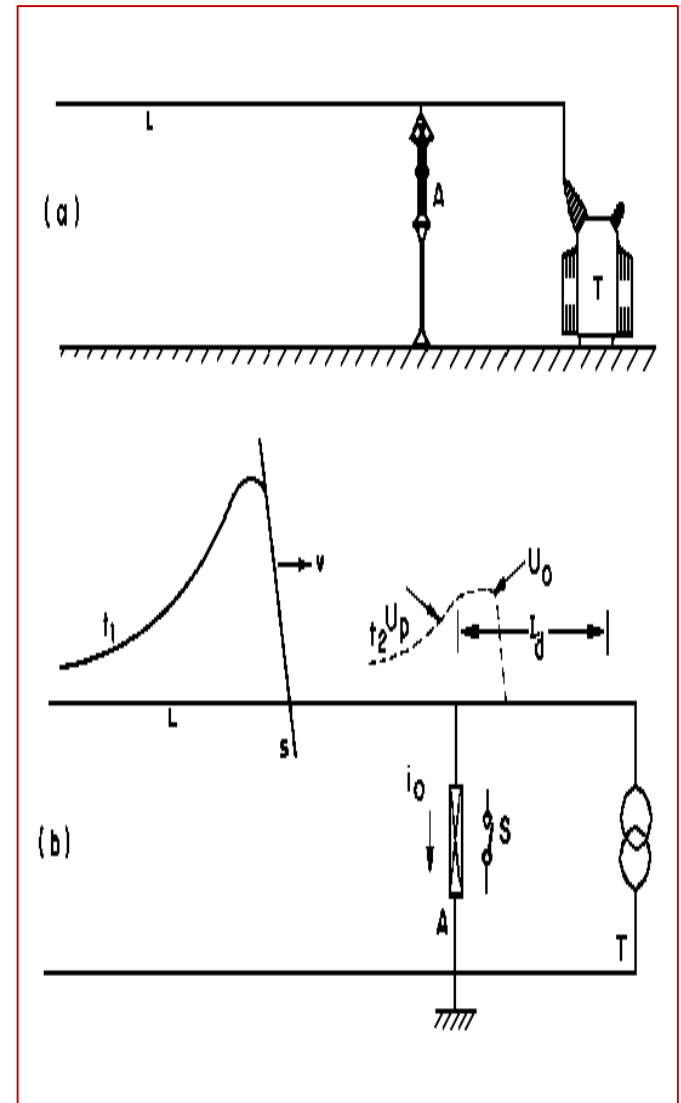
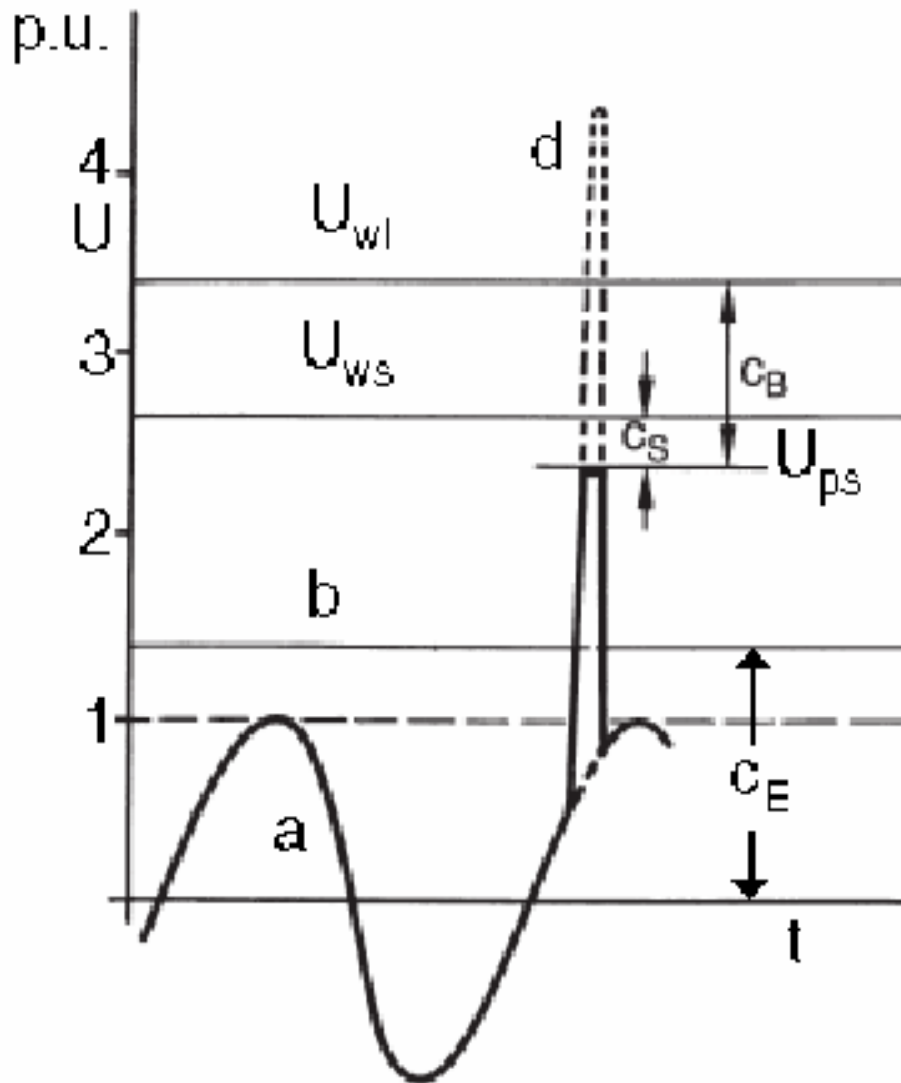


- Surtos atmosféricos
- Conexão / desconexão de partes de circuito ou iniciação / interrupção de faltas
 - Temporárias: 50-60 Hz e harmônicos. Sustentadas e pouco amortecidas
 - Surtos de manobra: rapidamente amortecidas e curta duração



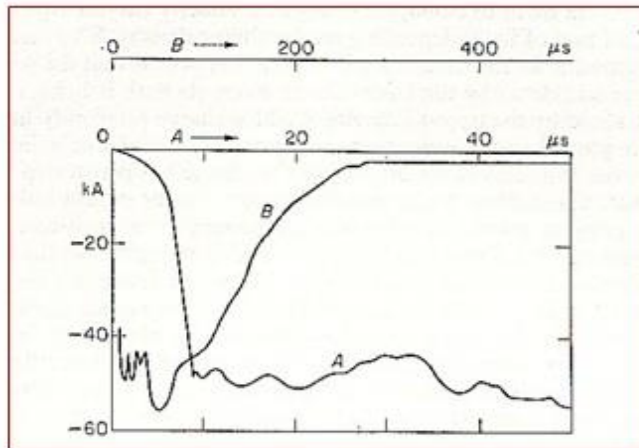


IMPULSO + TENSÃO A FREQUENCIA INDUSTRIAL

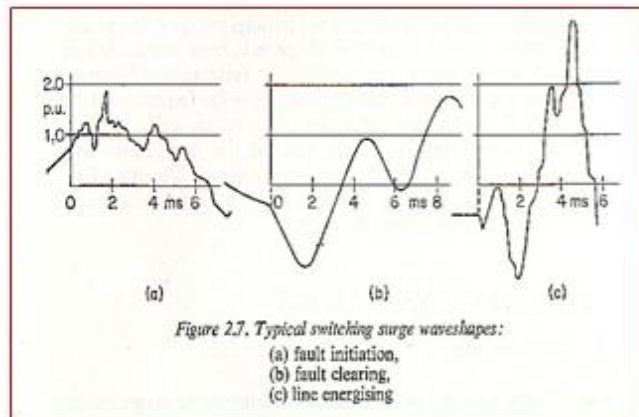


IMPULSOS (REAL X LABORATORIO)

Atmosférico

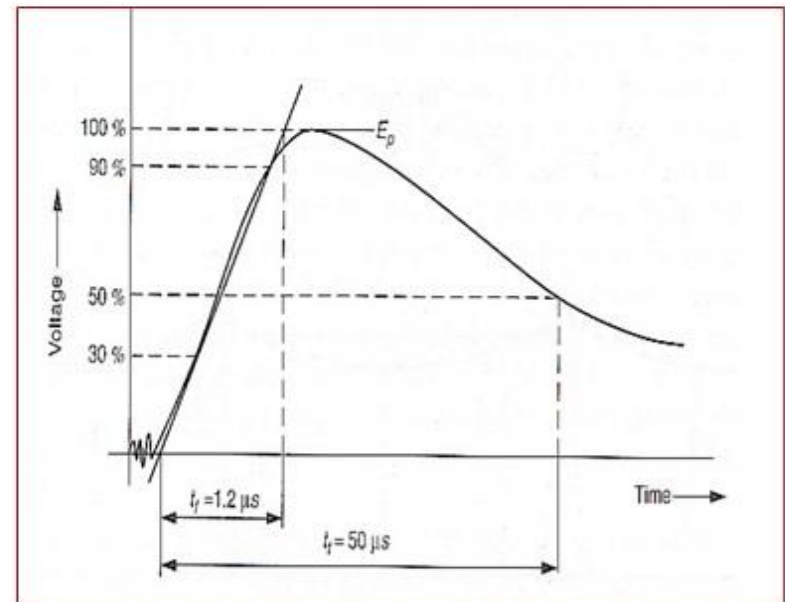


Manobra



Ensaio

$t_1 = 1,2 \mu s$ $t_2 = 50 \mu s$



$t_1 = 250 \mu s$ $t_2 = 2500 \mu s$

FREQUÊNCIAS DE TRANSITÓRIOS

Energização de transformadores	1 kHz
Ferro ressonância	1 kHz
Energização de linhas	20 KHz
TRT para faltas nos terminais	20 KHz
TRT para faltas em linhas curtas	100 KHz
Impulsos atmosféricos	3000 KHz
GIS manobra de seccionadores	50.000 KHz

Depende de L e C que por sua vez dependem da geometria e distancias

$$f_0 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{1}{L.C} - \left(\frac{R}{2L}\right)^2}$$

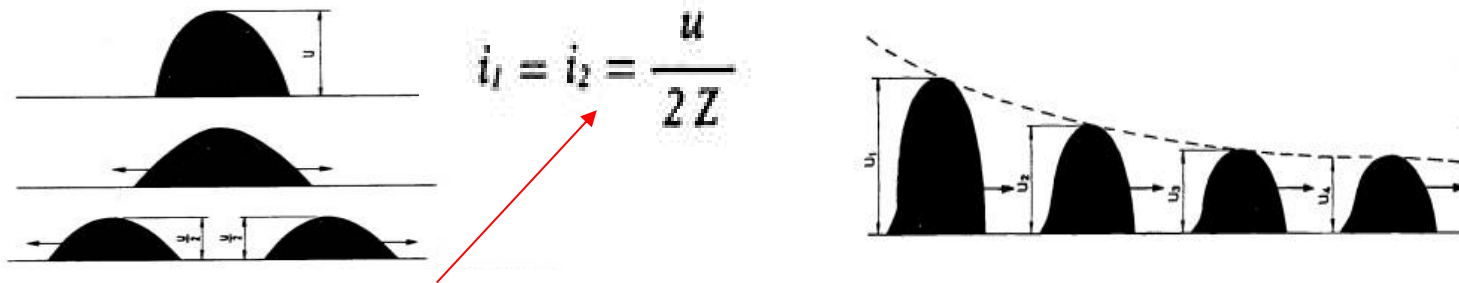
PROPAGAÇÃO DE IMPULSOS ATMOSFÉRICOS

$$Z = \sqrt{L/C}$$

*Impacto direto sobre o cabo de fase: $U = (I / 2) \times Z$

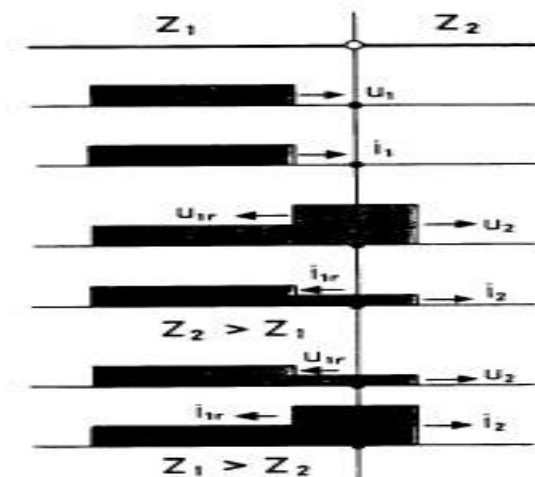
*Impacto sobre cabo para-raios: "back-flashover."

$$v = 1 / \sqrt{L \cdot C}$$



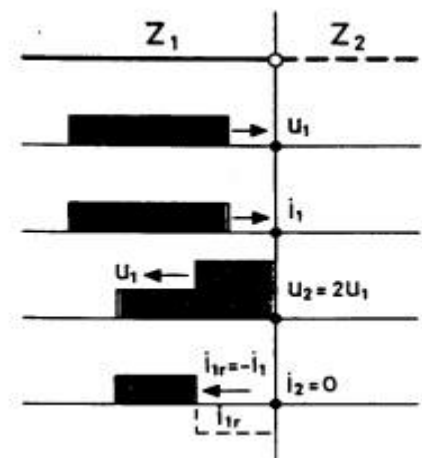
Passando a um meio com outra impedância de onda

transformador: Z_2 infinito



$$u_2 = u_1 \frac{2Z_2}{Z_1 + Z_2}$$

$$u_{tr} = u_1 \frac{Z_2 - Z_1}{Z_1 + Z_2}$$

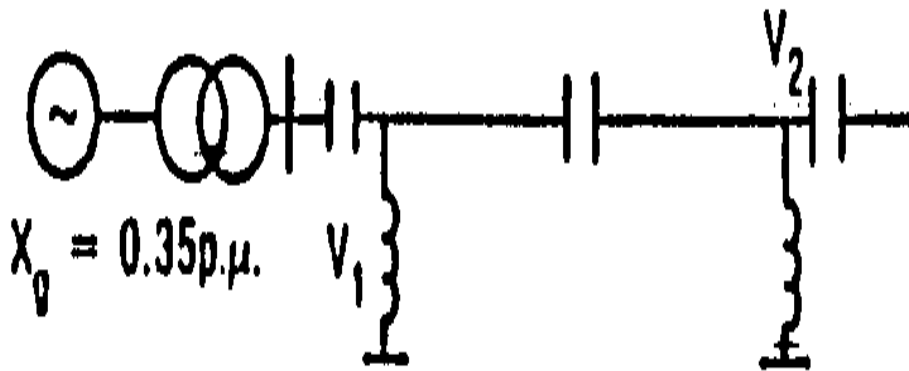


SOBRETENSÕES TEMPORÁRIAS

- 50-60 Hz e harmônicos.
 - Sustentadas e pouco amortecidas
 - Amplitude $< 1,5$ P.U.
 - Duração de poucos ciclos a segundos dependendo do sistema de controle de tensão
-
- ✓ Exemplos de causas
 - Perda súbita de carga
 - Faltas para a terra desbalanceadas
 - Desconexão de cargas indutivas
 - Conexão de cargas capacitivas
 - Energização de linhas em vazio

PERDA SÚBITA DE CARGA

- Linha com maior parte da energia de gerador é desligada.
- Geradores aceleram e a tensão sobe
- Depende de comprimento, potencia de curto circuito e grau de compensação
- ✓ Mais malhado = menores sobretensões



1,2,3 - Emissor 1', 3' - Receptor
 1-1' - Sem compensação
 . / 3' - 50% compensação capacitativa série / 50% capacitativa série + 70% de indutiva em derivação

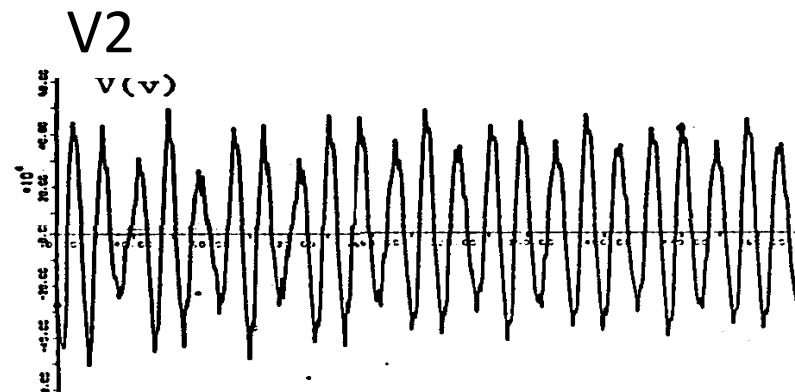
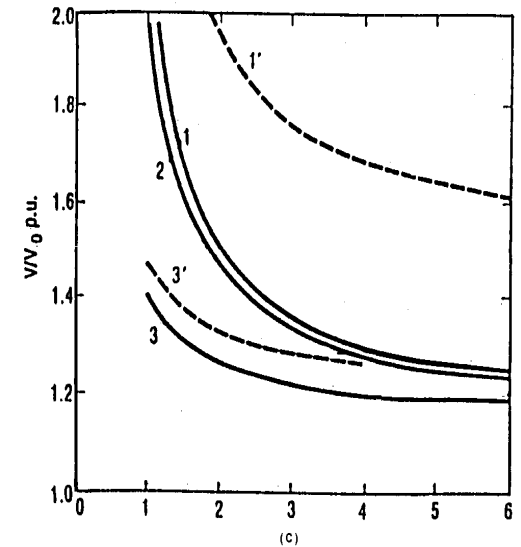
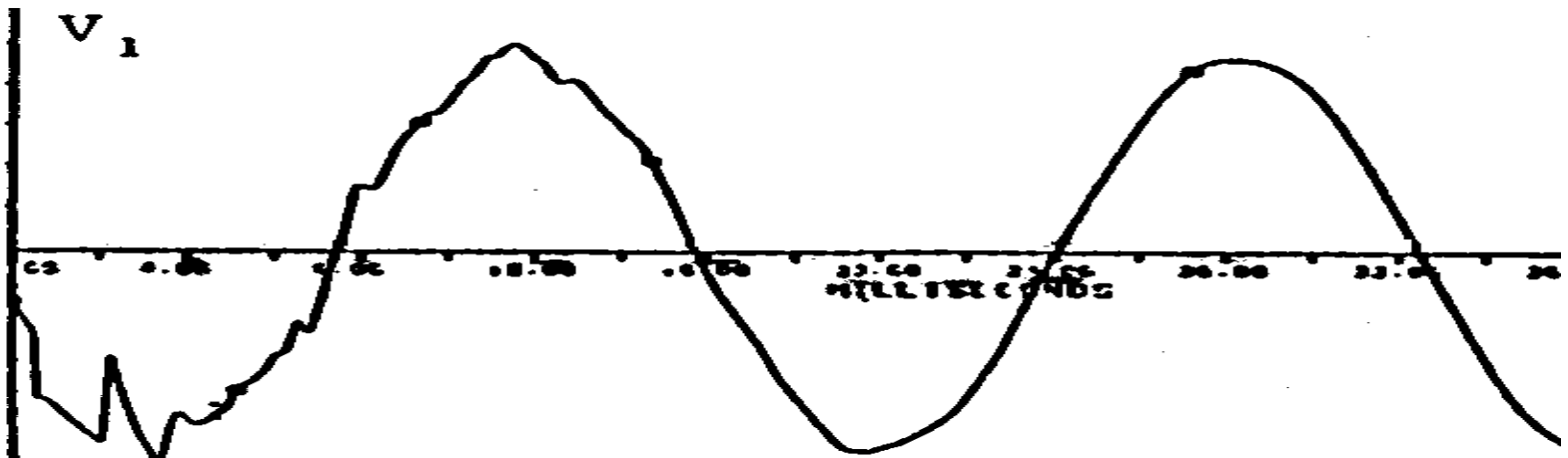


Fig. 4.4

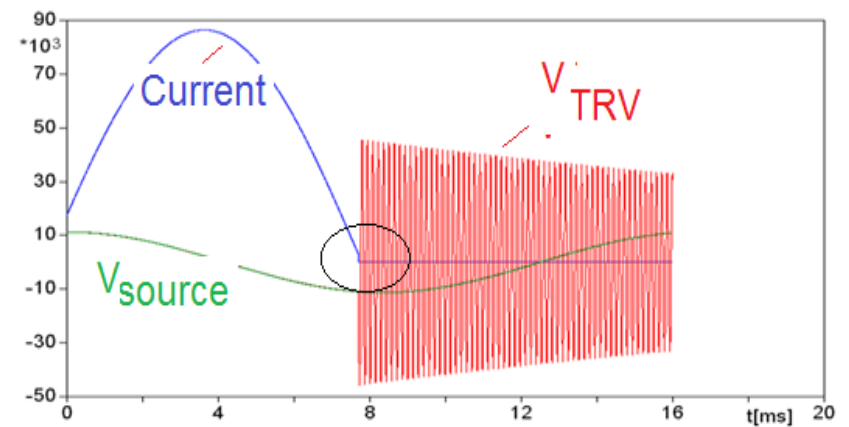
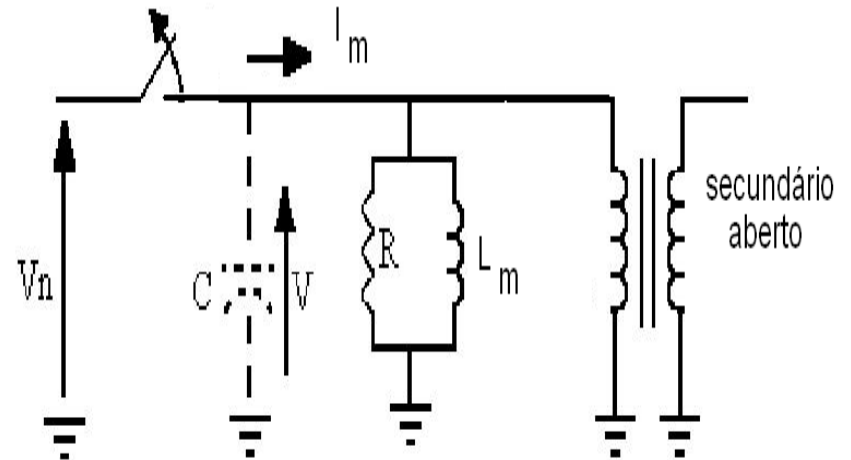
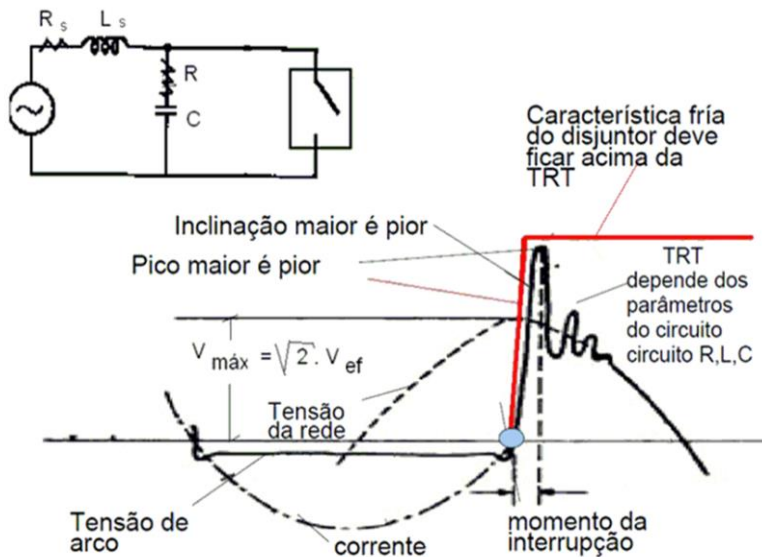
FALTAS PARA A TERRA DESBALANCEADAS

- ✓ Falta fase-terra em uma das fases causa elevação da tensão nas fases vizinhas (boas)
- ✓ Sistemas isolados: tensão fase-terra nas fases boas pode superar a tensão fase-fase
- ✓ Sistemas solidamente aterrados: tensão sobe mas permanece menor que tensão fase-fase.



INTERRUPÇÃO DE CORRENTES INDUTIVAS

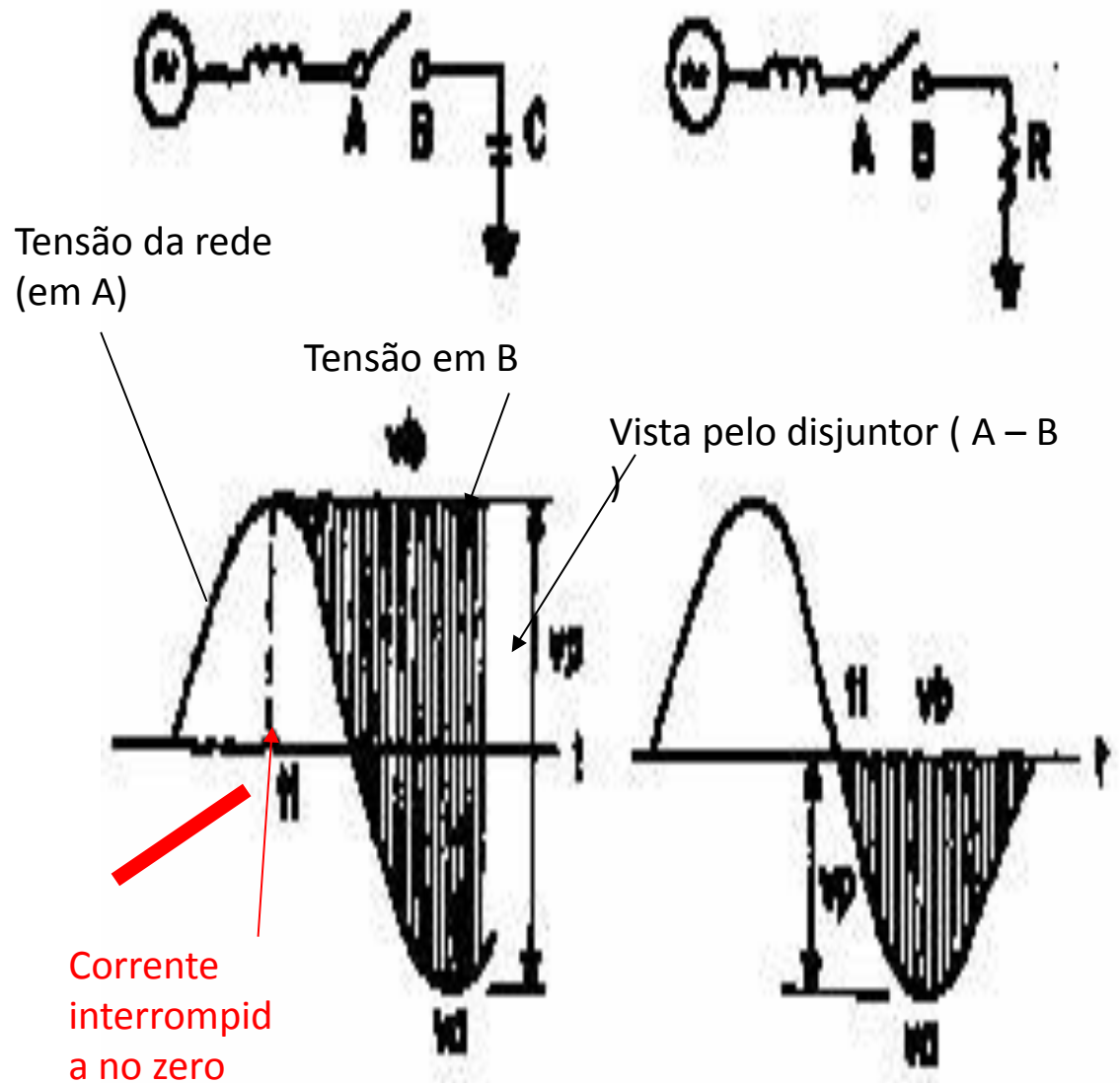
Pequenas correntes indutivas de transformadores
 $I_m : 0,5 \text{ a } 5\% \text{ de } I_n$



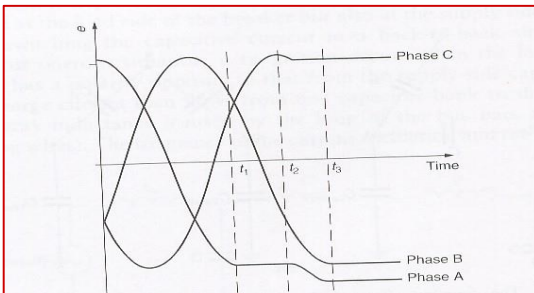
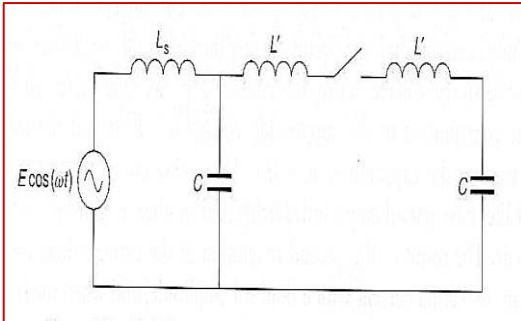
INTERRUPÇÃO DE CORRENTES CAPACITIVAS (cabos, capacitores, ...)

-TRT cresce lentamente facilitando a interrupção mas $V_{\text{pico}} = 2 \text{ pu}$ pode provocar reacendimento. do arco se não há suficiente separação dos contatos, reconectando a capacitância C à fonte

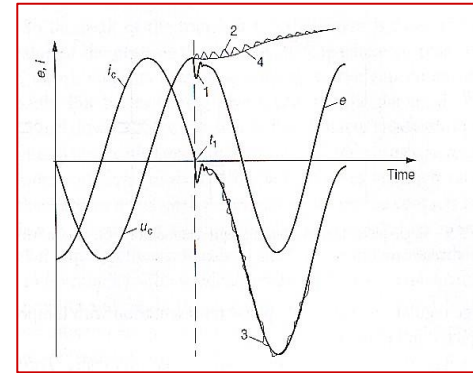
-Se uma nova interrupção acontece próxima do zero de corrente, $|V_{\text{pmáx}}|$ pode chegar a 4 pu, e até a explosão.



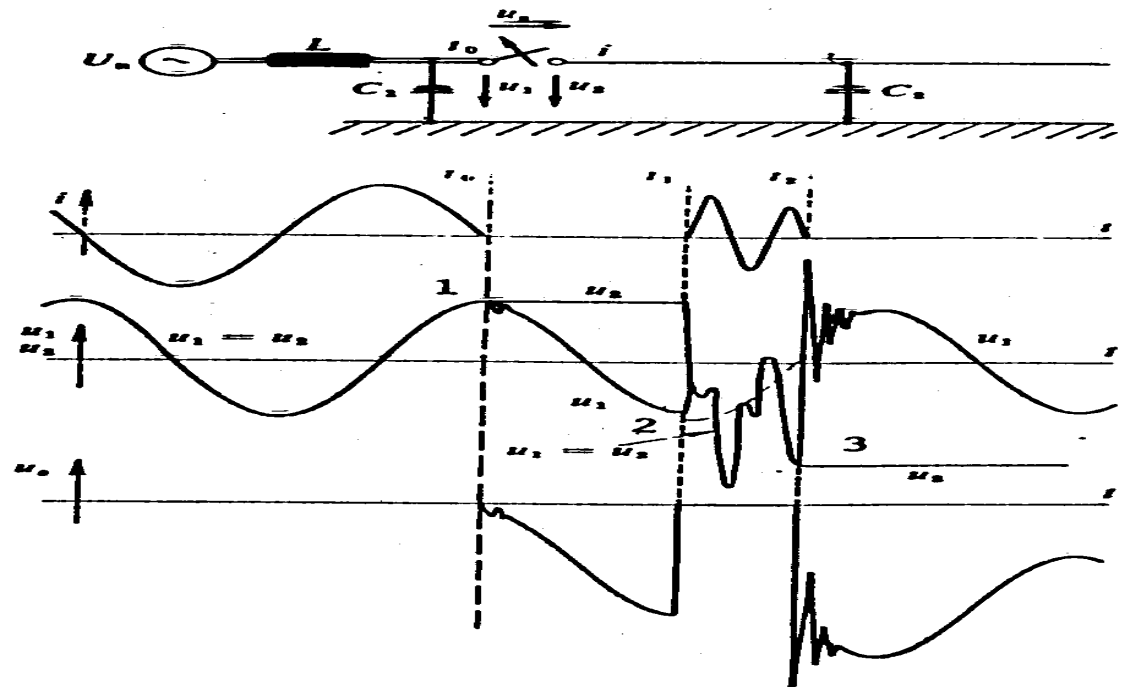
Abertura de capacitores “back-to-back”



Abertura de linha em vazio



Reignição



INTERRUPÇÃO DE FALTAS EM LINHAS CURTAS

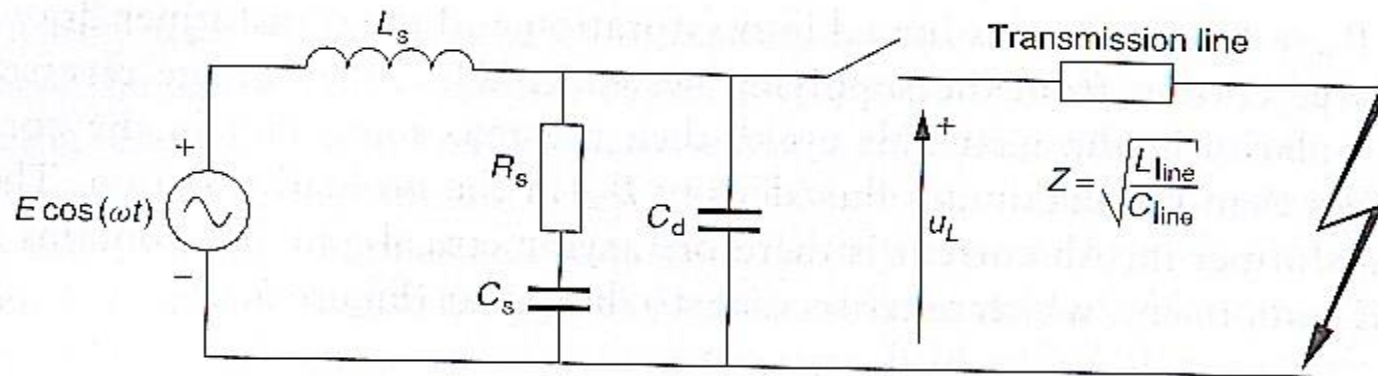
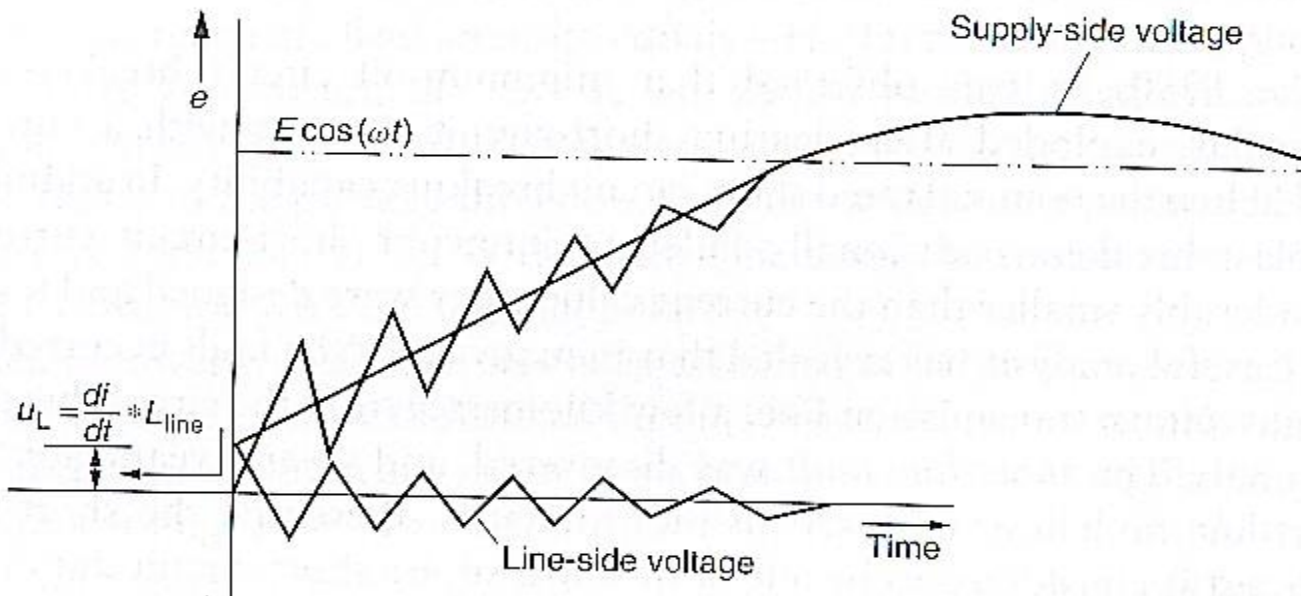
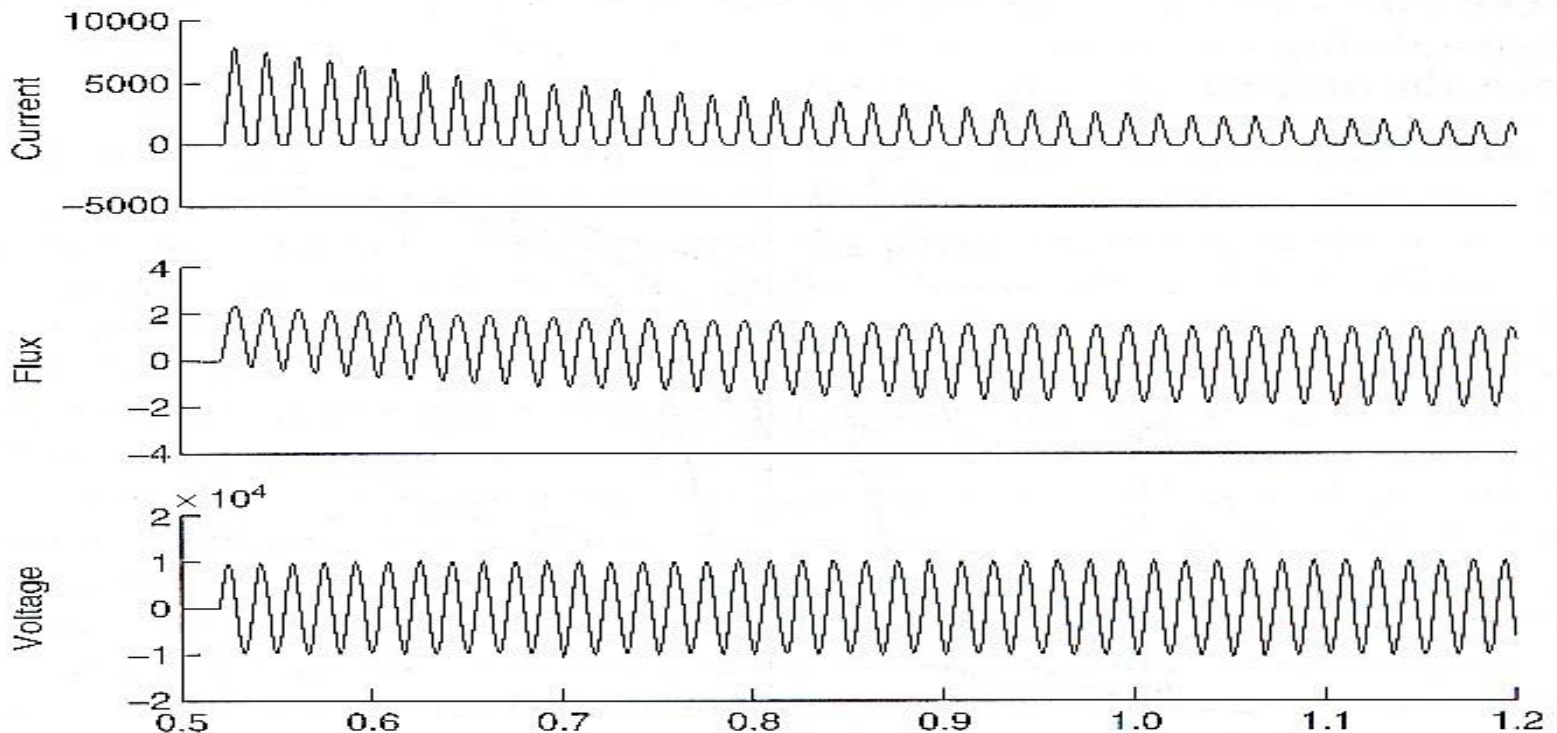
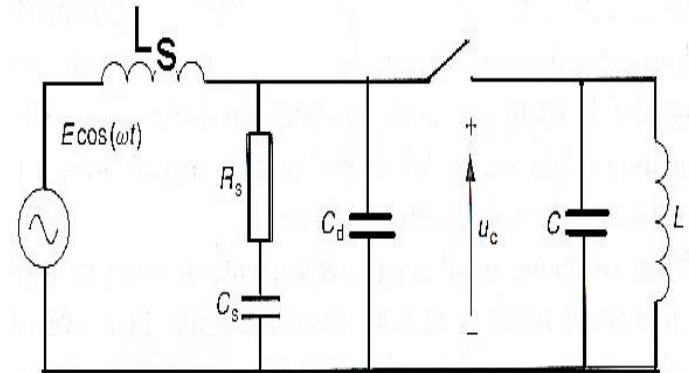


Figure 5.13 The short-line fault

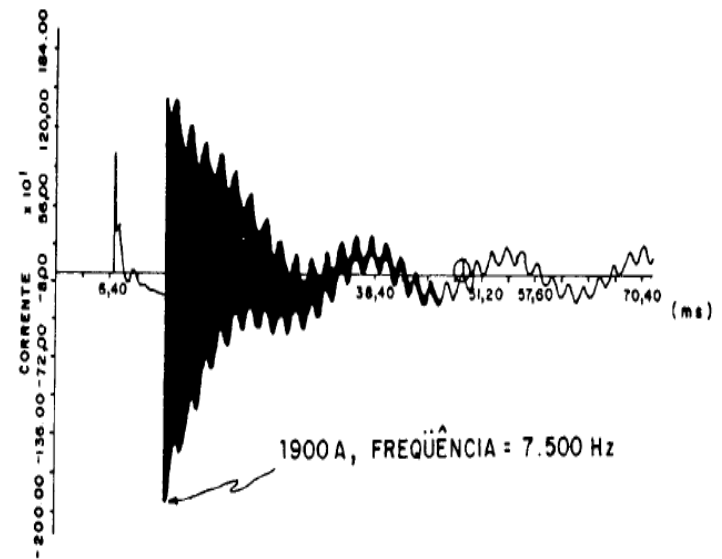
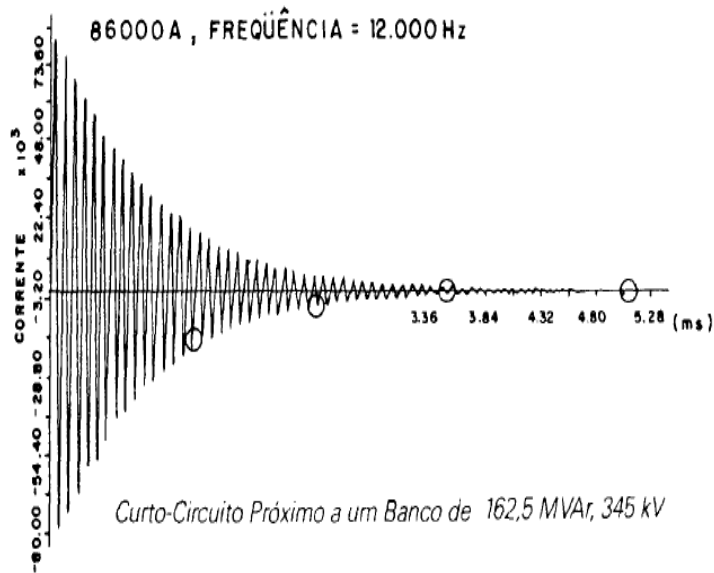
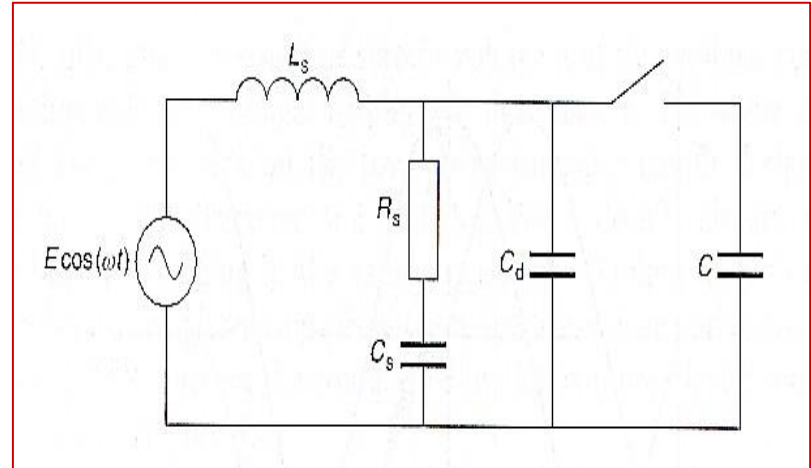
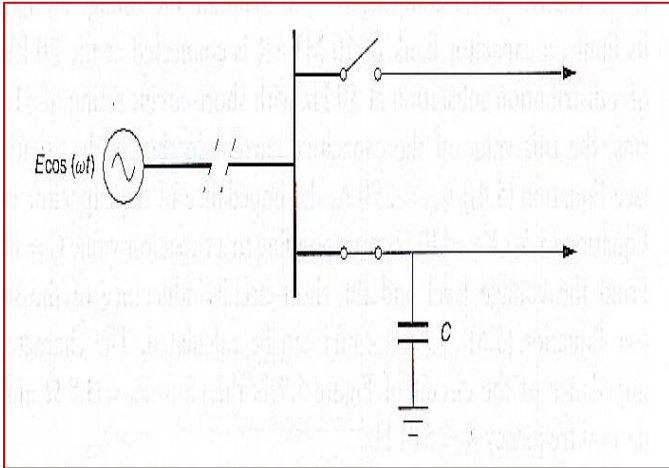


FECHAMENTO DE TRANSFORMADOR EM VAZIO - CORRENTES DE “INRUSH”

- Correntes até $4 I_n$
- Dependem do instante de fechamento e do fluxo remanescente antes do desligamento

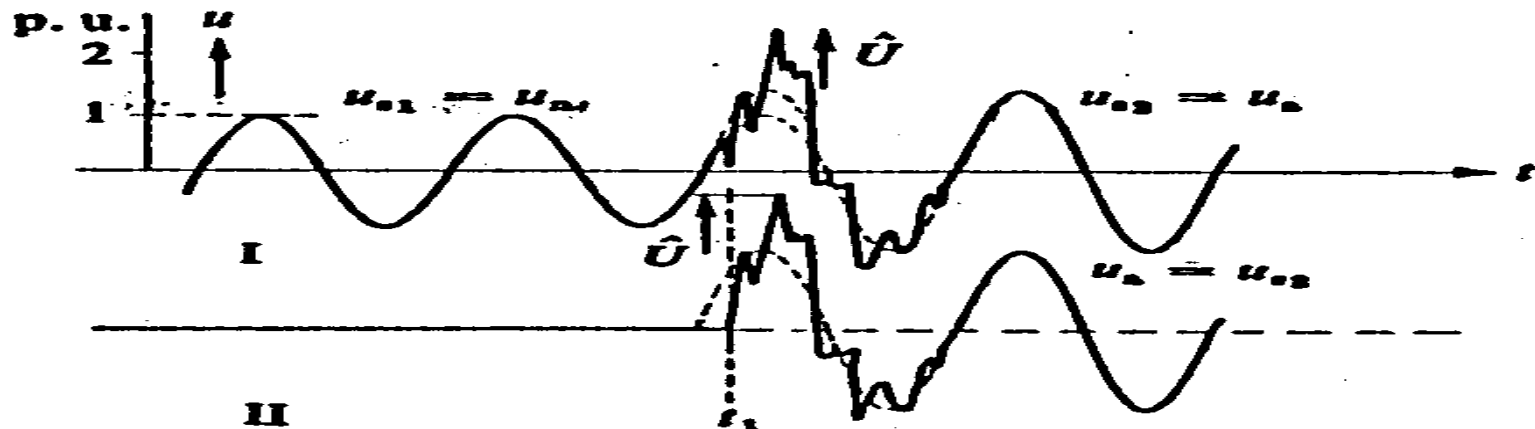
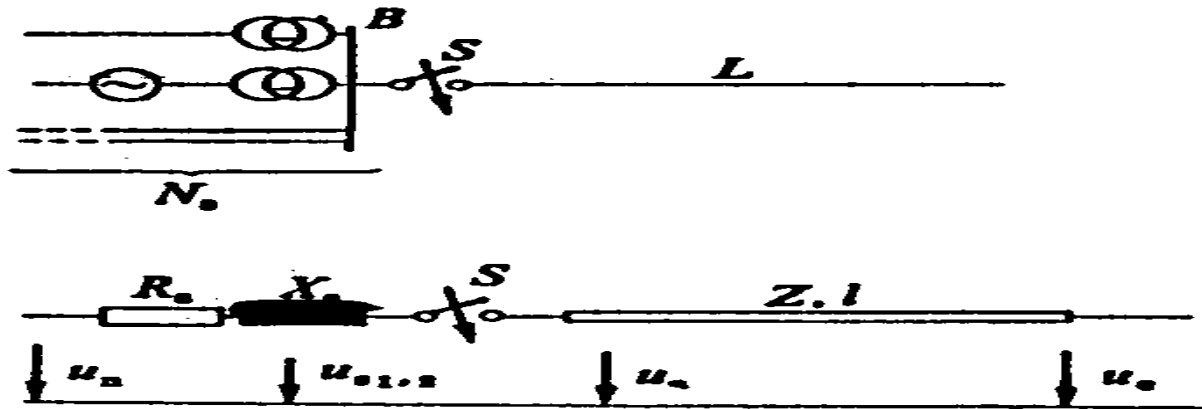


CORRENTES CAPACITIVAS DE “INRUSH”



ENERGIZAÇÃO DE LINHA EM VAZIO

Sobretensões após fechamento por acoplamento de fases.



DISPOSITIVOS DE CONTROLE DE SOBRETENSÕES

Resistores de Pre-Inserção:

- Reduzir sobretensões em manobras de energização e religamento de linhas (no fechamento)
- Reduzir amplitude das tensões de restabelecimento transitórias de disjuntores (se utilizados na abertura)
- Função da resistência e tempo de permanência.
- Preço do disjuntor é 20 a 30 % maior (benefício / custo)

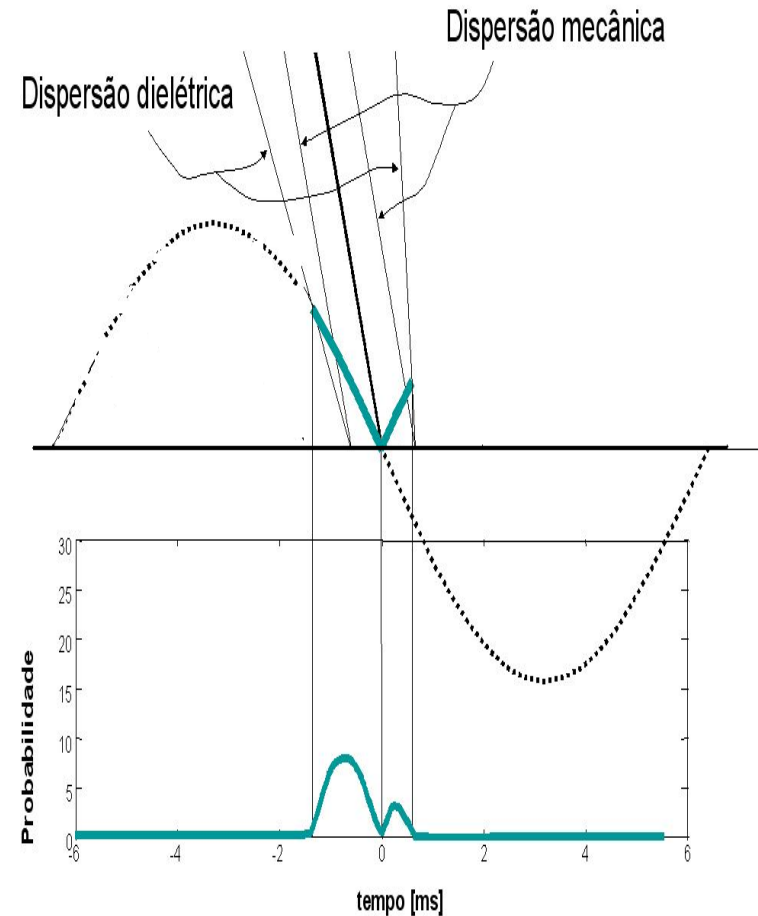
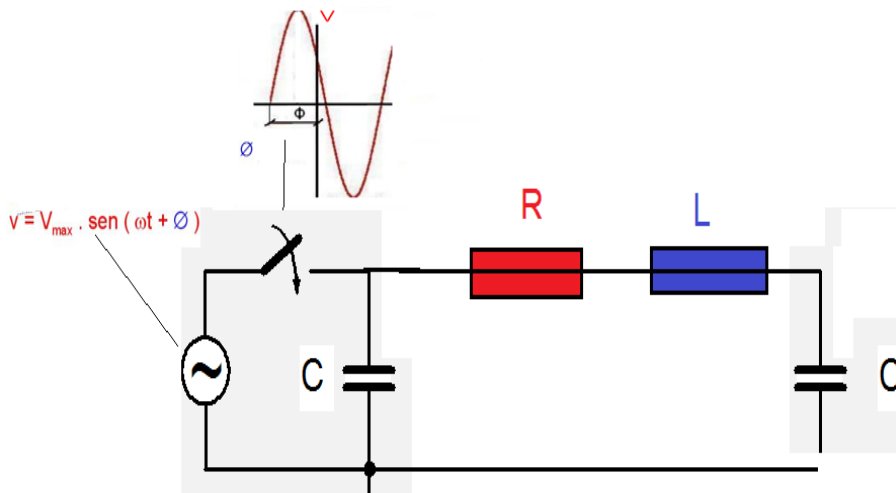
Pára-Raios : impedir sobretensões superiores àquelas para os quais os equipamentos foram projetados.

Capacitores nos Terminais de Disjuntores: reduzir taxa de crescimento da T.R.T.

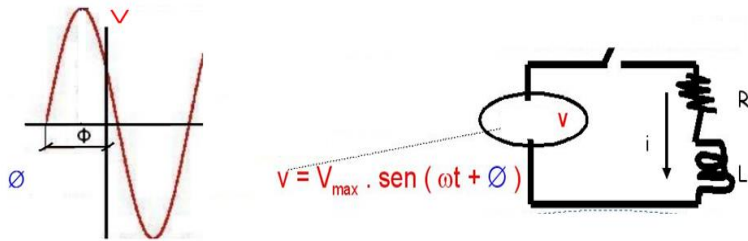
Blindagem de Linhas e Subestações contra Descargas Atmosféricas(cabos pára-raios e hastes de proteção): evitar incidência direta nos condutores

SINCRONIZADORES: redução da sobretensão ou sobrecorrentes por controle do ângulo de fechamento na tensão.

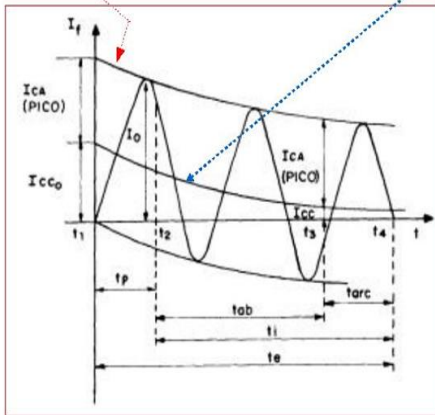
- Energização de linhas em vazio
- Energização de bancos de capacitores
- Evitar correntes de "inrush" em transformadores



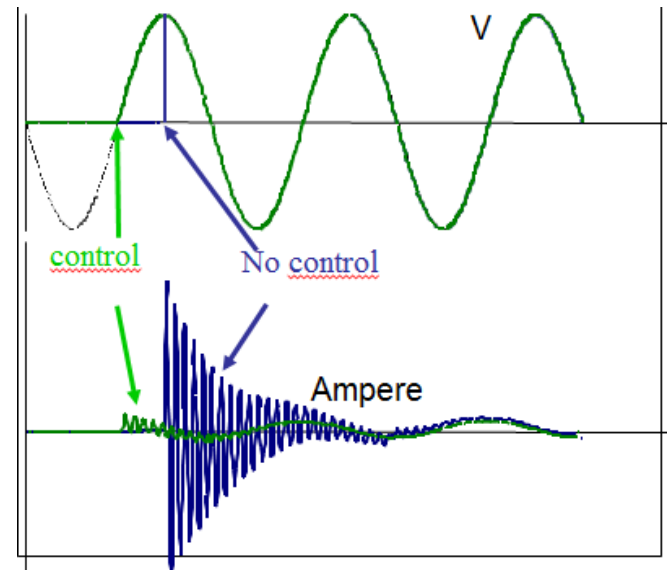
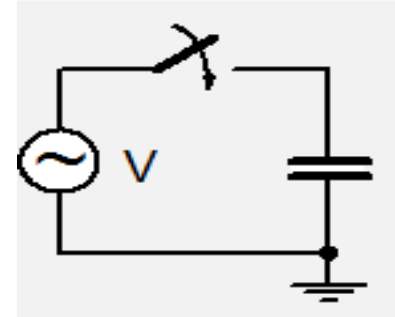
Reduzir a assimetria das corrente de curto circuito indutivo
(menor primeira crista = menores efeitos eletrodinâmicos)



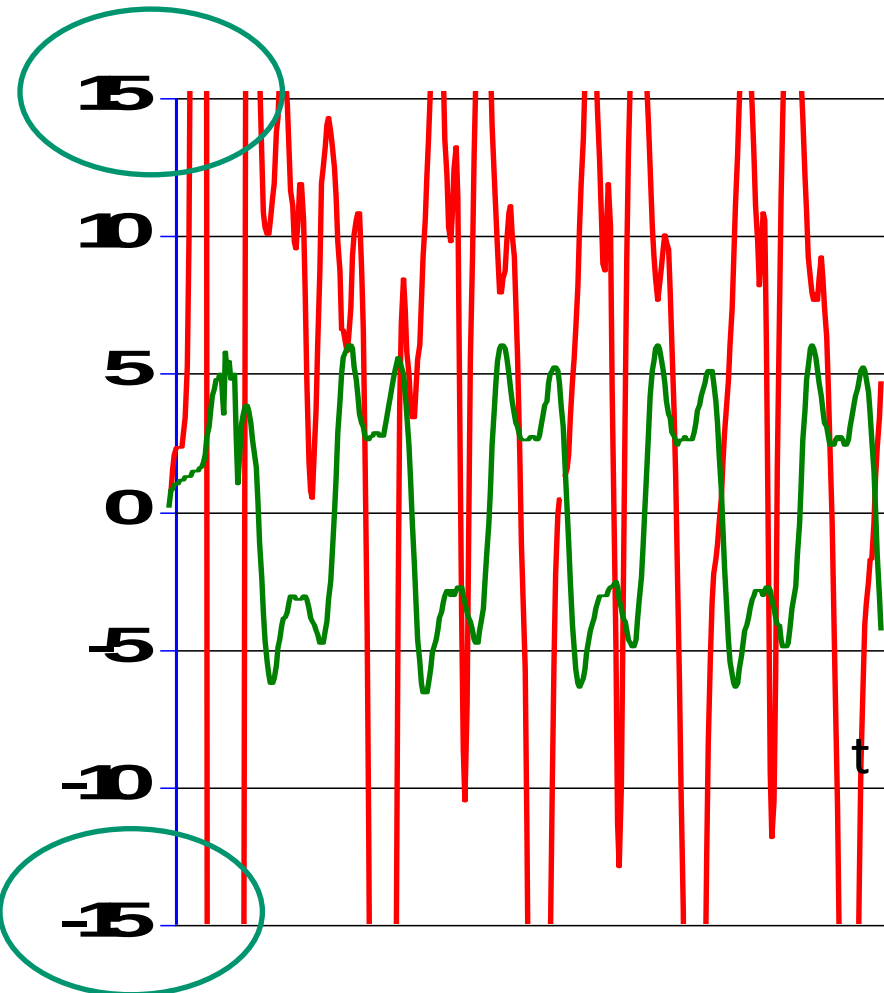
$$i = I_{\max} \times \sin(\omega t + \phi - \alpha) - I_{\max} \times e^{-t/\sigma} \times \sin(\phi - \alpha)$$



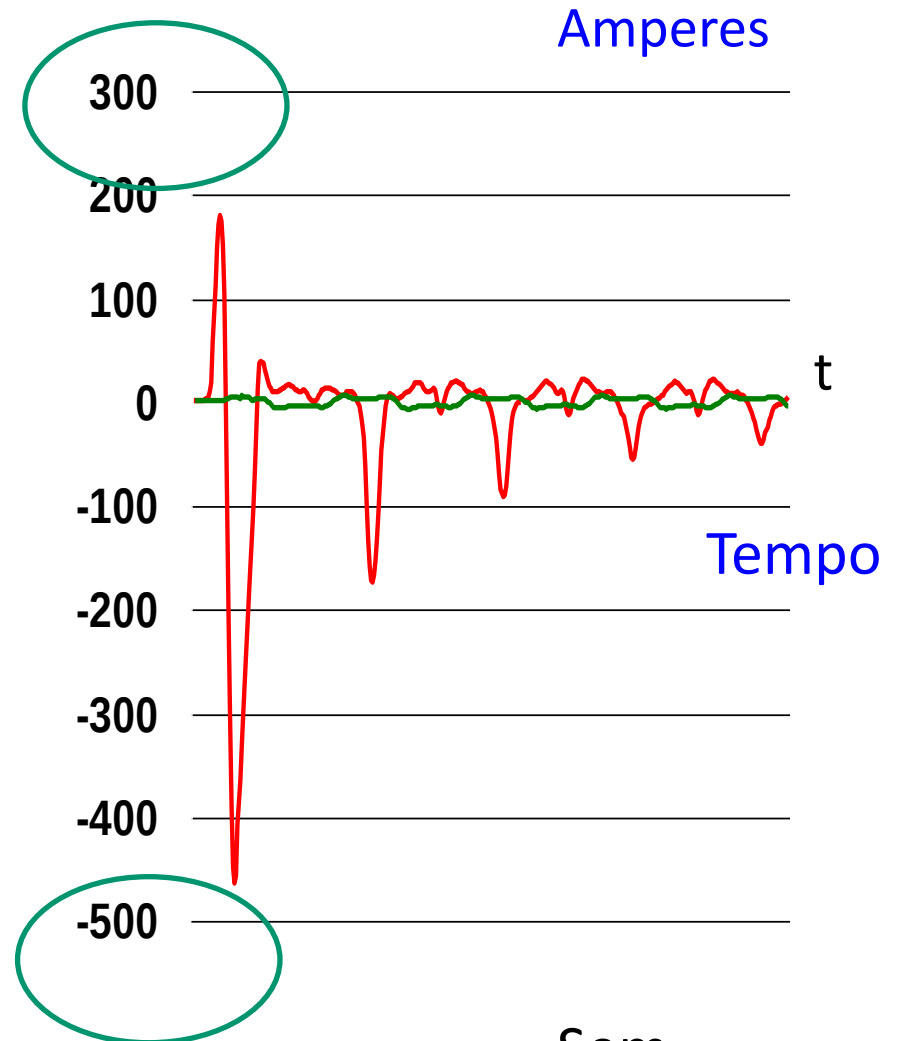
Energização de banco de capacitores



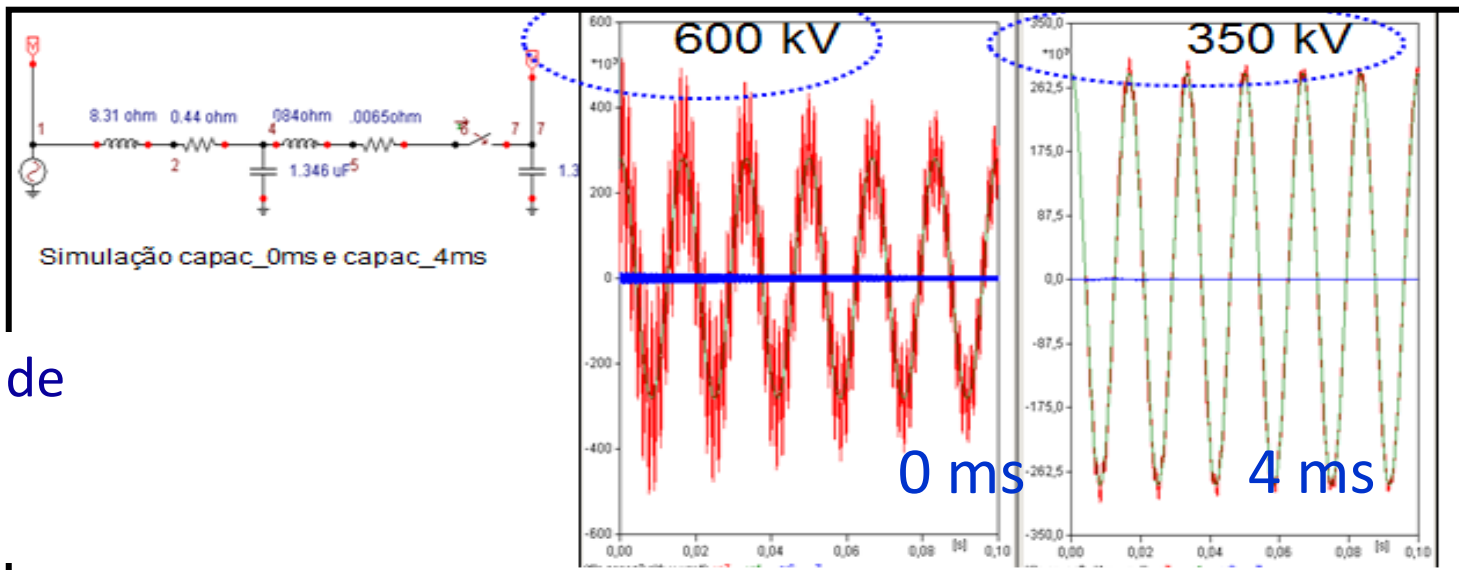
CORRENTES DE INRUSH EM TRANSFORMADORES



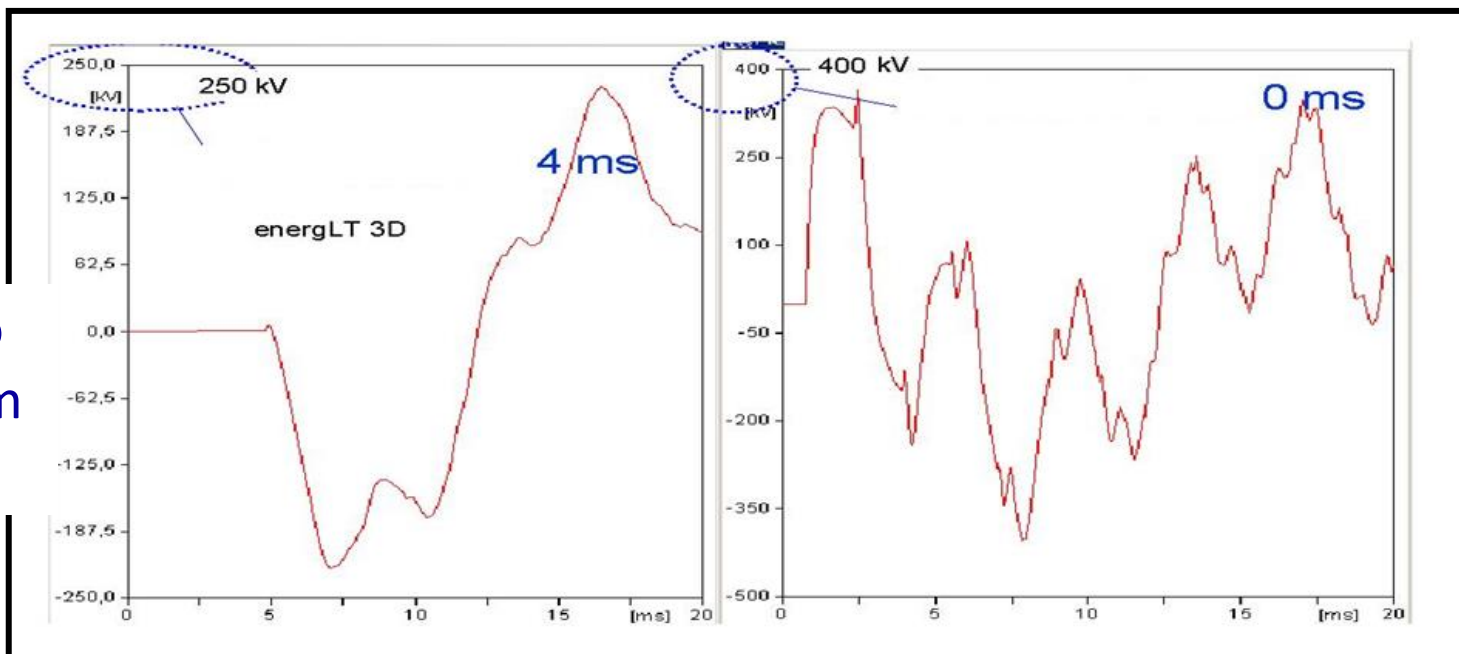
Com
controle



Sem
controle



Energização de
banco de
capacitores



Energização
de linhas em
vazio

ISOLAMENTOS (IEC 60071)

Auto – recuperantes

- distancias entre fases no ar
- Parte externa / isoladores de pedestal)

Não auto - recuperantes

- Papel impregnado a óleo de transformadores
- Parte interna de buchas

Distancias de escoamento (kV / mm)

- Seleccionadas com base na tensão máxima de operação, poluição, umidade e densidade do ar

ISOLAMENTO (IEC 60071)

Tensão suportável

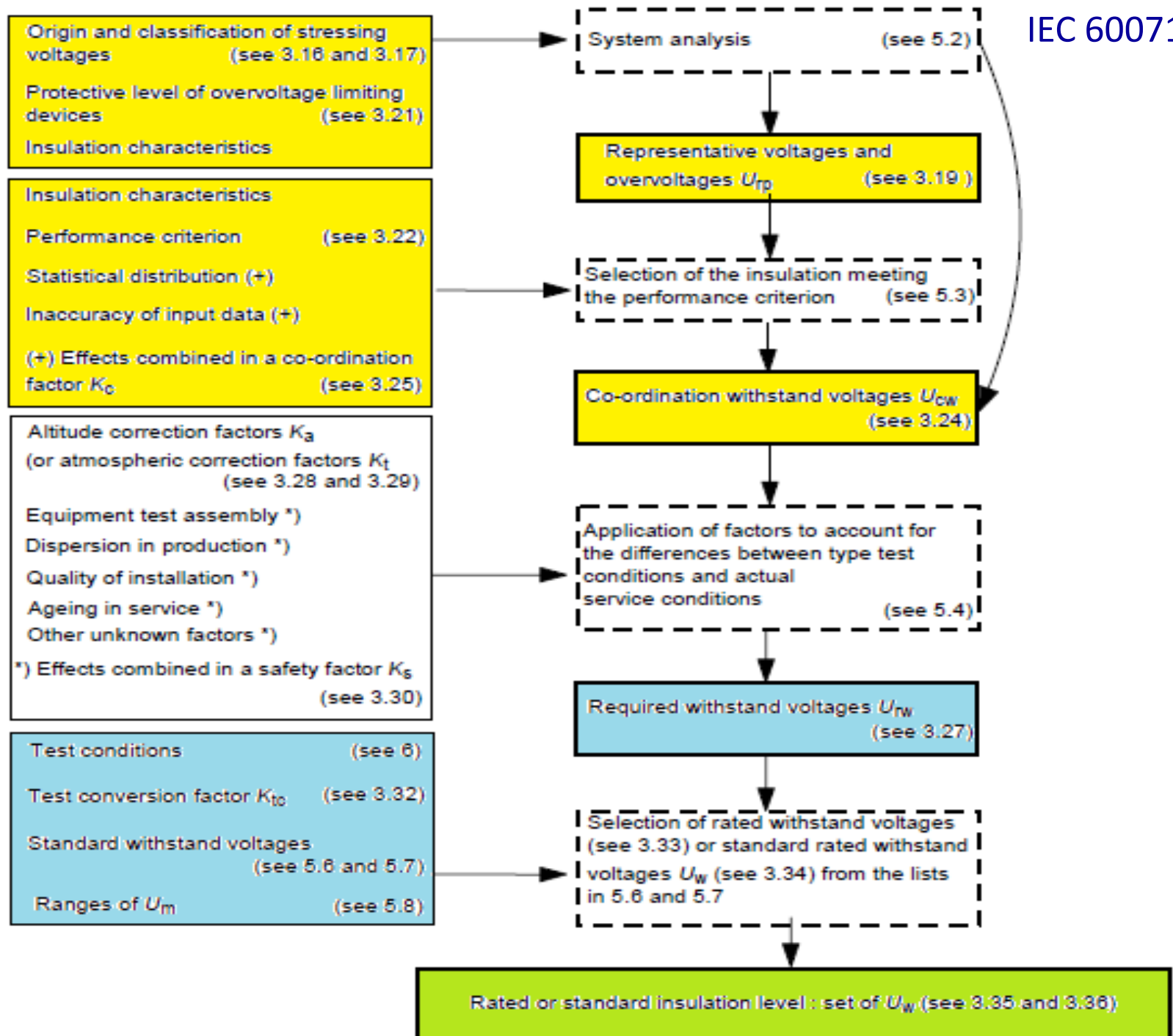
Tensão a ser aplicada em ensaio durante o qual um numero especificado de descargas disruptivas é tolerado. A tensão suportável é designada como:

- a) **convencional**, quando o numero de descargas toleradas é zero (probabilidade de suportar $P_w = 100 \%$)
- b) **estatística**, quando o numero de descargas toleradas é relacionado com uma probabilidade de suportabilidade especificada (nesta norma a probabilidade especificada é $P_w = 90 \%$.)

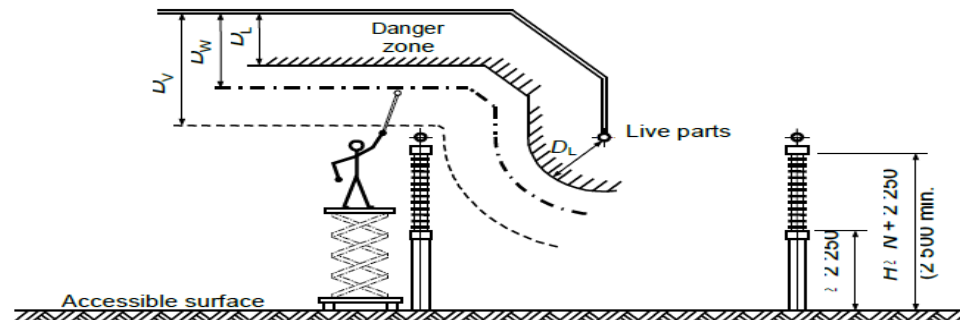
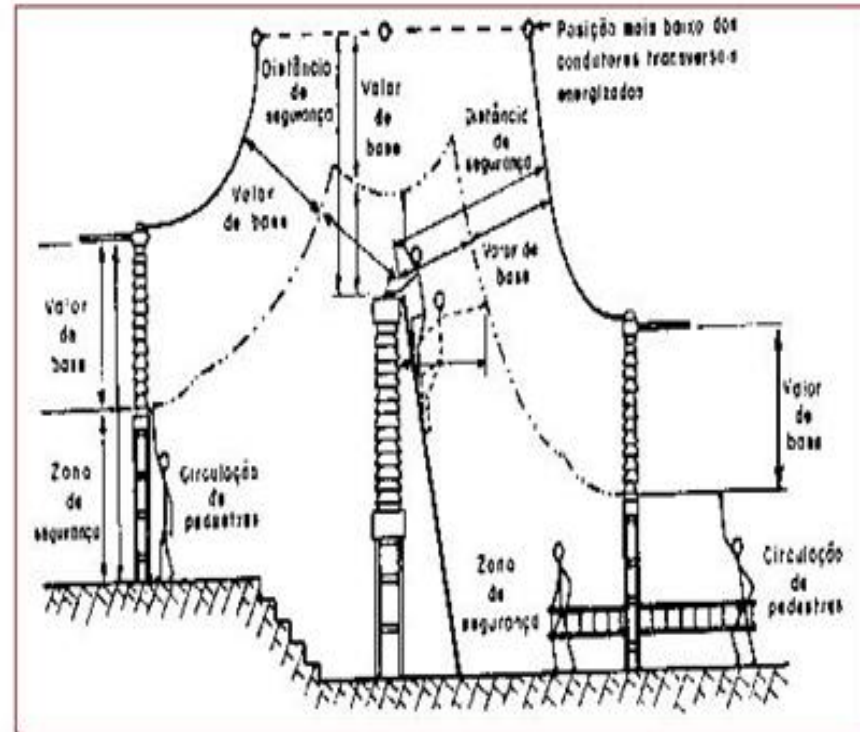
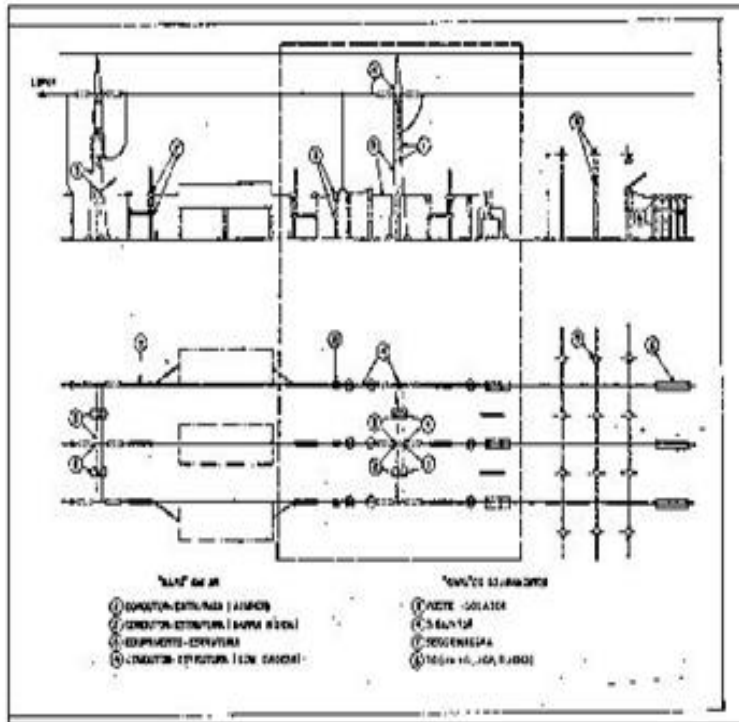
Para isolamentos não auto-recuperantes são especificadas tensões suportáveis “convencionais” e para os auto-recuperantes são especificadas tensões suportáveis “estatísticas”.

COORDENAÇÃO DO ISOLAMENTO

- **Determinação das sobretensões** : magnitude, duração e probabilidade de ocorrência (ATP, TNA,)
- **Seleção dos níveis de isolamento**
 - **Método convencional** sobretensões + margem de segurança (p.ex. 25%)
 - **Método estatístico**: selecionar um certo risco de falha
- **Ensaio dielétricos**
 - Frequência industrial
 - Impulso de manobra (250 x 2500 μ S)
 - Impulso atmosférico (1,2 x 50 μ S)
- **Uso de dispositivos de proteção para reduzir sobretensões**



ESPAÇAMENTOS E DISTÂNCIAS DE SEGURANÇA (IEC 61936)



$$\begin{aligned}
 D_L &= N \\
 D_V &= N + 1\,000 \text{ for } U_n \leq 110 \text{ kV} \\
 D_V &= N + 2\,000 \text{ for } U_n > 110 \text{ kV} \\
 D_W &= \text{according to national standards or regulations} \\
 N &= \text{minimum clearance}
 \end{aligned}$$

IEC 61936-1 POWER INSTALLATIONS EXCEEDING 1 kV AC – Part 1: Common rules

5.1.2 In the voltage range I ($1 \text{ kV} < U_m \leq 245 \text{ kV}$) the choice shall be based on the rated lightning impulse withstand voltages and the rated short-duration power-frequency withstand voltages of table 1; in the voltage range II ($U_m > 245 \text{ kV}$) the choice shall be based on the rated switching impulse withstand voltages and the rated lightning impulse withstand voltages given in table 2. Values of rated insulation levels not standardized by IEC but based on current practice in some countries are listed in annex A (tables A.1, A.2 and A.3).

5.3.3 In voltage range II (see table 2) the clearances in air are determined by the rated switching impulse withstand voltage (SIWV). They substantially depend on the electrode configurations. In cases of difficulty in classifying the electrode configuration, it is recommended to make a choice based on the phase-to-earth clearances of the most unfavourable configuration such as, for example, the arm of an isolator against the tower construction (rod-structure).

IEC 61936 - Power installations exceeding 1 kV AC – Part 1: Common rules

~ sobretensões temporárias

~ sobretensões de impulso

Tabela 1 – Distancias mínimas no ar –
Tensões nominais ($1 \text{ kV} < U_m \leq 245 \text{ kV}$) Apenas algumas linhas da tabela

Tensão nominal do sistema	Tensão máxima do sistema	Tensão suportável de curta duração frequência industrial	Tensão nominal suportável de impulso atmosférico	Mínima distância fase-terra e fase -fase N c	
U_n eficaz	U_m eficaz	eficaz	1,2/50 μs (valor de pico)	Instalação abrigada	Instalação externa
kV	kV	kV	kV	mm	mm
3	3,6	10	20 40	60 60	120 120
15	17,5	38	75 95	120 160	160 160
132	145	185 b 230 275	450 b 550 650	900 1 100 1 300	
220	245	275 b 325 b 360 395 460	650 b 750 b 850 950 1 050	1 300 1 500 1 700 1 900 2 100	

Valores aplicados em ensaios

Em equipamentos testados podem ser menores por exemplo p.ex: distancia entre polos de disjuntor

IEC 61936 - Power installations exceeding 1 kV AC – Part 1: Common rules

Table 2 – Minimum clearances in air – Voltage range II ($U_m > 245$ kV)

Voltage range	Nominal voltage of system	Highest voltage for equipment ^c	Rated lightning impulse withstand voltage ^a	Rated switching impulse withstand voltage	Minimum phase-to-earth clearance		Rated switching impulse withstand voltage	Minimum phase-to-phase clearance	
	U_n r.m.s.	U_m r.m.s.	1,2/50 μ s (peak value)	Phase-to-earth 250/ 2 500 μ s (peak value)	Conductor – structure	Rod – structure N	Phase-to-phase 250/ 2 500 μ s (peak value)	Conductor – conductor parallel	Rod – conductor
	kV	kV	kV	kV	mm		kV	mm	
II	275	300	850/950	750	1 600 1 700 ^b	1 900	1 125	2 300	2 600
			950/1 050	850	1 800 1 900 ^b	2 400	1 275	2 600	3 100
	330	362	950/1 050	850	1 800 1 900 ^b	2 400	1 275	2 600	3 100
			1 050/1 175	950	2 200	2 900	1 425	3 100	3 600
	380	420	1 050/1 175	850	1 900 2 200 ^b	2 400	1 360	2 900	3 400
			1 175/1 300	950	2 200 2 400 ^b	2 900	1 425	3 100	3 600
			1 300/1 425	1 050	2 600	3 400	1 575	3 600	4 200
	480	525 (550) ^c	1 175/1 300	950	2 200 2 400 ^b	2 900	1 615	3 700	4 300
			1 300/1 425	1 050	2 600	3 400	1 680	3 900	4 600
			1 425/1 550	1 175	3 100	4 100	1 763	4 200	5 000
	700	765 (800) ^c	1 675/1 800	1 300	3 600	4 800	2 210	6 100	7 400
			1 800/1 950	1 425	4 200	5 600	2 423	7 200	9 000
			1 950/2 100	1 550	4 900	6 400	2 480	7 600	9 400

FATORES DE CORREÇÃO DE ALTITUDE PARA NÍVEIS DE ISOLAMENTO

Max. Altitude (m)	Correction factor
1 000	1,00
1 500	1,06
2 000	1,13
2 500	1,20
3 000	1,28

FATORES DE CORREÇÃO DE ALTITUDE PARA ELEVAÇÃO DE TEMPERATURA

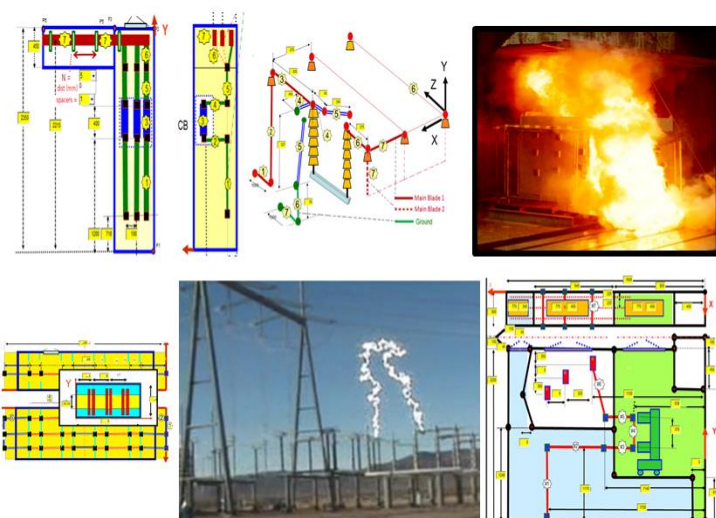
Max. Altitude (m)	Correction factor for rated current	Correction factor for temperature rise
1 000	1,00	1,00
1 500	0.99	0.98
3 000	0.96	0.92

FIM DO MODULO 2

PAINÉIS, BARRAMENTOS E SECCIONADORES

E

EQUIPAMENTOS DE SUBESTAÇÕES DE TRANSMISSÃO e DISTRIBUIÇÃO



MODULO 3:

CURTOS CIRCUITOS,
AMPACIDADES, SOBRECARGAS
E CONTATOS ELETRICOS

Efeitos das correntes e tensões sobre a durabilidade

Menores ou iguais aos valores nominais
(permanentes)



Envelhecimento “normal”

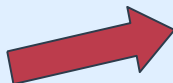
(p.ex. 20 anos)

Sobrecorrentes longa duração
(p.ex: 1,5 In por 120 segundos)



Elevações de temperatura moderadas: + envelhecimento

Sobrecorrentes curta duração
(p.ex: 20 In por 1 segundo)



Temperaturas altas > 180 ° C :
recozimento, fusão, empeno



Efeitos eletrodinâmicos:
forças ordem de tons danificam isoladores e condutores

Sobretensões

- longa duração (até dezenas de segundos)
- curta duração (micro-segundos)



Falha imediata ou +
envelhecimento dos
isolamentos

$$I^2 t \sim V^2 t$$

ELEVAÇÃO DE TEMPERATURA

- Suportabilidade de materiais, sobrecargas, envelhecimento e redução de vida útil .
- Aspectos de projeto que afetam resultados de ensaios de elevação de temperatura.
- Transformadores x sobrecargas

ESFORÇOS ELETRODINAMICOS

- Efeitos magnéticos eletrodinâmicos das correntes de curto circuito.
- Calculo das forças e tensões mecânicas e como evitar erros de projeto.
- Valores limites em condutores e isoladores.
- Ensaio de correntes suportáveis de curta duração e de crista

PROCESSOS DE INTERRUPÇÃO DE DISJUNTORES, FUSÍVEIS,

- Tecnologias: óleo, ar comprimido, SF6, vácuo

ALGUMAS EXPLICAÇÕES SOBRE O SOFTWARE DESENVOLVIDO PELO PALESTRANTE QUE SERÁ UTILIZADO PARA DEMONSTRAR CONCEITOS DE CALCULO E PROJETO

- Tela de entrada de dados de calculo e geometria
- Tela para apresentação de resultados
- Otimização de projetos
- Materiais utilizáveis

TELAS E APLICAÇÕES ESPECIFICAS PARA:

- Barramentos blindados
- Painéis de medias e baixas tensões
- Secionadores
- Fusíveis tipo expulsão e limitadores
- Transformadores de potencia

Projeto
selecionado

Tipo de teste
simulado

Clique para ver a
geometria referente
ao TIPO DE
PROJETO

Dados do projeto
selecionado
(linha azul da
esquerda)

Clique
ENTRADA DE
DADOS ou
RESULTADOS

Clique botão
NEW para
criar um novo
caso igual ao
que está na
tela (menos o
título)

Input data see3DVol Results

GEOMETRY www.cognitor.com.br

Click RESULTS to calculate

Check button to see the geometry

Type of test simulation

Electrodyn Forces Electromag Fields Temperature Rise Internal Arc

Select the project (click 2 times)

BusWay_3x150x10_CU_R_67131

BusWay_3x60x10_Al_IEC865_2

MTH_3x150x10_CU_R_67131

Select TYPE OF TEST

Insert BUSBARS, INSULATORS, CURRENTS, VOLTAGES, MATERIALS

Select PROJECT click twice in the line

Create NEW project

Select PROJECT TYPE

Switchgear type

LVSW_1 LVSW_2 MVSW_1 DUCT_1 SWITCH FUSE_1

N B x H IN (A) Pos

1-7 3 150 10 4000 V H

Conductor material

1-7 Copper

Busbars covering

Bare Painted

Main contacts or joints resistance ohmE-6

8

Enclosure material

Aluminum

Plate (mm)

3

Crest factor (first current peak)

2,5

Frequency (Hertz)

60

Sym SC current (kArms x s)

50 1

Rated voltage (V)

480

Fluid

Air

External temp. C

+ 40

Tipo de projeto (LVSW 1 & 2 = painel de baixa tensão, MVSW1 – painel de media tensão DUCT_1 = barramento, SWITCH = seccionador)

Numero atribuído a cada condutor #1 a #7 para mostrar os resultados

Geometria com dimensões (mm)

Condutores # 1 a 7 formados por 3 barras por fase 150x10 mm

Subdivisões nos condutores # 3 e 5 e correspondente distancia entre suportes

Corrente do ensaio de elevação de temperatura (A)

Barra na posição vertical ou horizontal

Material: cobre, alumínio, ...

Barra nua ou pintada

Resistencia das juntas ($\mu\Omega$)
Condutores #2,4 e 6

Tensão nominal (V)
Material do involucro
Fluido (ar, SF6, óleo ...)
Frequência
Corrente de curto (kA_{ef}),
duração (s) e fator de crista

Aberturas de ventilação
(IEC 60890)

Input data: see3DVol, Results, Calculator, Insulators, Materials

GEOMETRY Coords Thermol www.cognitor.com.br Decidix Switchgear

1-7 N x B x H IN (A) Pos

Conductor material: Copper

Busbars covering: Bare (selected), Painted

Main contacts or joints resistance ohmE-6: 8

Enclosure material: Aluminum

Plate (mm): 3

Crest factor (first current peak): 2.5

Frequency (Hertz): 60

Sym SC current ($kA_{rms} \times s$): 50

Rated voltage (V): 480

Fluid: Air

External temp. C: +40

Ventilation opening: Y (selected), N

Additional Watts in the compartment (except busbars, contacts): 0

Dimensions mm

conductor

joint

N = 5

dist (mm) 530

spacers = 1

175

280 x 600

6895

Y

5

3

X

152 = 250

350

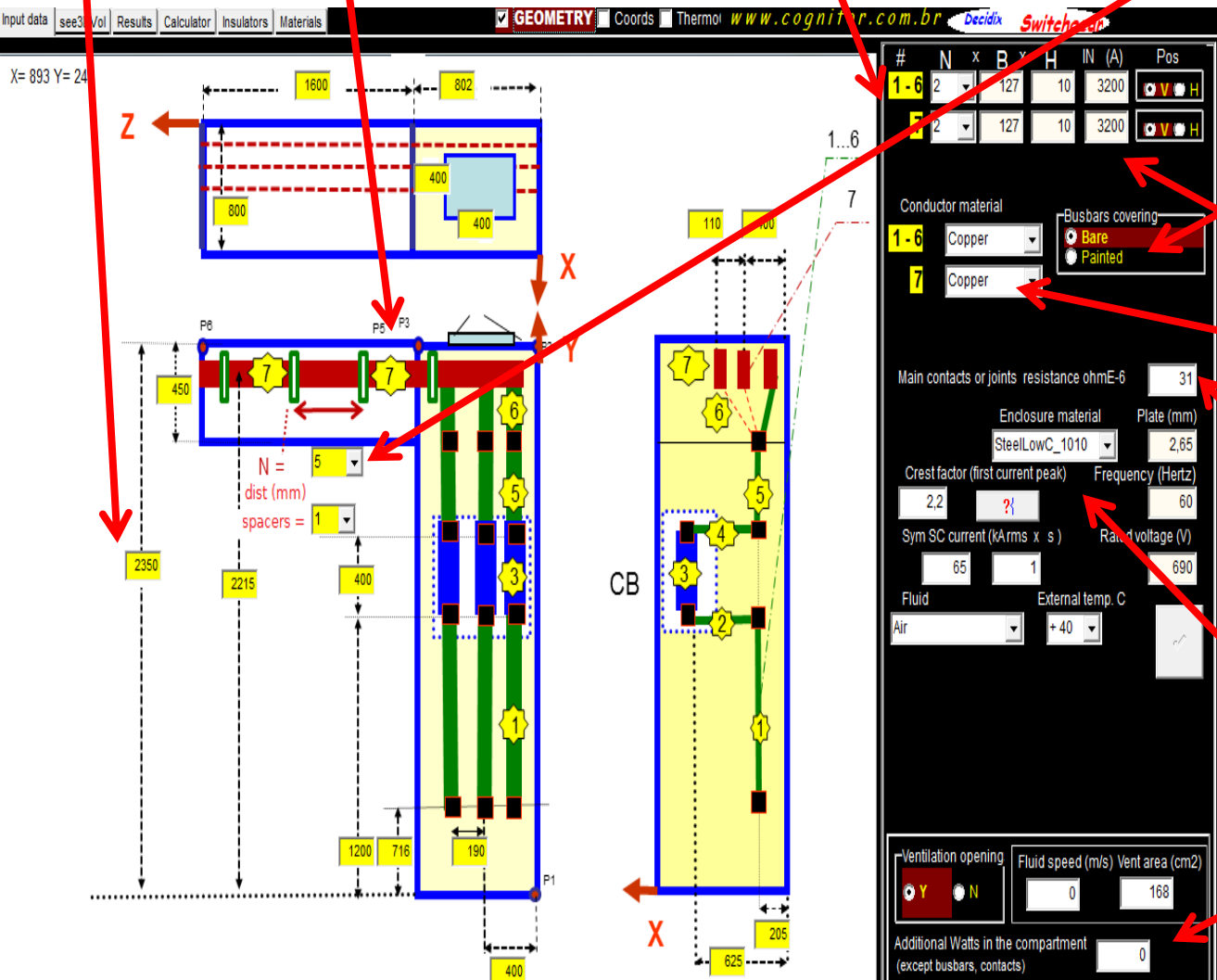
810

Numero atribuído a cada condutor #1 a #7 para mostrar os resultados

Geometria com dimensões (mm)

A linha superior é para os condutores # 1 a # 6, neste exemplo 2 barras por fase 127 x 10 mm
A segunda linha é para o condutor #7 que neste exemplo é 2 barras por fase 127 x 10 mm

Subdivisões no condutores # 7 correspondente distancia entre suportes (nos outros = 1)



Barra no posição vertical ou horizontal

Barra nua ou pintada

Corrente do ensaio de elevação de temperatura (A)

Material: cobre, alumínio, ...

Resistencia das juntas ($\mu\Omega$)
Condutores #2 + #3 + #4

Tensão nominal (V)
Material do involucro
Fluido (ar, SF6, óleo ...)
Frequência
Corrente de curto (kA_{ef}),
duração (s) e fator de crista

Area ventilação, potencia dissipada (IEC 60890)

Numero atribuído a cada condutor #1 a #7 para mostrar os resultados

A linha superior é para os condutores 1 to # 6, (1x100x10 mm) . A segunda é para o condutor #7 (2X127x10 mm)

Geometria com dimensões (mm)

Subdivisões no condutores # 7 correspondente distancia entre suportes (nos outros = 1)

Barra no posição vertical ou horizontal

Corrente do ensaio de elevação de temperatura (A)

Barra nua ou pintada

Material: cobre, alumínio, ...

Tensão nominal (V)
Material do involucro
Fluido (ar, SF6, óleo ...)
Frequência
Corrente de curto (kA_{ef}),
duração (s) e fator de crista

Área ventilação, potencia dissipada (IEC 60890)

The screenshot displays the COGNITOR LVSW_2 software interface. On the left, a 3D model of a switchgear is shown with dimensions and labels. On the right, a detailed input data form is visible, organized into sections for conductor data, enclosure material, and environmental conditions.

Input Data Form Details:

- Conductor Data:**
 - Conductor #1-6: N=1, B=100, H=1600, Pos=V, H
 - Conductor #7: N=2, B=127, H=3200, Pos=V, H
- Conductor Material:**
 - Conductor #1-6: Copper
 - Conductor #7: Copper
- Busbars covering:**
 - Bare (selected)
 - Painted
- Enclosure material:** SteelLowC_1010
- Plate (mm):** 2,65
- Crest factor (first current peak):** 2,2
- Frequency (Hertz):** 60
- Sym SC current ($kA_{rms} \times s$):** 65
- Rated voltage (V):** 690
- Fluid:** Air
- External temp. C:** +40
- Ventilation opening:** Y (selected), N
- Fluid speed (m/s):** 0
- Vent area (cm²):** 168
- Additional Watts in the compartment (except busbars, contacts):** 0

Numero atribuído a cada condutor #1 a #7 para mostrar os resultados

Geometria com dimensões (mm)

Primeira linha com condutores # 1 to # 6 (2x63,5x10 mm). Segunda linha é o condutor #7 (1x100x10 mm)

Corrente do ensaio de elevação de temperatura (A)

Barra no posição vertical ou horizontal

Barra nua ou pintada

Material: cobre, alumínio, ...

Resistencia do disjuntor ($\mu\Omega$)
Condutores #4 + #5 + #6

Tensão nominal (V)
Material do involucro
Fluido (ar, SF6, óleo ...)
Frequência
Corrente de curto (kA_{ef}),
duração (s) e fator de crista

Área ventilação, potencia dissipada (IEC 60890)

Input data see3DV Results Calculator Insulators Materials

GEOMETRY Coords Thermol www.cognitor.com.br Decidix Switchgear

Table of conductor data:

#	N	x	B	x	H	IN (A)	Pos
1-6	2		63,5		10	1250	☒ V ☐ H
7	1		100		10	1250	☒ V ☐ H

Conductor material:
1-6 Copper
7 Copper

Busbars covering:
☒ Bare ☐ Painted

Main contacts or joints resistance ohmE-6: 80

Enclosure material: SteelLowC_1010 Plate (mm): 2,65

Crest factor (first current peak): 2,5 Frequency (Hertz): 50

Sym SC current (kArms x s): 31,5 1 Rated voltage (V): 13800

Fluid: Air External temp. C: +40

Ventilation opening: ☒ Y ☐ N

Additional Watts in the compartment (except busbars, contacts): 50

Numero atribuído a cada condutor #1 a #7 para mostrar os resultados

Geometria com dimensões (mm)

A linha superior corresponde aos condutores #1 a #3 (neste exemplo 1 x 40 x 12 mm. A segunda linha corresponde a condutores 4 a 7 (2 x 50 x 6 mm)

Corrente do ensaio de elevação de temperatura (A)

Barra no posição vertical ou horizontal

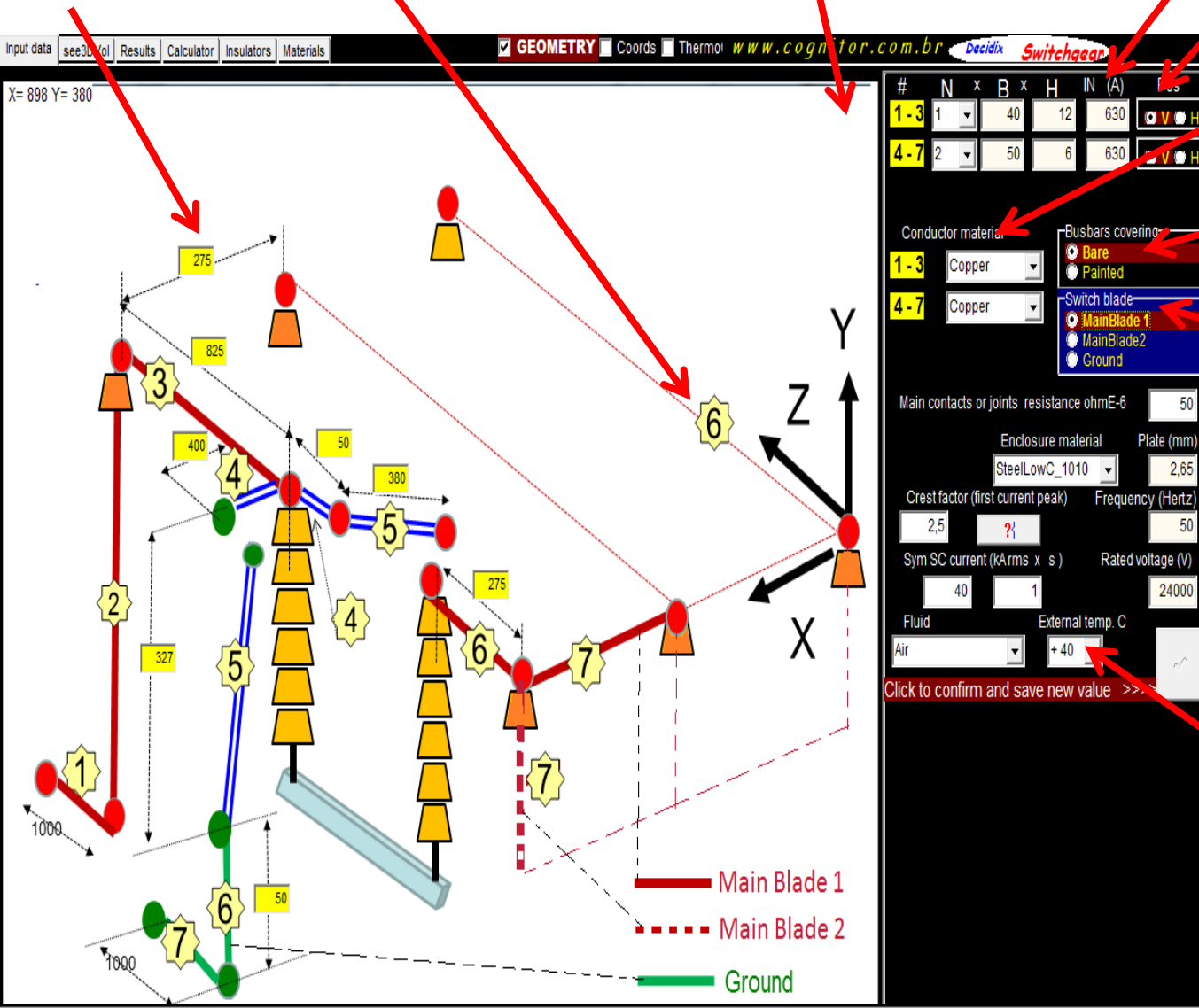
Material: cobre, alumínio,

Barra nua ou pintada

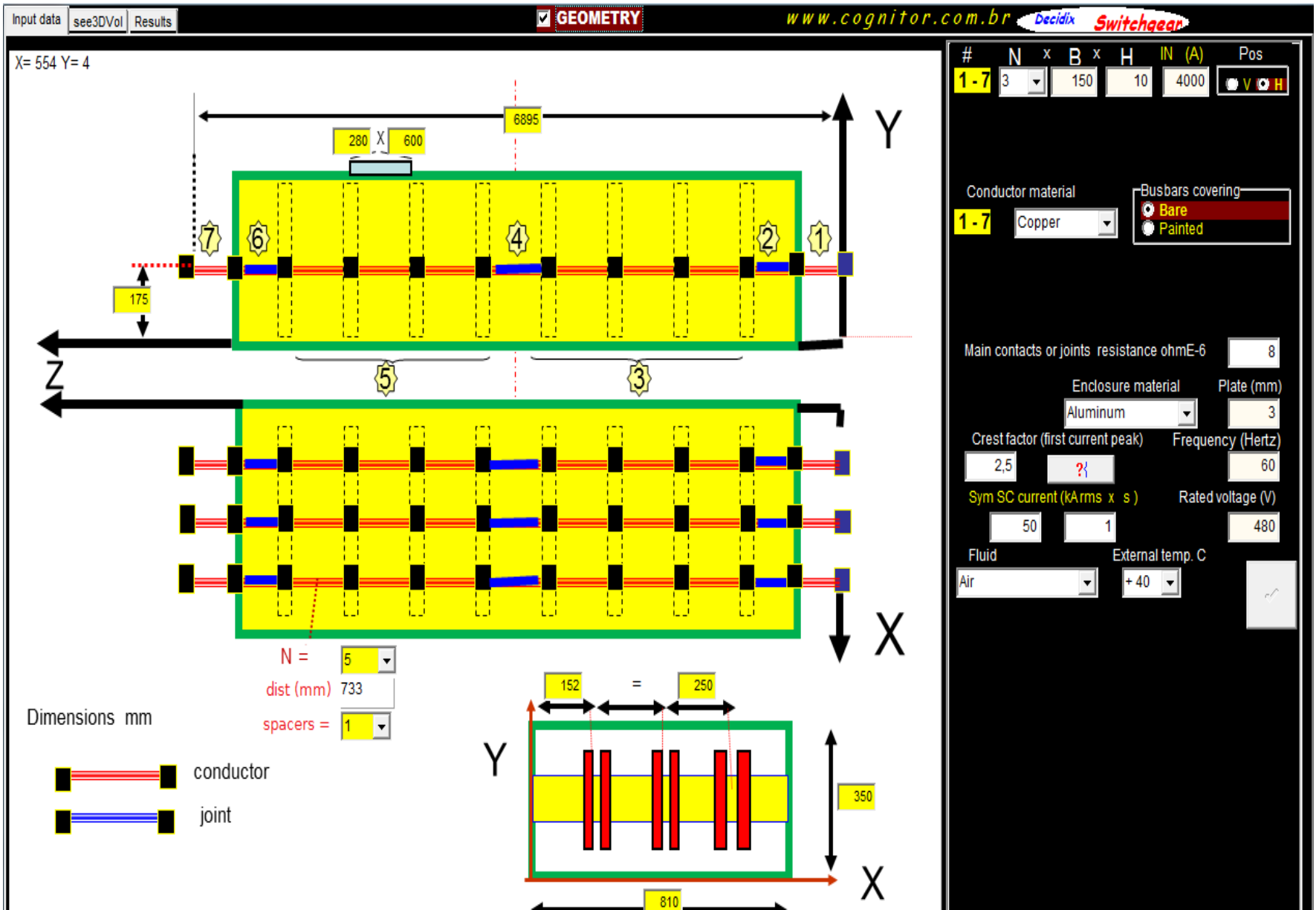
Selecione lamina a calcular

Resistencia vista dos terminais por fase ($\mu\Omega$)
Condutor #5

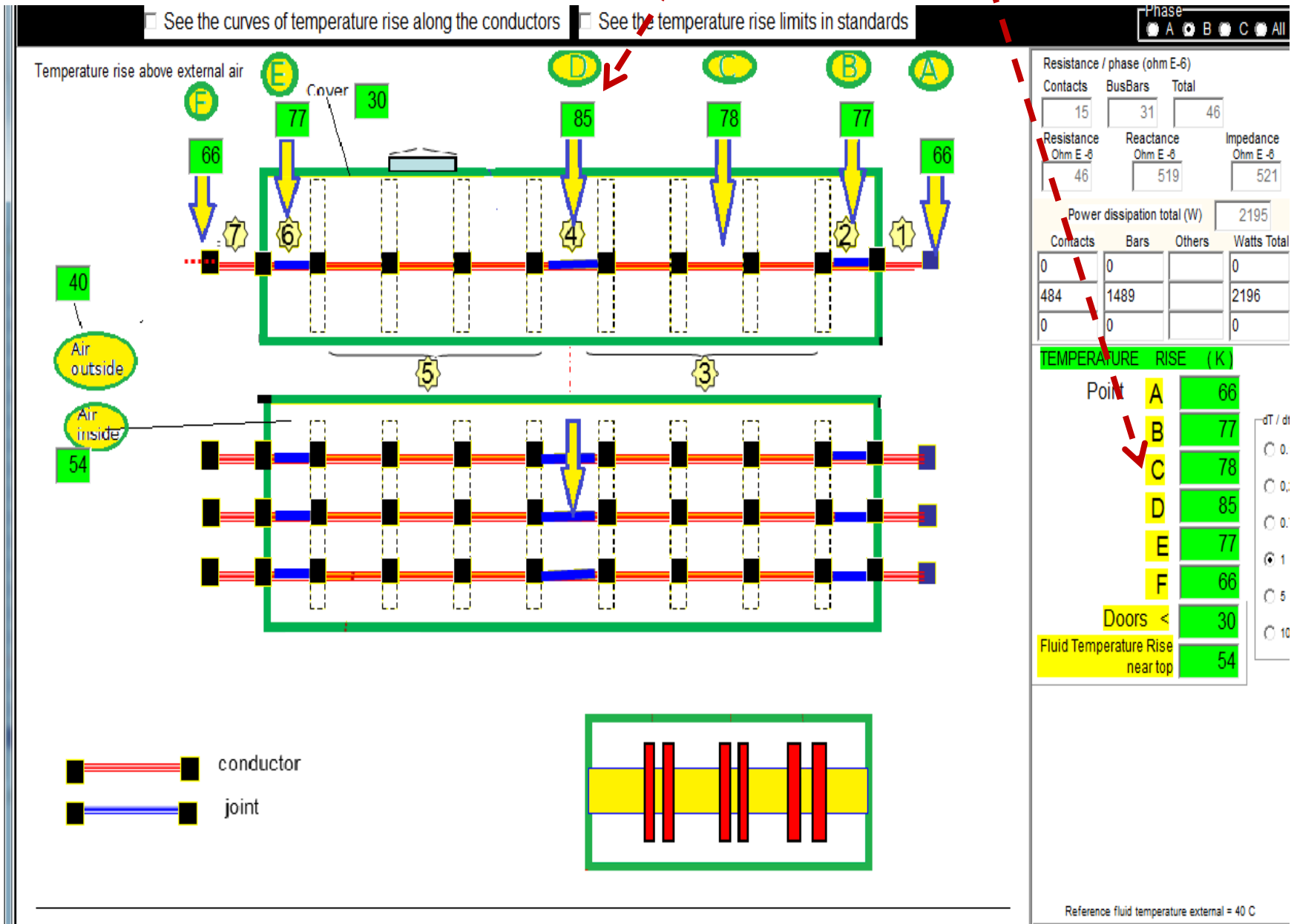
Tensão nominal (V)
Material do involucro
Fluido (ar, SF6, óleo ...)
Frequência
Corrente de curto (kA_{ef}),
duração (s) e fator de crista



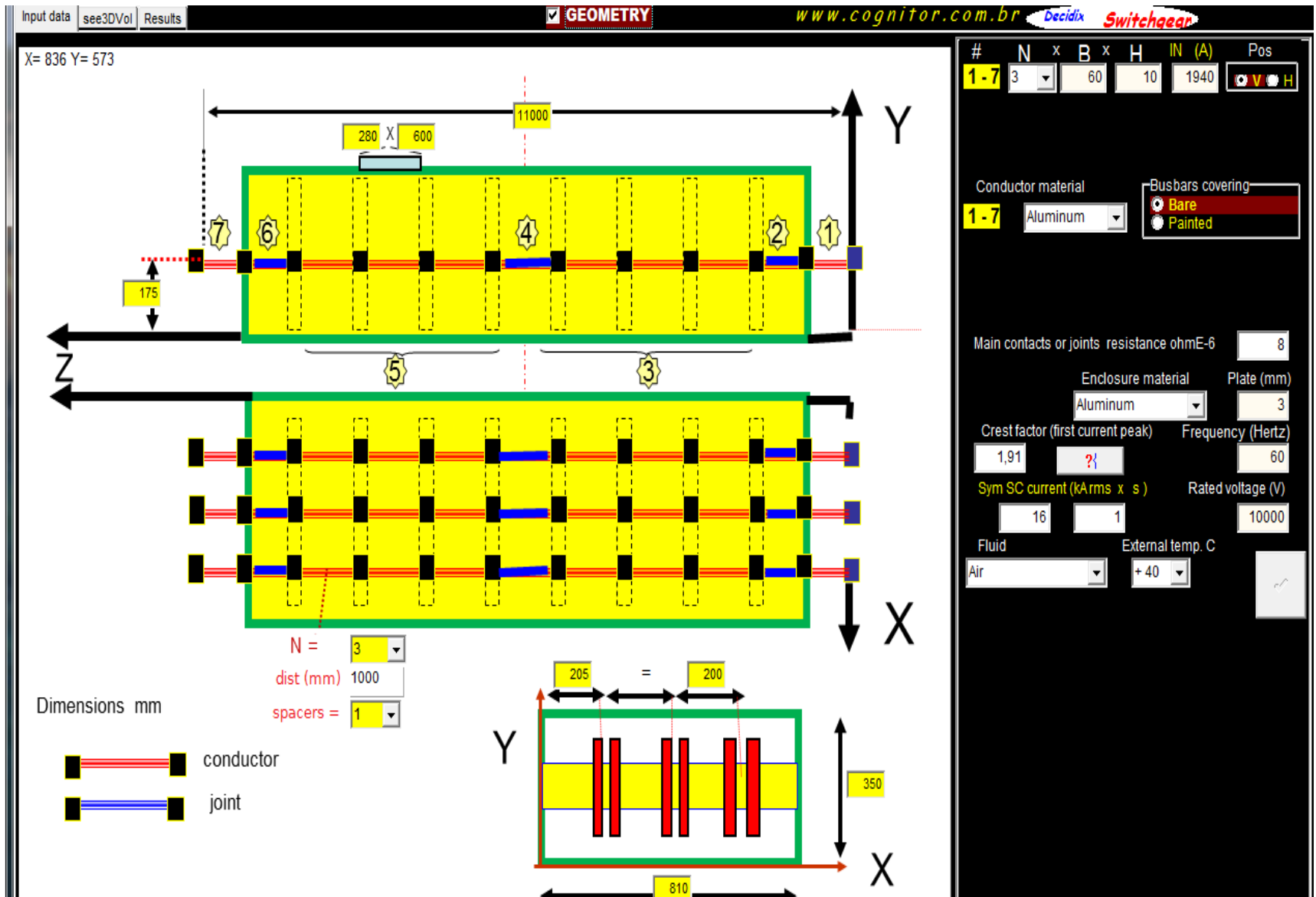
Barramentos (caso validado _3x150x10_CU_R_67131)



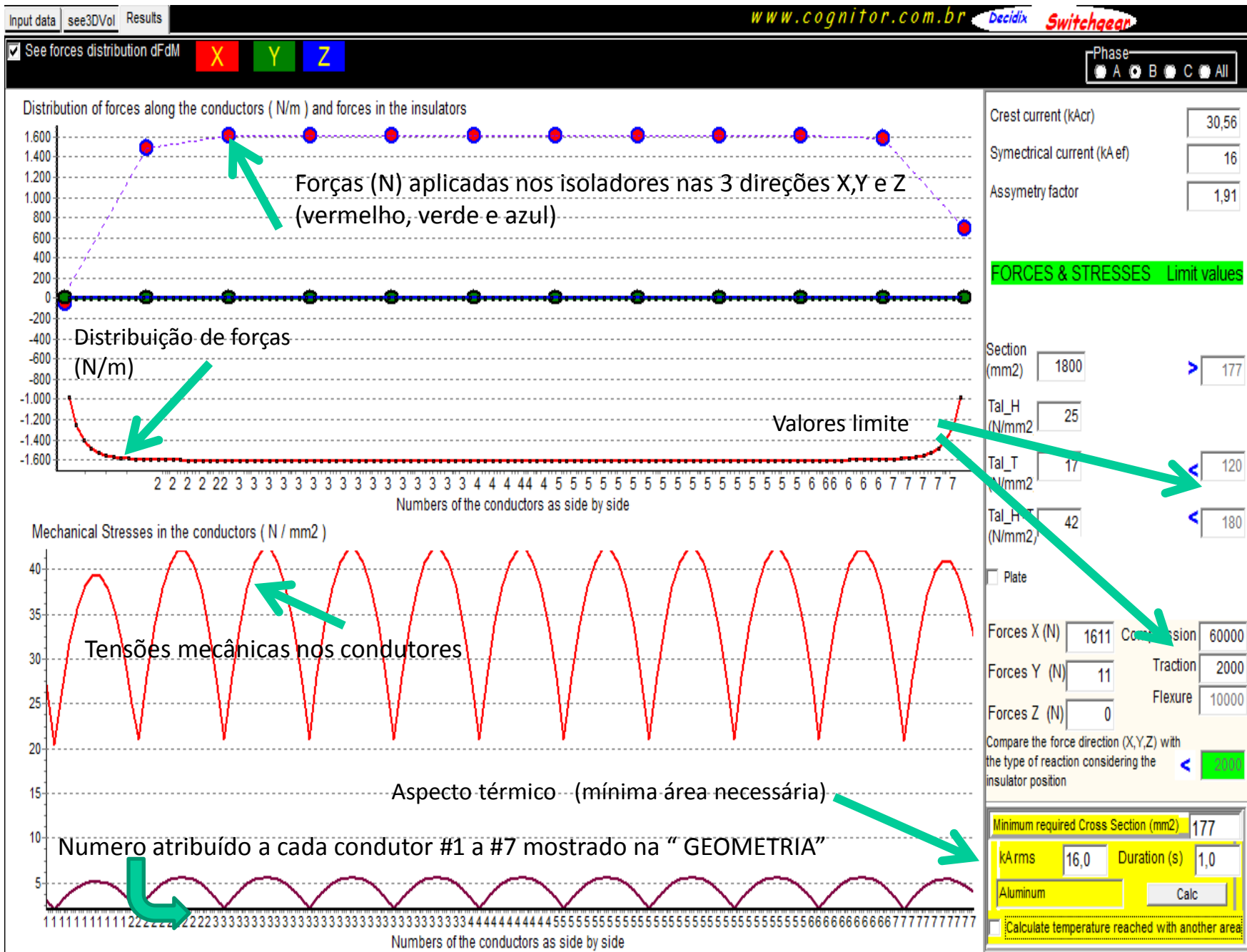
Barramentos (caso validado _3x150x10_CU_R_67131)

Elevação de temperatura (K) acima da temperatura do ar ambiente externo

Barramentos (caso validado _3x60x10_Al_IEC865_2)



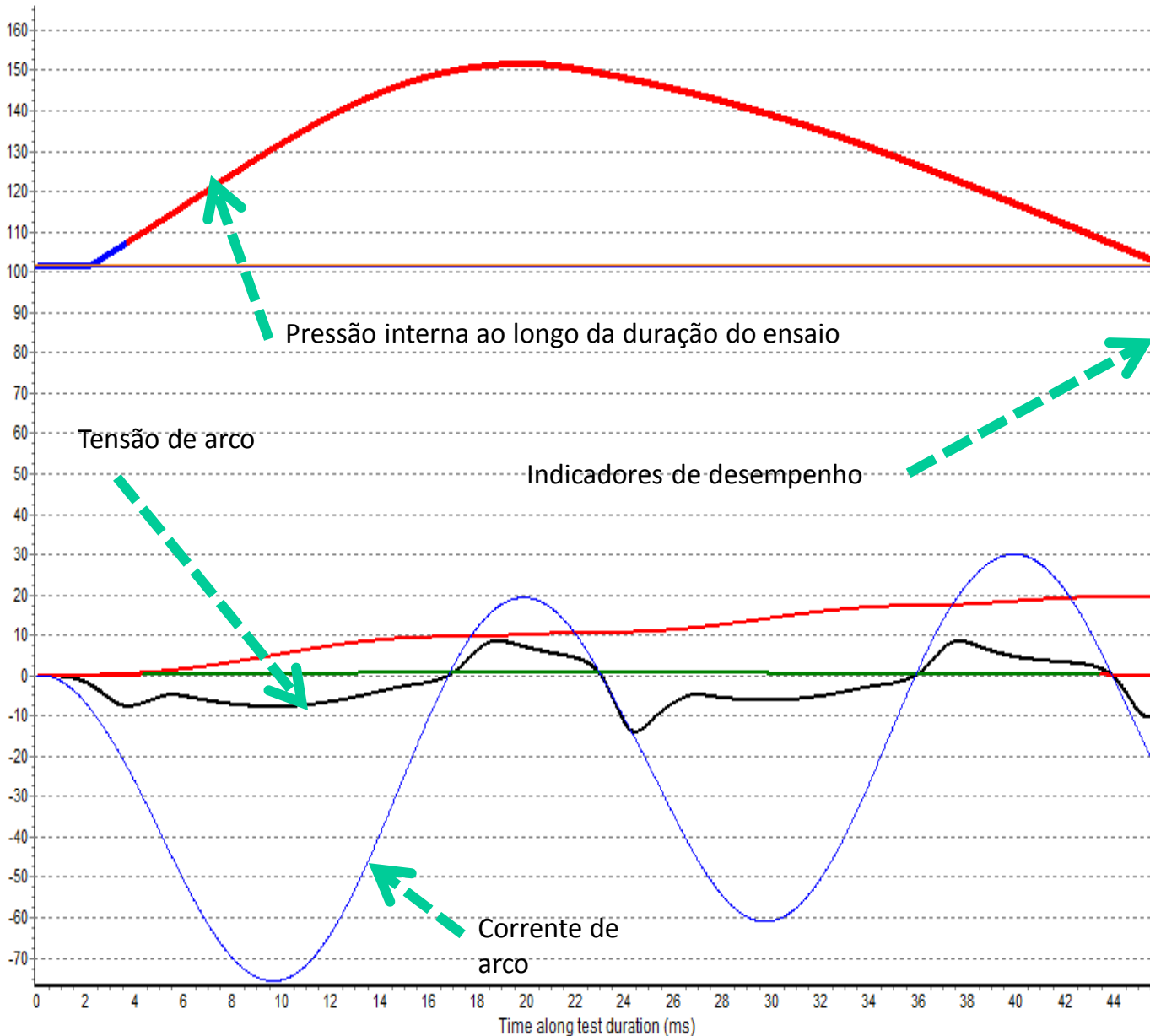
Barramentos (caso validado _3x60x10_AI_IEC865_2)



RESULTADOS – ENSAIO DE ARCO INTERNO

Painel de media tensão (caso validado - MP1_CB31IArc_valid_ROZV050U

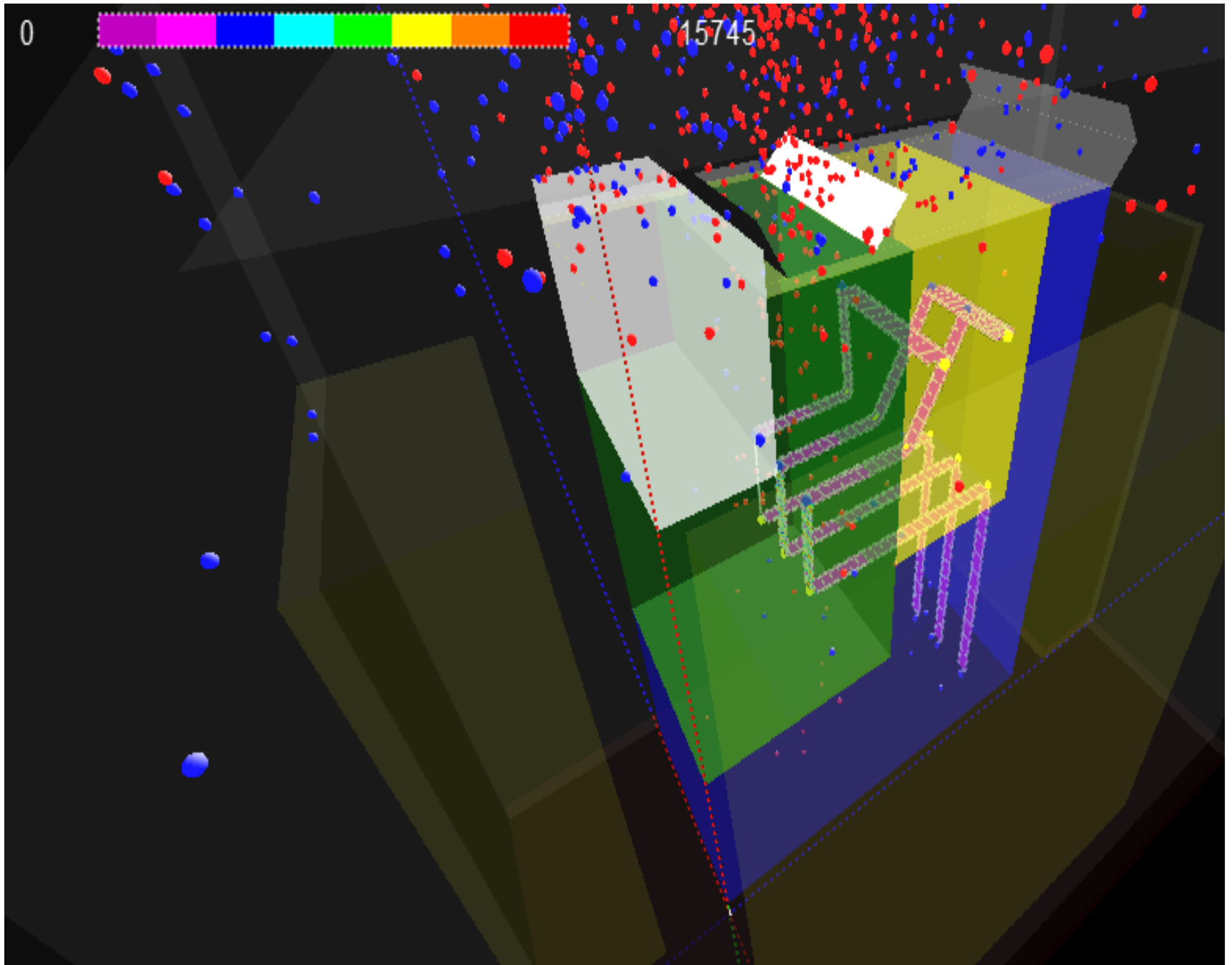
Internal pressure during internal arc (kPa)



RESULTS

	Calculated	Limit
Pressure peak (%)	50	80
	kPa	152
Overpressure duration	46	
Integral $\Delta P \cdot dT \cdot E+3$	26	30
Time 100% peak pressure (ms)	20	
Time 50% after peak pressure (ms)	36	
Minimum plate no burnthrough (mm)	1,14	
Burnthrough % of plate thickness	43	☐
Mx. deflection / deformation (mm)	0,71	
Arc current - pressurized (A rms)	38300	
☒ Checked if switchgear inductance considered		
Arcing time (ms)	44	
Arc voltage (V)	585	
Arc Speed (m/s)	39	
RELIEF AREA (m2): this area is calculated as the product of the dimensions showed in the geometry. If there are grids reducing the area consider it in the geometry	0,248	
Vol each column	1,026	0,53
x occupation %	0,53	0,53
= net m3		0,544

MP1_CB31IArc_valid_ROZV050U

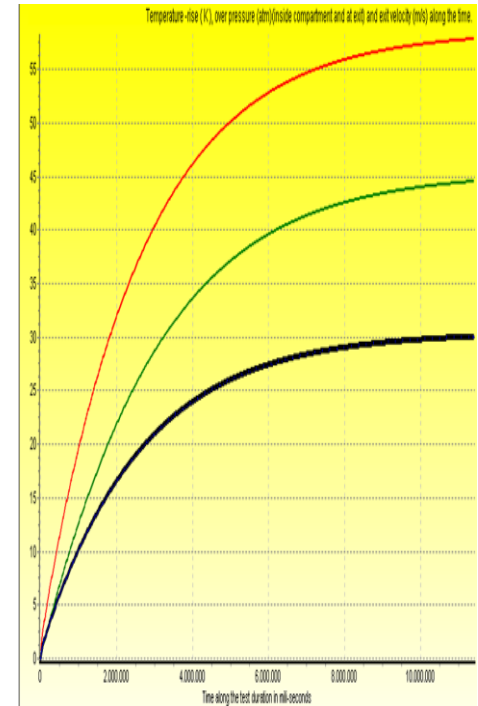


ELEVAÇÃO DE TEMPERATURA

- Suportabilidade de materiais, sobrecargas, envelhecimento e redução de vida útil .
- Aspectos de projeto que afetam resultados de ensaios de elevação de temperatura.
- Transformadores x sobrecargas

ENSAIO DE ELEVAÇÃO DE TEMPERATURA

- Montar equipamento como em uso normal
- Local sem correntes de ar
- Aplicar corrente permanente de ensaio
- Monitorar elevações de temperatura dos pontos relevantes da tabela em relação à temperatura do ar externo
- Aguardar estabilização e medir as elevações finais (comparar com limites)



- Sabendo as elevações no teste podemos saber quais seriam as temperaturas se a temperatura externa do ar fosse , p.ex. 40° C
- Registrar no relatório os parâmetros relevantes (as normas técnicas não solicitam todos que deveriam)

ENSAIO DE ELEVAÇÃO DE TEMPERATURA

LER

VALIDAÇÃO DE RELATÓRIOS DE ENSAIOS EMITIDOS POR LABORATÓRIOS RECONHECIDOS

Revista SETOR ELETRICO - Edição 82 - Novembro 2012

http://www.cognitor.com.br/ValidatingReports_Por.pdf

UM “GUIA” DE USO DE CALCULOS E SIMULAÇÕES DE ENSAIOS PARA AUMENTO DA COMPETITIVIDADE DA INDÚSTRIA ELÉTRICA

http://www.cognitor.com.br/Artigo_Competitividade_Port_04102011.pdf

PAINÉIS , QUADROS E BARRAMENTOS: FALTA ALGO NAS NORMAS IEC E NAS ESPECIFICAÇÕES DE USUÁRIOS

Publicado na edição de junho 2010 da Revista O SETOR ELÉTRICO - pág. 146

http://www.cognitor.com.br/Switchgear_Busbar_Standards_Review_Portugues.pdf

7) VALIDAÇÃO DE SIMULAÇÕES DE ENSAIOS DE ARCO INTERNO, DE FORÇAS ELETRODINÂMICAS E DE ELEVAÇÃO DE TEMPERATURA (e partes do código-fonte) .
Junho 2010 da Revista ELETRICIDADE MODERNA - pág. 194

http://www.cognitor.com.br/Validation_Simulations_Portugues.pdf

ENSAIO DE ELEVAÇÃO DE TEMPERATURA

- Cuidado com relatórios de ensaios que não informam se passou ou não passou no ensaio !

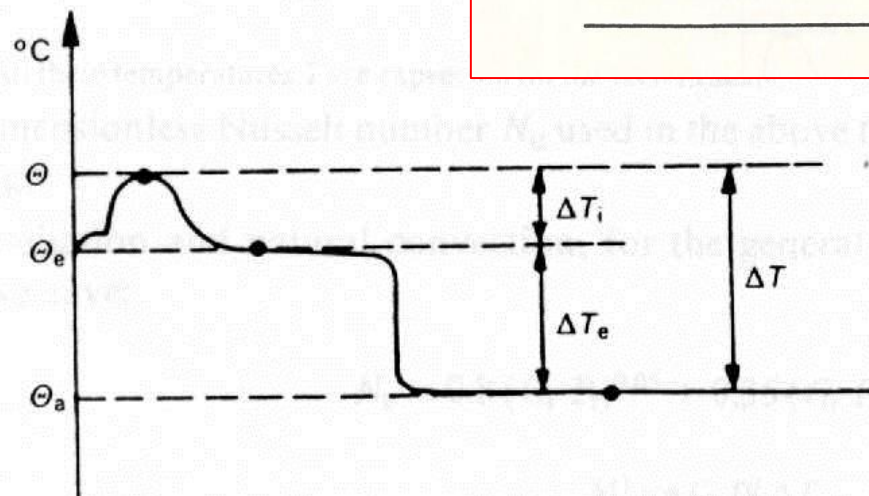
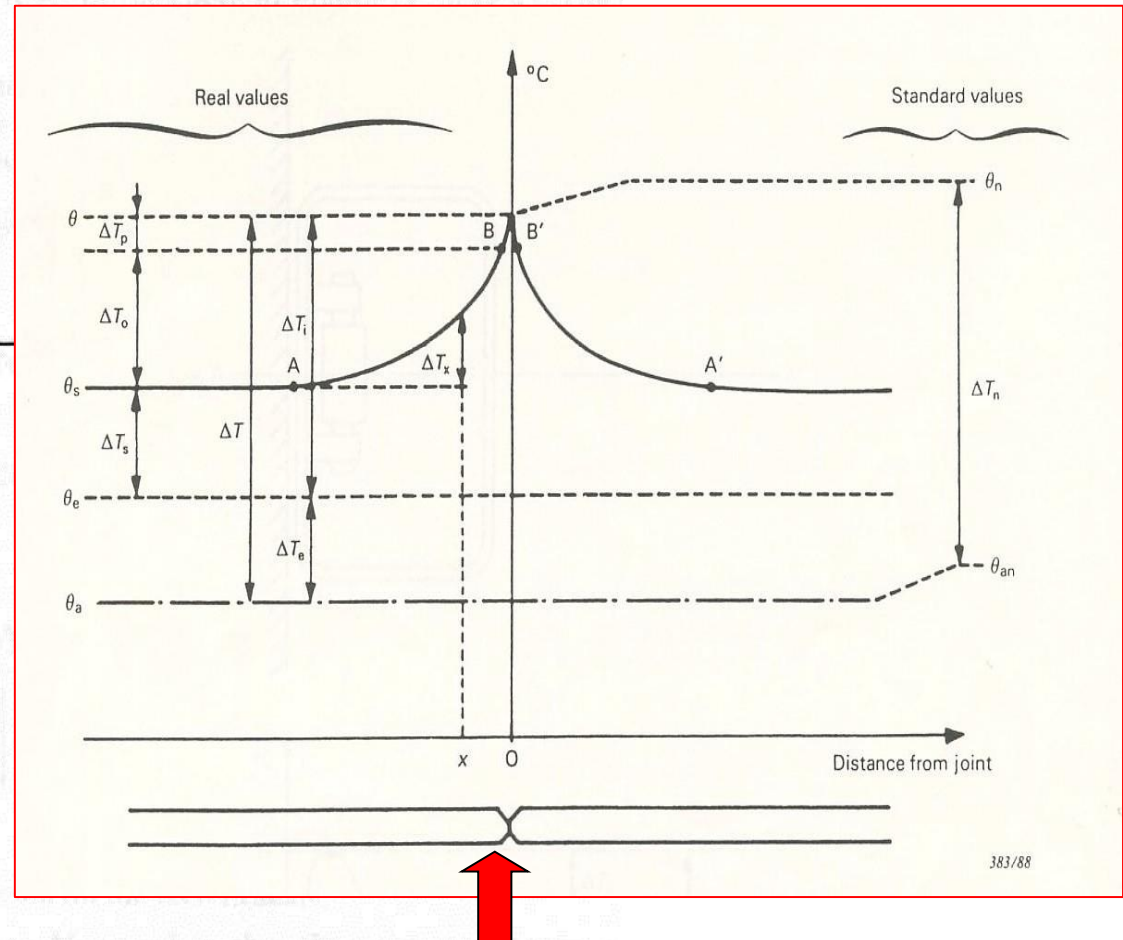
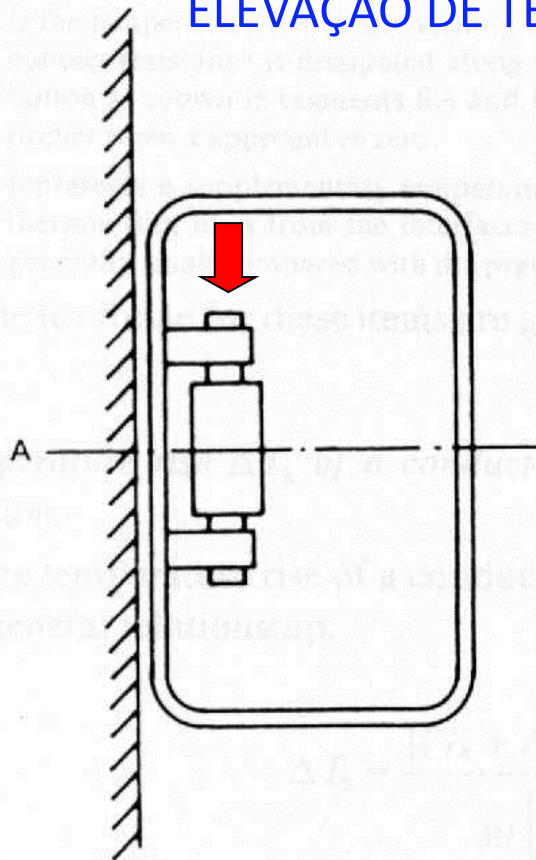
Parte	Material do contato e meio onde será usado	Elevação de temperatura máx. (K) ambiente 20°C	Temperatura máx. (°C) ambiente 40°C	Comentários
CONTATO DE MOLA	Cobre - no ar e suas ligas, - no SF6 não revestido - no óleo	35 75 (65 na IEC62271-1) 40		ANSI C37-23 para barramentos 65 K sobre ambiente de 40°C. Invólucro 40 K
	Estanhado, no ar, SF6 ou óleo	50		
	Prateado ou niquelado - no ar / SF6 - no óleo	75 (65 na IEC62271-1) 50		
	Para contadores em óleo		105	Deteriora óleo
CONTATO APARAFUSADO	Cobre, alumínio e suas ligas, não revestido no ar não revestido no SF6	60 (50 na IEC62271-1) 75		
	Estanhado, no ar ou SF6		105	"creep" estanho
	Prateado ou niquelado ar ou SF6	75		
	Prateado ou niquelado no óleo		100	deteriora óleo
	Para contadores em óleo		105	deteriora óleo
PARTES METÁLICAS	Em contato com isolante de classe •Y / A / E •B / F / H		90 / 105 / 120 130 / 155 / 180	Envelhecimento do isolamento
	Em posição de soldas		100	Quebra
SUPER-FÍCIAS	Podem ser tocadas (met / não metálico.) Acessíveis mas não tocadas		70 / 80 80 / 90	Não queimar pessoas
Terminais ao exterior : não revestidos (delta T= 60K e prateados 75 K)				

PARAMETROS QUE AFETAM O RESULTADO DOS ENSAIOS (e nem sempre a norma pede para registrar no relatório de ensaios)

- Resistencia de contatos (e não apenas a resistência total por fase)
- Tipo e área de ventilação
- Seção reta e posição geométrica das barras (vertical, horizontal)
- Materiais das barras e seus revestimentos
- Interligação entre compartimentos
- Dispositivos de alivio de sobrepressão e dispositivos para fecha-los

Normas não tratam da relação entre os ensaios de elevação e de arco interno e não explicitam tudo que deve ser registrado nos relatórios de ensaios.

ELEVAÇÃO DE TEMPERATURA X RESISTENCIAS DE CONTATO

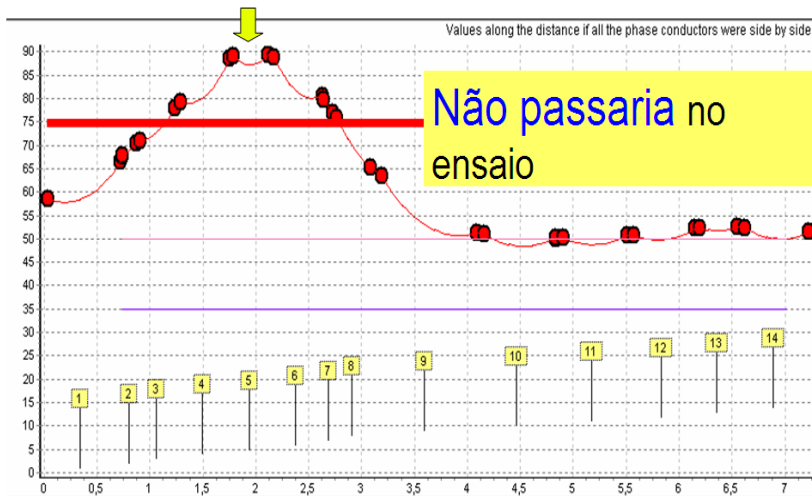


ELEVAÇÃO DE TEMPERATURA X RESISTENCIAS DE CONTATO

As normas deveriam pedir mas não pedem para registrar no relatório de ensaios as principais resistências de contato (disjuntores, chaves, juntas, ...) e não apenas a resistência total por fase)

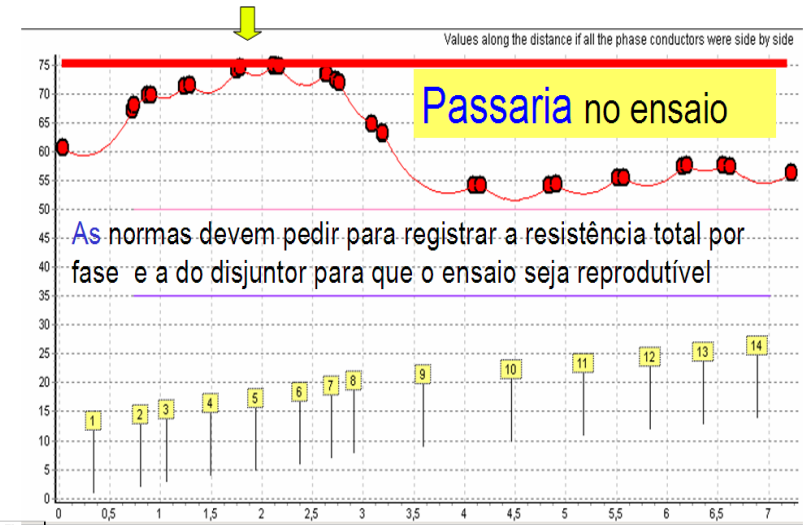
O EFEITO DAS RESISTÊNCIAS DE CONTATO (e do relatório de ensaios bem feito)

Resistência total por fase (disjuntor + barramentos + emendas) = $72 \mu\Omega$
Resistência do disjuntor = $30 \mu\Omega$



O EFEITO DAS RESISTÊNCIAS DE CONTATO (e do relatório de ensaios bem feito)

Resistência total por fase (disjuntor + barramentos + emendas) = $72 \mu\Omega$
Resistência do disjuntor = $18 \mu\Omega$



ELEVAÇÃO DE TEMPERATURA X RESISTENCIAS DE CONTATO

As normas deveriam pedir mas não pedem para registrar no relatório de ensaios as principais resistências de contato (disjuntores, chaves, juntas, ...) e não apenas a resistência total por fase)

Peça para colocar no relatório a medição de resistências além de áreas de ventilação

O Relatório com muitas informações é mais útil que os omissos em extrapolações e derivação de projetos

As normas estão mudando

RESISTÊNCIA DE CONTATO

N pequenos contatos virtuais

$$n = n_k \cdot H^{0.625} F^{0.2}$$

$$n_k \approx 2.5 \times 10^{-5} (SI)$$

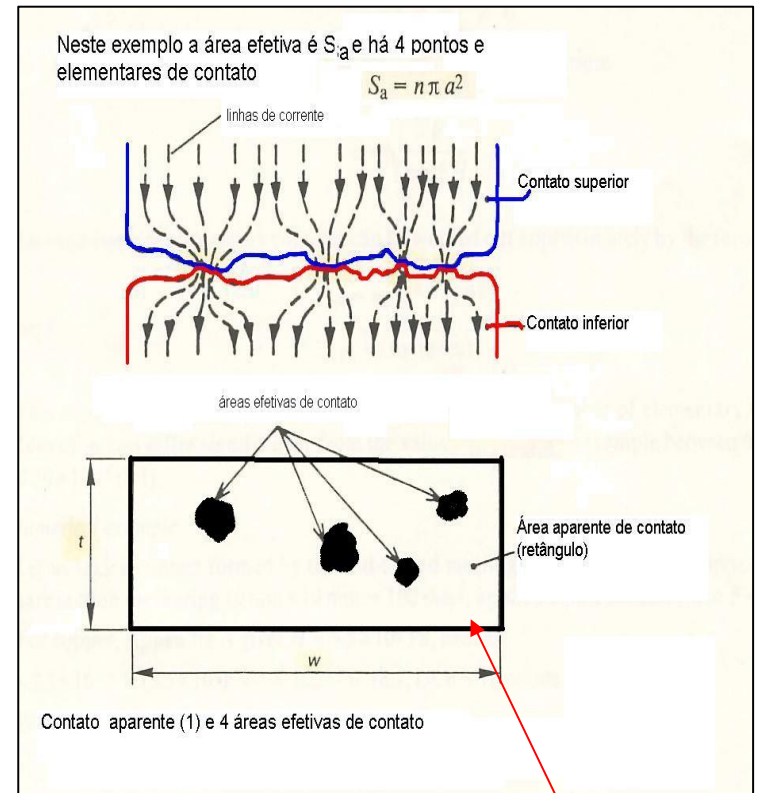
Raio **a** dos contatos virtuais

$$a = \sqrt{\frac{F}{\eta \cdot \pi \cdot \xi \cdot H}}$$

F = força no contato

H = dureza do material

ξ = coeficiente aspereza ~ 0.3 a 0.6

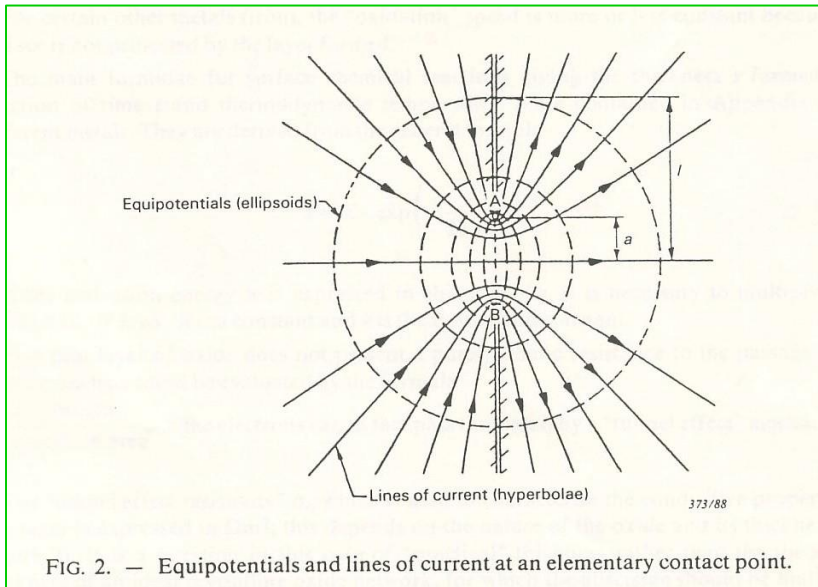


Contato virtual com **N** pequenos contatos de raio médio **a**

RESISTÊNCIA DE CONTATO

$$R_c = \frac{\rho}{2 \cdot \eta \cdot a} + \frac{\sigma_0}{\eta \cdot \pi \cdot a^2}$$

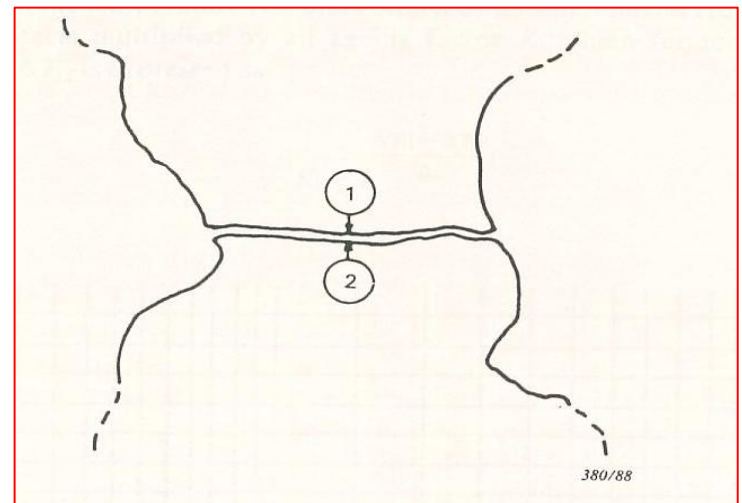
Resistência de constrição (concentração das linhas de corrente)



ρ = resistividade do material
 a = raio do contato elementar
 n = numero de contatos elementares

Resistência devido à camada de óxido na interface dos contatos

σ_0 = resistividade superficial (função da espessura da camada de óxido)



RESISTÊNCIA DE CONTATO

$$R_c = \frac{\rho}{2.\eta.a} + \frac{\sigma_0}{\eta.\pi.a^2}$$

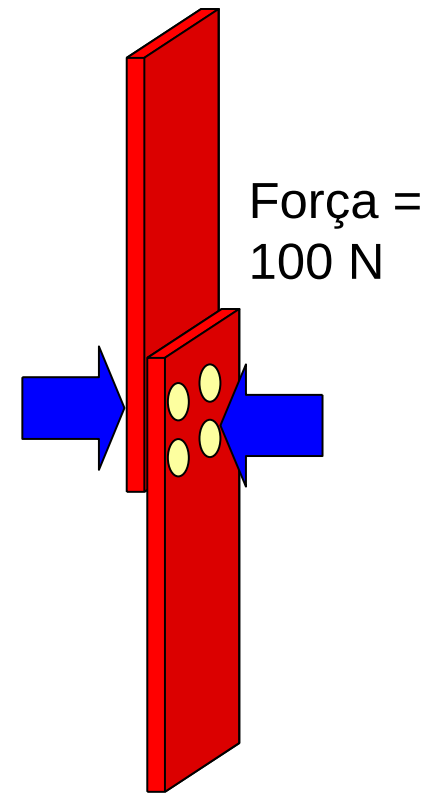
$$a = \sqrt{\frac{100}{18.\pi.(0.45).(5.5 \times 10^8)}} = 85 \times 10^{-6} m$$

$$\eta = 2.5 \times 10^{-5} \times (5.5 \times 10^8)^{0.625} \times 100^{0.2} = 18.2 = 18$$

$$\rho = 1.78 \times 10^{-8} \Omega.m$$

$$\sigma_0 = 5 \times 10^{-12} \Omega.m^2$$

$$R_c = 6 + 12 = 18 \mu\Omega$$



$$R_c = K_1 * F^{-0.6} + K_2 * \sigma_0 * F^{-1}$$

Metal	Constriction resistance k_1 $\times 10^{-6}$	Film resistance k_2 $\times 10^6$
Copper	90	247
Brass	360	450
Aluminium	130	135
Almelec	150	135
Silver	81	225
Tin	400	22,5
Nickel	420	585
Silvered copper	88	225
Tinned copper	57	22,5
Tinned aluminium	93	22,5
Silvered brass	310	225
Tinned brass	200	22,5

Table 1 – Typical values of tunnel resistivity

Metal	State	σ_0 $\Omega \text{ m}^2$
Copper	New	2×10^{-12} to 3×10^{-11}
	Oxidised	10^{-10}
	Tinned	10^{-12} to 4×10^{-11}
Silver		$4,6 \times 10^{-13}$ to 4×10^{-12} exceptionally up to $2,5 \times 10^{-11}$
Aluminium		7×10^{-11} to 10^{-9}

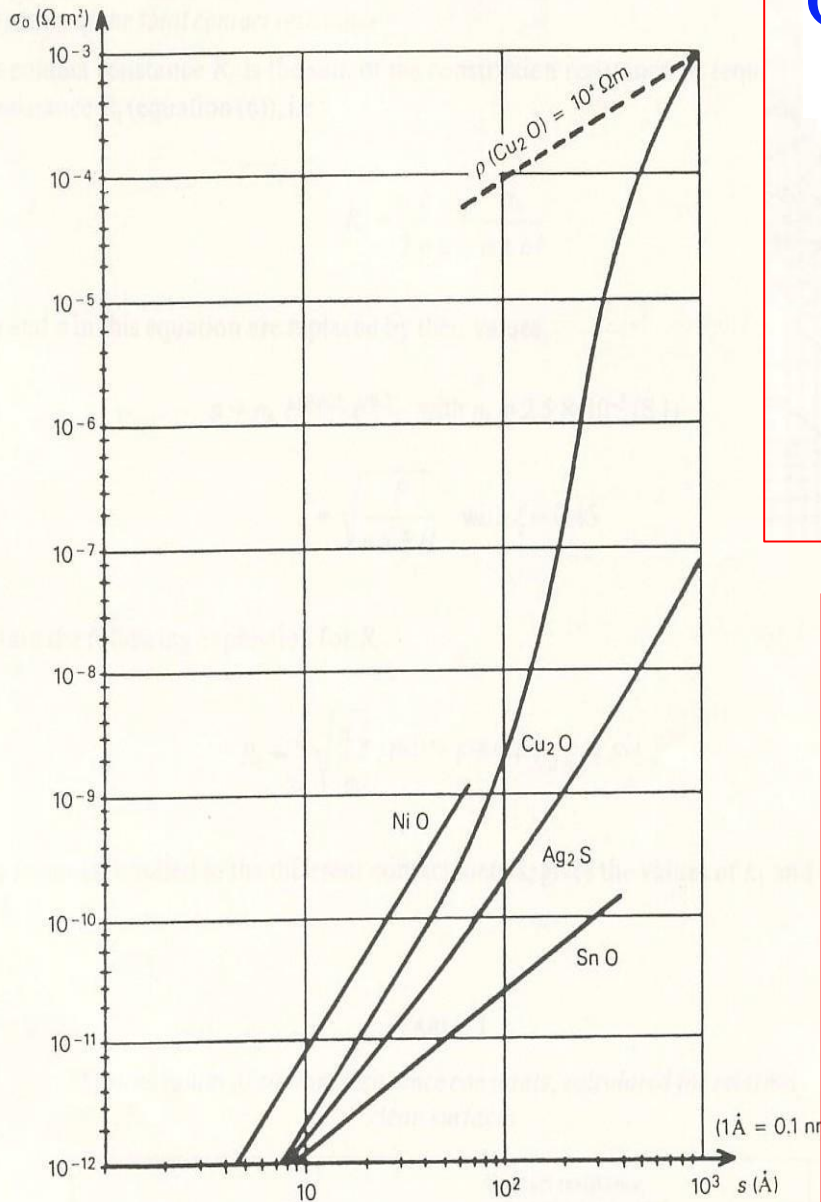
Exemplo: contato de cobre prateado com força de 100 N – oxidado

$$R_c = 88 * 10^{-6} * 100^{-0.6} + 225 * 10^6 * 5 * 10^{-12} * 100^{-1}$$

$$R_c = (5,55 + 11,2) * 10^{-6} = 16,7 \mu\Omega$$

σ_0 valores típicos

Copper	New Oxidized Tinned	2×10^{-12} to 3×10^{-11} 10^{-10} 10^{-12} to 4×10^{-11}
Silver		4.6×10^{-13} to 4×10^{-12} and up to 2.5×10^{-11}
Aluminium		7×10^{-11} to 10^{-9}



VALORES TÍPICOS DAS CONSTANTES DE RESISTENCIA DE CONTATOS PARA SUPERFÍCIES RAZOAVELMENTE LIMPAS

$$R_c = \frac{\theta}{2} \sqrt{\frac{\pi \xi}{n_k}} H^{0.1875} F^{-0.6} + \sigma_o \xi H F^{-1}$$

$$R_c = k_1 F^{-0.6} + k_2 \sigma_o F^{-1}$$

Metal	Constriction resistance	Film resistance
	$K_1 \times 10^{-5}$	$K_2 \times 10^{+6}$
Copper	9	247
Brass	36	450
Aluminium (A5L)	13	135
Almelec	15	135
Silver	8.1	225
Tin	40	22.5
Nickel	42	585
Silvered copper	8.8	225
Tinned copper	5.7	22.5
Tinned aluminium	9.3	22.5
Silvered brass	31	225
Tinned brass	20	22.5

Ver IEC 60943

CÁLCULO DE ELEVAÇÃO DE TEMPERATURA ΔT_s

Em regime permanente

sobre a temperatura ambiente T_e

Efeito Joule

Luz do sol

Perdas correntes
parasitas

$$\Delta T_s = \frac{[(T_e + \Delta T_s - 273.15) \alpha + 1] R_0 I^2 + r \varphi_s S_r + W_{\text{eddy}}}{Bl \left[\sigma \varepsilon \frac{(T_e + \Delta T_s)^4 - T_e^4}{\Delta T_s} + \frac{\lambda}{D_h} N_u \right]}$$

Área lateral =
perímetro x comprimento

Perdas por irradiação

Perdas por convecção

Correntes parasitas = $W_{\text{eddy}} = K_1 * B^2 * \omega^2 * e^2 * \rho * \text{volume}_{\text{enclosure}}$

K_1 = ajuste B = campo magnético $\omega = 2\pi * f$ e = espessura da chapa ρ = resistividade da chapa

Estas tabelas não são suficientes porque não consideram resistencias das juntas e contatos

Copper conductors of rectangular cross-section in indoor installations. Ambient temperature 35 °C. Conductor temperature 65 °C. Conductor width vertical: clearance between conductors equal to conductor thickness; with alternating current, clearance between phases > 0.8 × phase centre-line distance.

Width X thickness	Cross- section	Weight ¹⁾ kg/m	Material ³⁾	Continuous current in A								Continuous current in A							
				AC up to 60 Hz				bare				DC and AC 16% Hz				bare			
				painted				no. of conductors				painted				no. of conductors			
				1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
mm	mm ²			I	II	III	III II	I	II	III	III II	I	II	III	III II	I	II	III	III II
							50 ²⁾				50 ²⁾								
50 X 5	249	2.22	E-Cu F 37	679	1 140	1 330	2 010	583	994	1 240	1 920	703	1 170	1 370		588	1 020	1 300	
50 X 10	499	4.44	E-Cu F 30	1 020	1 720	2 320	2 950	852	1 510	2 040	2 600	1 050	1 830	2 360		875	1 610	2 220	
60 X 5	299	2.66	E-Cu F 30	826	1 330	1 510	2 310	688	1 150	1 440	2 210	836	1 370	1 580	2 060	696	1 190	1 500	1 970
60 X 10	599	5.33	E-Cu F 30	1 180	1 960	2 610	3 290	985	1 720	2 300	2 900	1 230	2 130	2 720	3 580	1 020	1 870	2 570	3 390
80 X 5	399	3.55	E-Cu F 30	1 070	1 680	1 830	2 830	885	1 450	1 750	2 720	1 090	1 770	1 990	2 570	902	1 530	1 890	2 460
80 X 10	799	7.11	E-Cu F 30	1 500	2 410	3 170	3 930	1 240	2 110	2 790	3 450	1 590	2 730	3 420	4 490	1 310	2 380	3 240	4 280
100 X 5	499	4.44	E-Cu F 30	1 300	2 010	2 150	3 300	1 080	1 730	2 050	3 190	1 340	2 160	2 380	3 080	1 110	1 810	2 270	2 960
100 X 10	988	8.89	E-Cu F 30	1 810	2 850	3 720	4 530	1 490	2 480	3 260	3 980	1 940	3 310	4 100	5 310	1 600	2 890	3 900	5 150
120 X 10	1 200	10.7	E-Cu F 30	2 110	3 280	4 270	5 130	1 740	2 860	3 740	4 500	2 300	3 900	4 780	6 260	1 890	3 390	4 560	6 010
160 X 10	1 600	14.2	E-Cu F 30	2 700	4 130	5 360	6 320	2 220	3 590	4 680	5 530	3 010	5 060	6 130	8 010	2 470	4 400	5 860	7 710
200 X 10	2 000	17.8	E-Cu F 30	3 290	4 970	6 430	7 490	2 690	4 310	5 610	6 540	3 720	6 220	7 460	9 730	3 040	5 390	7 150	9 390

Tabelas de barras (sem contatos elétricos próximos)

X

Uso real com emendas, disjuntores, seccionadores, etc...

Corrente Amperes	Área de ventilação cm ²	Watts adicionais no volume, p.ex. gavetas	Volume painel m ³	Barras mm	Elevação de tempera tura K
1490	200	-	0,8 x 0,8 x 2,3	1 x 100 x 10 (nua)	29
1490	200	-	0,8 x 0,8 x 2,3	1 x 100 x 10 (pintada)	24
1490	-	-	0,8 x 0,8 x 2,3	1 x 100 x 10 (nua)	34
1490	-	1000	0,8 x 0,8 x 2,3	1 x 100 x 10 (bare)	64
1490	-	Contato 45 $\mu\Omega$ (100W)	0,8 x 0,8 x 2,3	1 x 100 x 10 (nua)	54

(caso teste 1 x 100 x 10 mm Switchgear BT)

EFEITOS DOS PARAMETROS QUE AFETAM O RESULTADO DOS ENSAIOS

- Sem aberturas de ventilação
- Com abertura e sem ou com ventilação forçada
- Alterando a área de ventilação
- Barras pintadas ou não
- Barras na horizontal ou na vertical
- Diferentes valores de resistência de contato

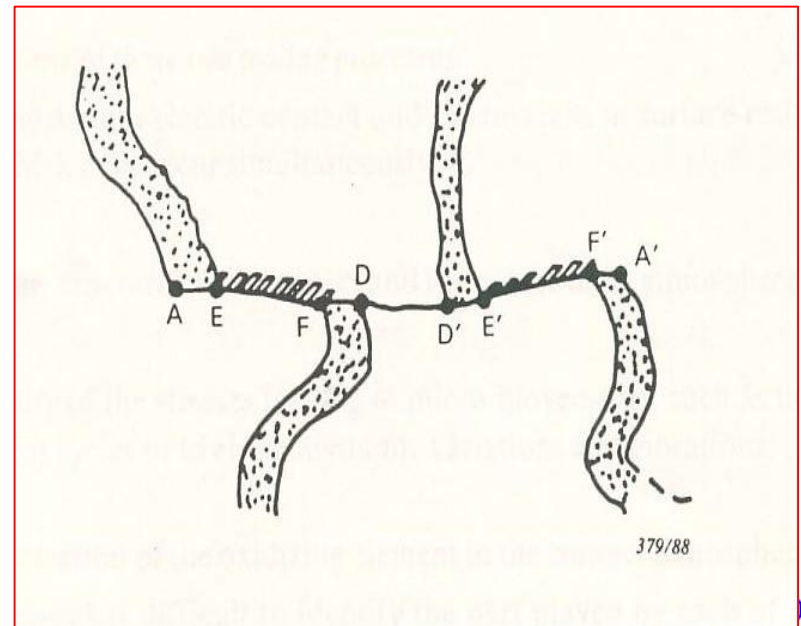
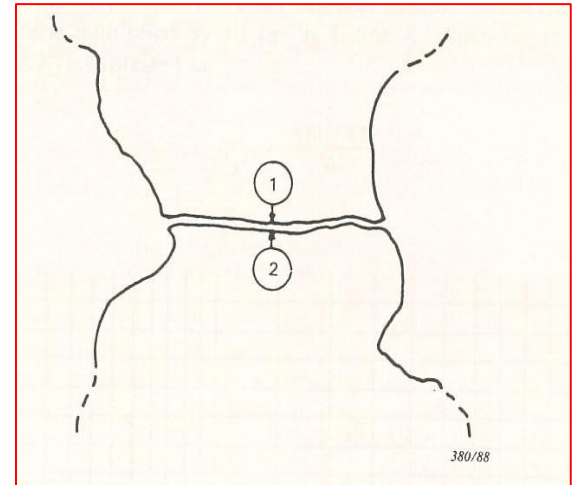
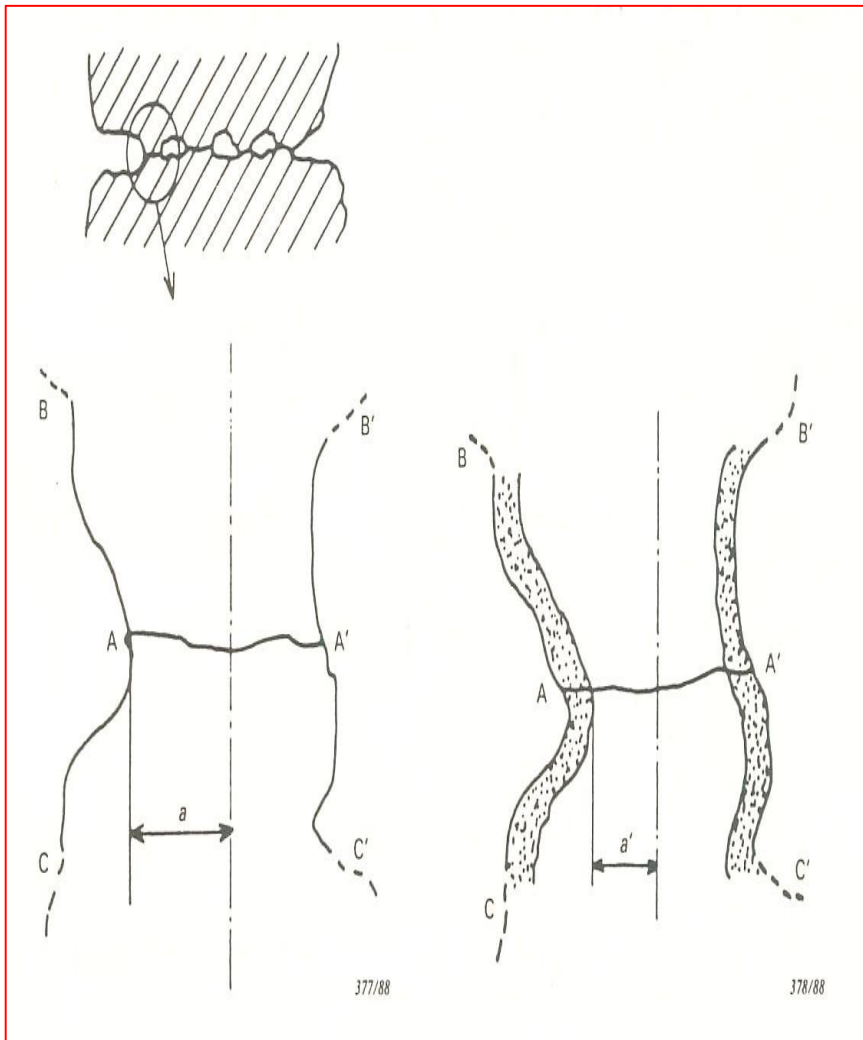
METODOS DE CALCULO DE ELEVAÇÃO DE TEMPERATURA

(Ver equações no final deste arquivo)

- Calcular elevação da temperatura do fluido interno pelo método da **IEC 60890** (ver também **IEC 62208**)
- Calcular elevação de temperatura dos condutores acima da temperatura do fluido externo
- Somar os dois valores

MECANISMOS DE ENVELHECIMENTO

- Contatos mais bi metálicos -> mais oxidação (aceitável < 0,5 V - tabela)
- Redução da seção reta (a) dos contatos elementares
- Pequenos movimentos relativos que diminuem ainda mais a área
- Crescimento da camada de oxido na interface



CONTATOS + BIMETÁLICOS = + OXIDAÇÃO

aceitável < 0,5 V

TABLE III

Voltages in 10^{-2} V developed on bi-metallic contacts

Anode (-) \ Cathode (+)	Silver	Nickel	Monel (30% Cu)	Cupro-nickel (70-30)	Copper	Silver solder	Bronzes*	Red bronze	Brasses*	Stainless steels*	Tin	Tin-lead solder	Tin-silver solder	Lead	Cast-iron	Steels	Aluminium alloys*	Aluminium	Cadmium	Galvanized iron or steel	Zinc alloys*	Zinc	Magnesium alloy*
Silver	0	15	17	19	19	21	23	25	26	33	47	48	51	56	71	72	77	77	79	109	110	111	159
Nickel		0	02	04	04	06	08	10	11	16	32	33	36	41	53	57	62	62	64	94	95	96	144
Monel (30% Cu)			0	02	02	04	06	08	09	16	30	31	34	39	54	55	60	60	62	92	93	94	142
Cupro-nickel (70-30)				0	0	02	04	06	07	14	28	29	32	37	52	53	58	58	60	90	91	92	140
Copper					0	02	04	06	07	14	28	29	32	37	52	53	58	58	60	90	91	92	140
Silver solder						0	02	04	05	12	26	27	30	35	50	51	56	56	58	88	89	90	138
Bronzes*							0	02	03	10	24	25	28	33	48	49	54	54	56	86	87	88	136
Red bronze								0	01	06	22	23	26	31	46	47	52	52	54	84	85	86	134
Brasses*									0	07	21	22	25	30	45	46	51	51	53	83	84	85	133
Stainless steels*										0	14	15	18	23	38	39	44	44	46	76	77	78	128
Tin											0	01	04	09	24	25	30	30	32	62	63	64	112
Tin-lead solder												0	03	08	23	24	29	29	31	61	62	63	111
Tin-silver solder													0	05	20	21	26	26	28	58	59	60	108
Lead														0	15	16	21	21	23	53	54	55	103
Cast-iron															0	01	06	06	08	38	39	40	88
Steels																0	05	05	07	37	38	39	87
Aluminium alloys*																	0	0	02	32	33	34	82
Aluminium																		0	02	32	33	34	82
Cadmium																			0	30	31	32	80
Galvanized iron or steel																				0	01	02	50
Zinc alloys*																					0	01	49
Zinc																						0	45
Magnesium alloy*																							0

*Characteristic values.

CÁLCULO DA REDUÇÃO DE VIDA ÚTIL

Influências da temperatura (T_{e1} e T_{e2}) e da elevação de temperatura (ΔT_{i1} e ΔT_{i2}) no envelhecimento

$$K = 2^{\frac{(\Delta T_{i1} - \Delta T_{i2})}{\Delta i} + \frac{(T_{e1} - T_{e2})}{\Delta e}}$$

1 hora de operação na condição 1 (menos quente)
significa **K x 1 hora** de operação na condição 2
(mais quente)

Δ_e e Δ_i são funções de ΔT_i

CÁLCULO DA REDUÇÃO DE VIDA ÚTIL

$$K = 2 \frac{\frac{(\Delta T_{i1} - \Delta T_{i2})}{\Delta i} + \frac{(T_{e1} - T_{e2})}{\Delta e}}{1}$$


- Contato elétrico de cobre inicialmente com elevação de temperatura igual a 35K
- Aplicar sobrecarga tal que a elevação de temperatura passará a 45K
- A constante duplicadora é de $\Delta_i = 6K$ para $\Delta T_{i1} = 35 K$ (ábaco B)

$$K = 2 \frac{(35 - 45)}{6} = 0.315$$

A expectativa de vida prevista nas condições de norma (p.ex 10anos) será multiplicada por 0.315 passando a 3,15 anos

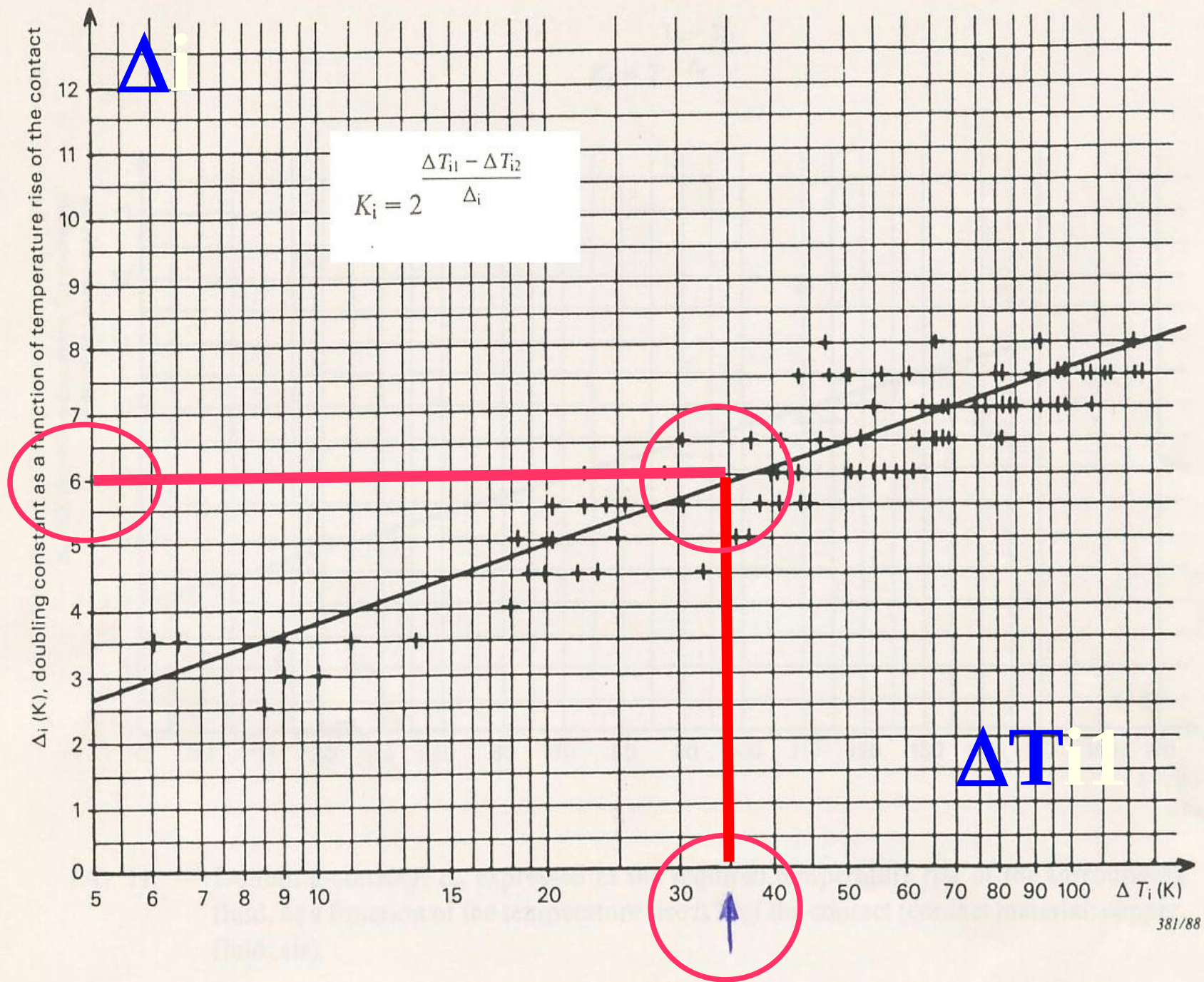


FIG. 10. — Doubling constant Δ_i as a function of temperature rise (for copper contacts).

Exemplo com

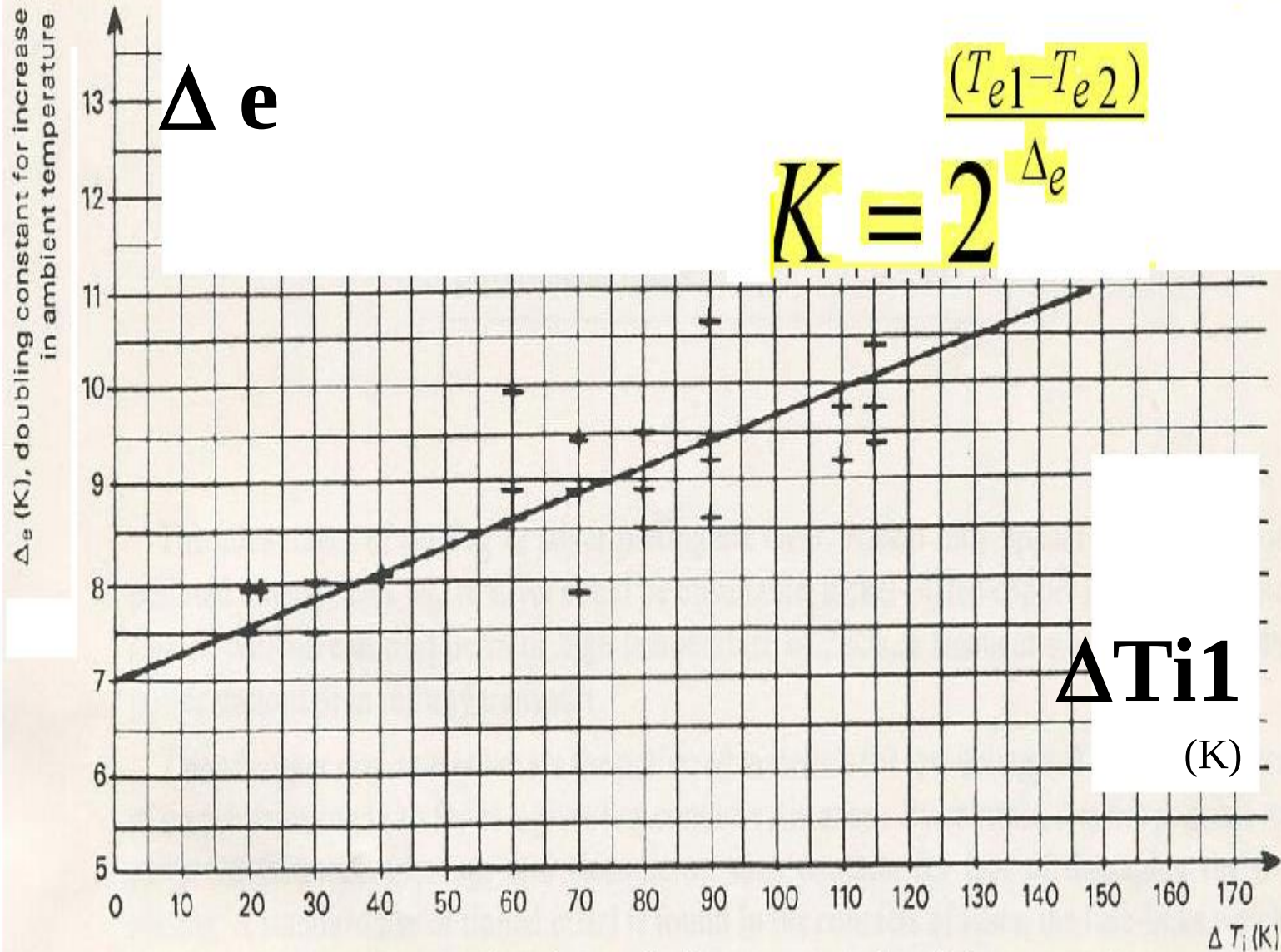
$$\Delta T_{i1} = \Delta T_{i2}$$

$$K = 2 \frac{(\Delta T_{i1} - \Delta T_{i2})}{\Delta i} + \frac{(T_{e1} - T_{e2})}{\Delta e}$$


- Contato elétrico de cobre inicialmente com elevação de temperatura igual a 35K e temperatura ambiente igual a 20°C
- Aumentar a temperatura ambiente em 8K e esta passará a ser de 28°C
- A constante duplicadora é de $\Delta e = 8K$ para $\Delta T_{i1} = 35K$

$$K = 2 \frac{(20 - 28)}{8} = 0.5$$

· Expectativa de vida prevista nas condições de norma (por exemplo 10 anos) será multiplicada pelo fator 0.5 e passa a ser de 5 anos



Doubling constant Δ_e expressed as the required temperature rise of the surrounding fluid, as a function of the temperature rise ΔT_i of the contact (contact material: copper, fluid: air).

Elevação de temperatura durante curtos circuitos

- Todo calor gerado é transformado em elevação de temperatura $R \times I^2 \times T = \text{massa} \times \text{calor específico} \times \text{variação de temperatura}$.
- Seção reta Q deve ser suficiente para temperaturas não passem da temperatura de recozimento 180°C (alumínio) ou 200°C (cobre)

$$I_k \times 1000 \times \sqrt{T} = Q \times \sqrt{4.184 \times (C \times \rho_d / \rho_r \times \alpha) \times \ln [1 + (\alpha (\theta_{\max} - \theta_1))]}$$

- I_k = corrente de curto circuito em valor eficaz p.ex. 50 kA ef
- T = tempo em segundos
- Q = seção reta do condutor em mm^2
- C = calor específico em $\text{cal} / (\text{gr}^{-1} \cdot ^\circ\text{C}^{-1})$ por exemplo para o Cu = 0,0925
- ρ_d = densidade em g/cm^3 (Cu = 8,9)
- ρ_{r_1}, ρ_{20} = resistividade a 20°C (Cu = 0.178) ou na temperatura θ_1
- θ_1 = temperatura inicial por exemplo 20°C (Cu = 0.178)
- θ_r = temperatura final, por exemplo a de recozimento Cu = 200°C
- α = coeficiente de temperatura Cu = 0.004

Exemplo para barra de aterramento : $I_k = 31,5 \text{ kAef}$ $t = 1 \text{ s}$

Calcular a área Q para não passar da temperatura máxima:

O condutor é de cobre e está inicialmente a 40° C . Vamos admitir que a temperatura máxima durante o curto não deva passar de 200° C

$$\begin{aligned} & 31,5 \text{ kA} \times 1000 \times \text{raiz (1 segundo)} \\ & = \\ & Q \times \text{raiz} \left(\left(4,184 \times 0,0925 \times 8,9 / \rho_r \cdot 0,004 \right) \cdot \ln[1 + 0,004 \cdot (200 - 40)] \right) \end{aligned}$$

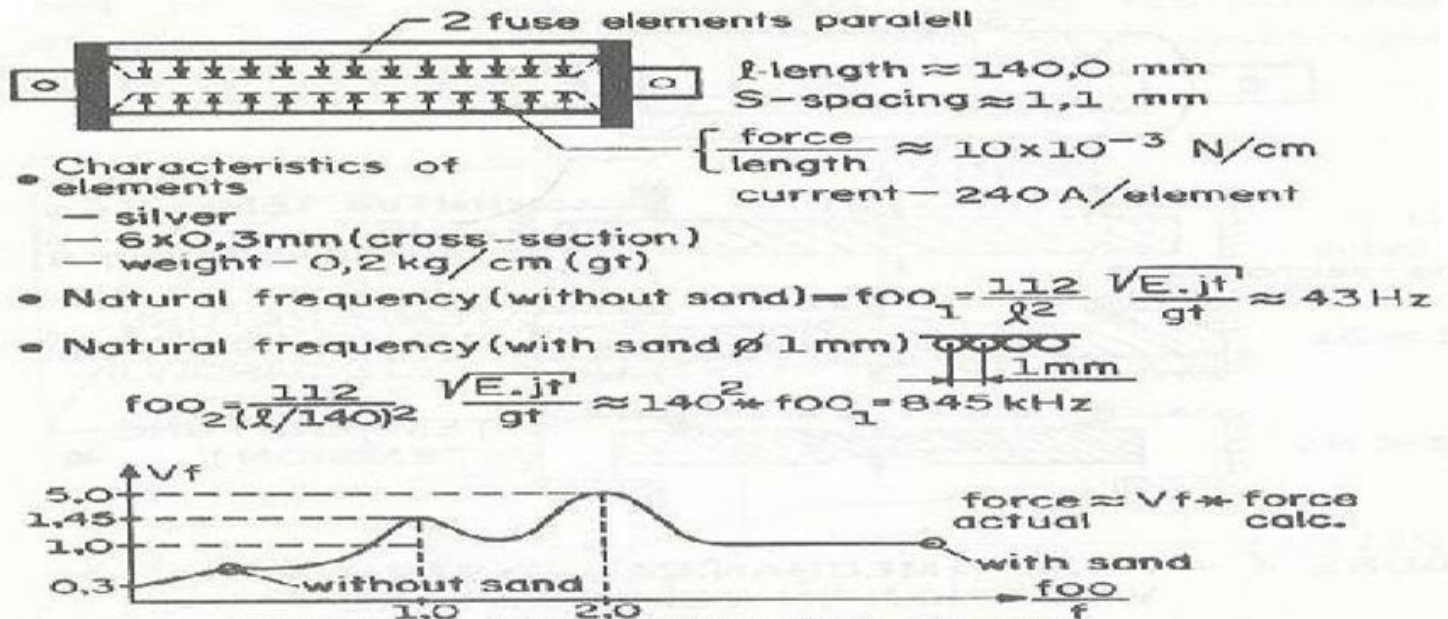
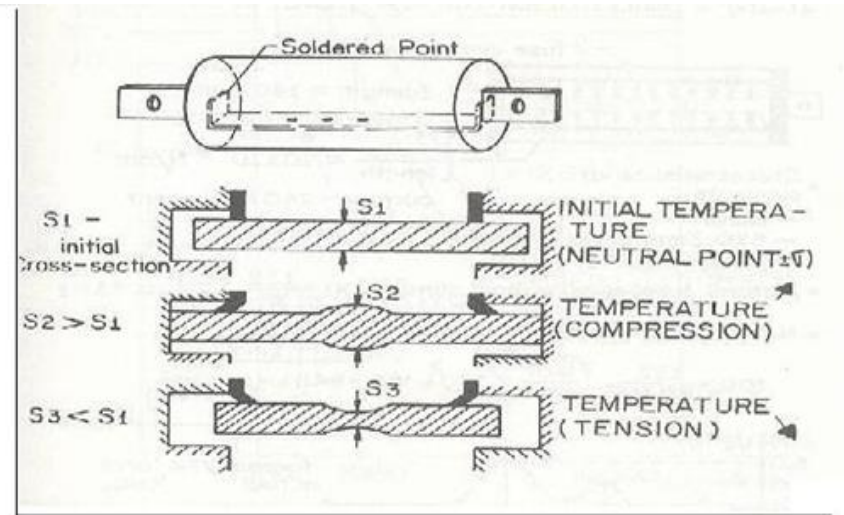
$$\text{onde } \rho_r = \rho_{20} \times (1 + 0,004 \cdot (40 - 20)) = 0,0178 \times 1,08 = 0,0192$$

então **Q deve ser maior que 215 mm^2** (densidade de corrente 150 A/mm^2)

Uma barra de **$50 \text{ mm} \times 10 \text{ mm}$** atenderia com sobras (aos efeitos térmicos de curto circuito) porém verificar se atenderia os requisitos de elevação de temperatura na corrente nominal e também os requisitos de esforços eletrodinâmicos

CICLOS TÉRMICOS (FUSÍVEIS)

Artigo: Overload Tests for Fuses Used in Rolling-Mills; International Conference on Fuses and their Applications, Nottingham-UK, 1991.



SOBRECARGAS EM TRANSFORMADORES

Antes

Portaria 191 de 12/12/2005 e Nota Técnica 38/2005

Critérios para aplicação de carga em transformadores, em Regime de Operação Normal e de Emergência de Longa e Curta Duração

NBR 5416 / 1997: Aplicação de cargas em transformadores

Tabela I – Cargas Máximas Admissíveis

Tipo de Carregamento	Transformador até 100 MVA	Transformador > 100 MVA
Condição Normal	150%	130%
Emergência de longa duração	150%	130%
Emergência de curta duração	150%	140%

Tabela II - Temperaturas Máximas

TIPO DE ENROLAMENTO	TEMPERATURA DO TOPO DO ÓLEO		TEMPERATURA DO PONTO MAIS QUENTE ENROLAMENTO	
	tr.55°C	tr.65°C	tr.55°C	tr.65°C
Condição Normal	95°C	105°C	105°C	120°C
Emergência de Longa Duração	105°C	110°C	120°C	130°C
Emergência de Curta Duração	105°C	110°C	130°C	140°C

2011

Limites de elevação de temperatura

Requisitos	Limites de elevação K
Liquido isolante (topo)	60
Enrolamento (valor médio) ON ... OF OD	65 70
Ponto mais quente do enrolamento	78

H – Fator de “ponto mais quente” = $Q \times S$

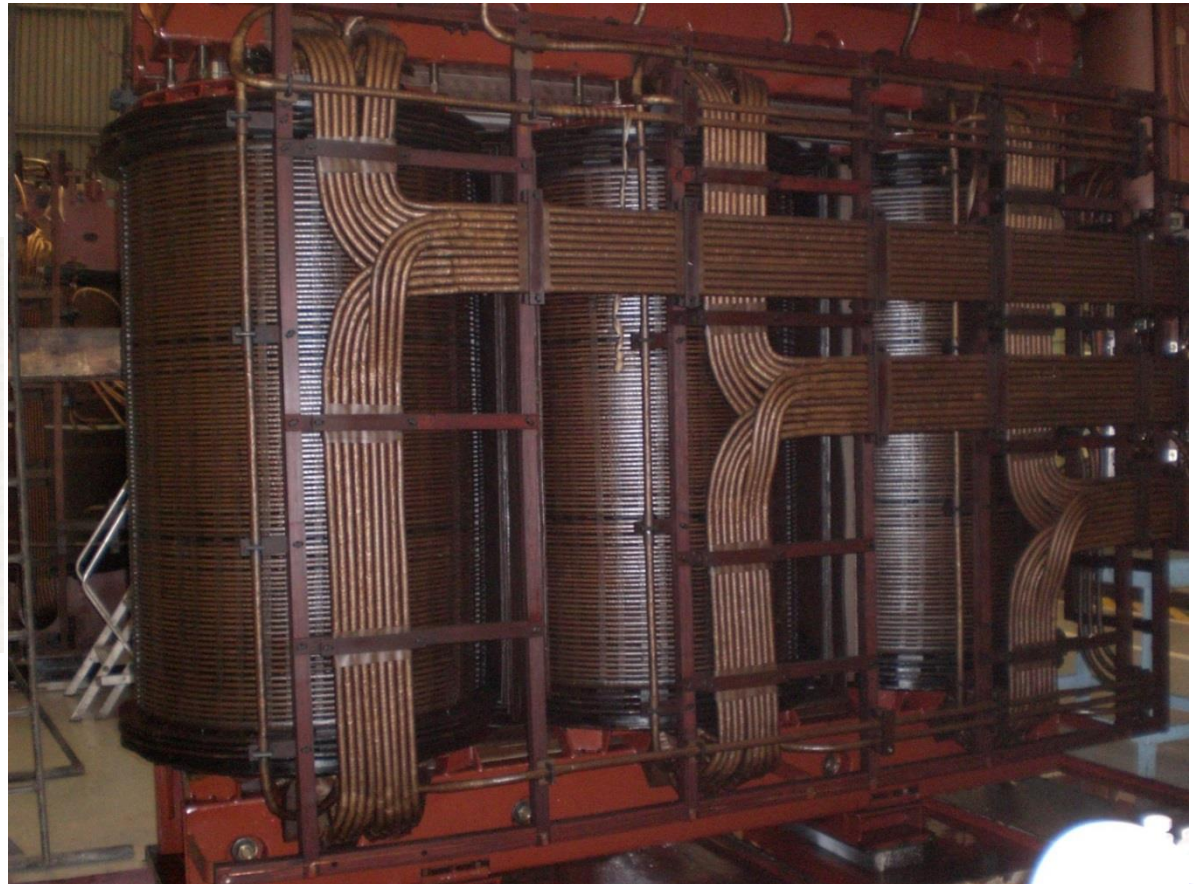
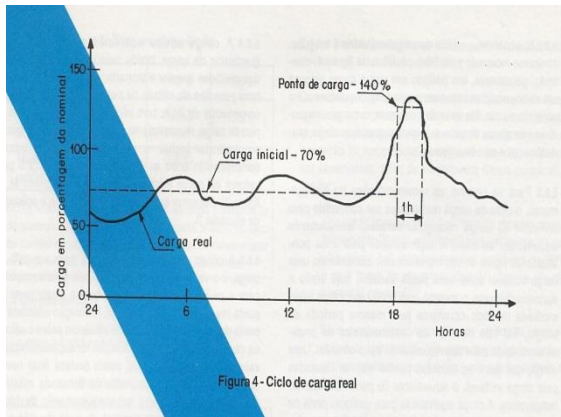
Q – aumento local da elevação de temperatura devido a acréscimo local de perdas

S - aumento local da elevação de temperatura devido a variação da temperatura do óleo isolante ao longo da altura

Anexo B da antiga IEC 76-2

Carregamento transitório

- Pequenos transformadores ($\leq 2,5$ MVA -3F) fator 1,1 para obter temperatura do ponto mais quente (“Hot Spot Factor”)
- Médios transformadores ($\leq 100,0$ MVA -3F) - fator 1,3
- Grandes transformadores - fabricante deve ser consultado



IEC 60076-7 - Power transformers

Part 7: Loading guide for oil-immersed power transformers

Table 4 – Current and temperature limits applicable to loading beyond nameplate rating

Types of loading	Distribution transformers (see Note)	Medium power transformers (see Note)	Large power transformers (see Note)
Normal cyclic loading			
Current (p.u.)	1,5	1,5	1,3
Winding hot-spot temperature and metallic parts in contact with cellulosic insulation material (°C)	120	120	120
Other metallic hot-spot temperature (in contact with oil, aramid paper, glass fibre materials) (°C)	140	140	140
Top-oil temperature (°C)	105	105	105
Long-time emergency loading			
Current (p.u.)	1,8	1,5	1,3
Winding hot-spot temperature and metallic parts in contact with cellulosic insulation material (°C)	140	140	140
Other metallic hot-spot temperature (in contact with oil, aramid paper, glass-fibre materials) (°C)	160	160	160
Top-oil temperature (°C)	115	115	115
Short-time emergency loading			
Current (p.u.)	2,0	1,8	1,5
Winding hot-spot temperature and metallic parts in contact with cellulosic insulation material (°C)	See 7.2.1	160	160
Other metallic hot-spot temperature (in contact with oil, aramid paper, glass fibre materials) (°C)	See 7.2.1	180	180
Top-oil temperature (°C)	See 7.2.1	115	115
NOTE The temperature and current limits are not intended to be valid simultaneously. The current may be limited to a lower value than that shown in order to meet the temperature limitation requirement. Conversely, the temperature may be limited to a lower value than that shown in order to meet the current limitation requirement.			

ESFORÇOS ELETRODINÂMICOS

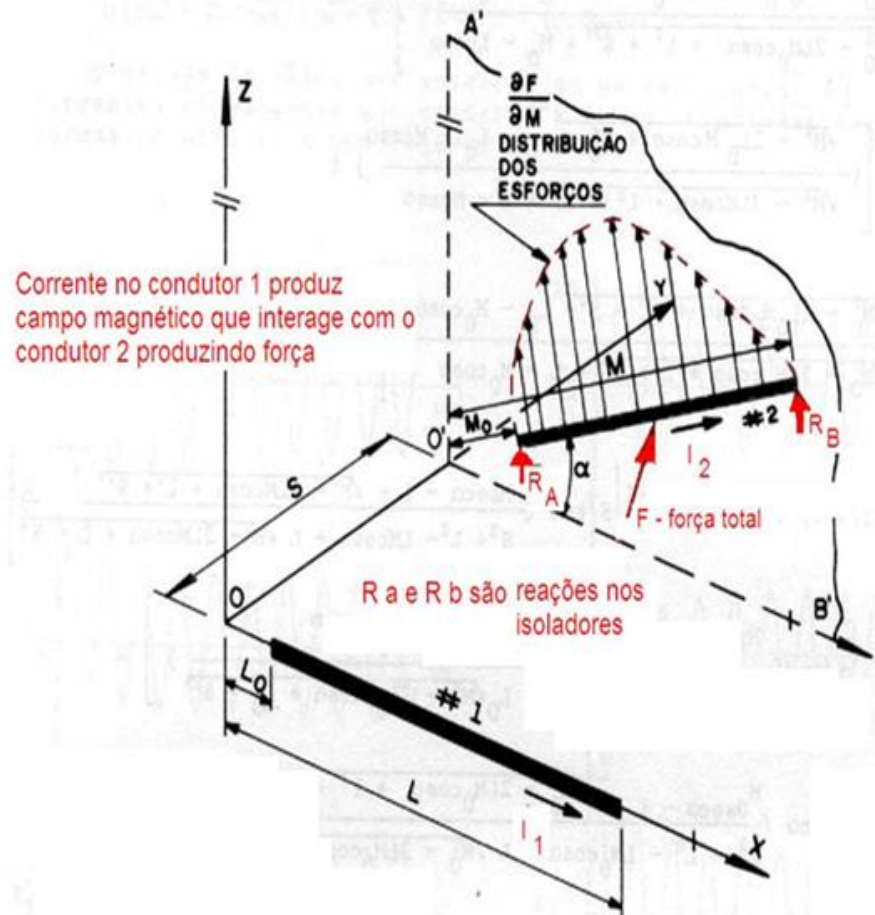
- Altos níveis de correntes de curto circuito estão tornando este fator o limitante no aumento de carga e potencia de curto-circuito em muitas subestações.
 - Quais as soluções possíveis sem refazer os barramentos se o nível de curto circuito aumentou ?
-
- Tensões mecânicas, suportabilidade de isoladores e condutores sob curto circuito.
 - Ensaios de correntes suportáveis de curta duração e de crista

EFEITOS ELETRODINÂMICOS DAS CORRENTES DE CURTO CIRCUITO

- ✓ Dois condutores próximos circutados por correntes instantâneas I_1 e I_2
- ✓ Condutor 1 produz campo magnético B_1 que atua sobre o condutor 2
- ✓ Dadas as dimensões e correntes pode-se calcular a cada instante as distribuições das forças $dF_2 = I_2 \cdot dl \times B_1$
- ✓ Forças dependem da geometria e dos valores instantâneos das correntes

$$F = F_x(x) + F_y(y) + F_z(z)$$

$$dF/dm = dF_x/dm(x) + dF_y/dm(y) + dF_z/dm(z)$$



MÉTODO DA IEC 61117 – A method for assessing the short circuit withstand strength of partially type tested assemblies (PTTA)

COM ADAPTAÇÕES DE SERGIO FEITOZA

- 1) Calcular distribuições de forças estáticas pelas equações
- 2) Converter forças estáticas em “dinâmicas”
- 3) Calcular forças nos isoladores, forças cortantes e diagrama de momentos fletores.
- 4) Calcular tensões mecânicas nos condutores = $\frac{\text{momento_fletor}}{\text{momento resistente}}$
- 5) Comparar tensões nos condutores e forças nos isoladores com limites permitidos.

STEP 1)**CALCULAR DISTRIBUIÇÕES DE FORÇAS ESTÁTICAS**

(tese Sergio)

$$\frac{\partial F_x}{\partial m} = (\mu_0 I_1 I_2 / 4\pi) \cdot \sin^2 \alpha \cdot m \left\{ \left[\frac{1}{\sqrt{m^2 - 2L_0 \cos \alpha \cdot m + L_0^2 + S^2}} \left(\sqrt{m^2 - 2L_0 \cos \alpha \cdot m + L_0^2 + S^2} + L_0 - m \cos \alpha \right) \right] - \left[\frac{1}{\sqrt{m^2 - 2L \cos \alpha \cdot m + L^2 + S^2}} \left(\sqrt{m^2 - 2L \cos \alpha \cdot m + L^2 + S^2} + L - m \cos \alpha \right) \right] \right\} \quad (3.1)$$

$$\frac{\partial F_y}{\partial m} = -(\mu_0 I_1 I_2 / 4\pi) \cdot \cos \alpha \cdot S \left\{ \left[\frac{1}{\sqrt{m^2 - 2L_0 \cos \alpha \cdot m + L_0^2 + S^2}} \left(\sqrt{m^2 - 2L_0 \cos \alpha \cdot m + L_0^2 + S^2} + L_0 - m \cos \alpha \right) \right] - \left[\frac{1}{\sqrt{m^2 - 2L \cos \alpha \cdot m + L^2 + S^2}} \left(\sqrt{m^2 - 2L \cos \alpha \cdot m + L^2 + S^2} + L - m \cos \alpha \right) \right] \right\} \quad (3.2)$$

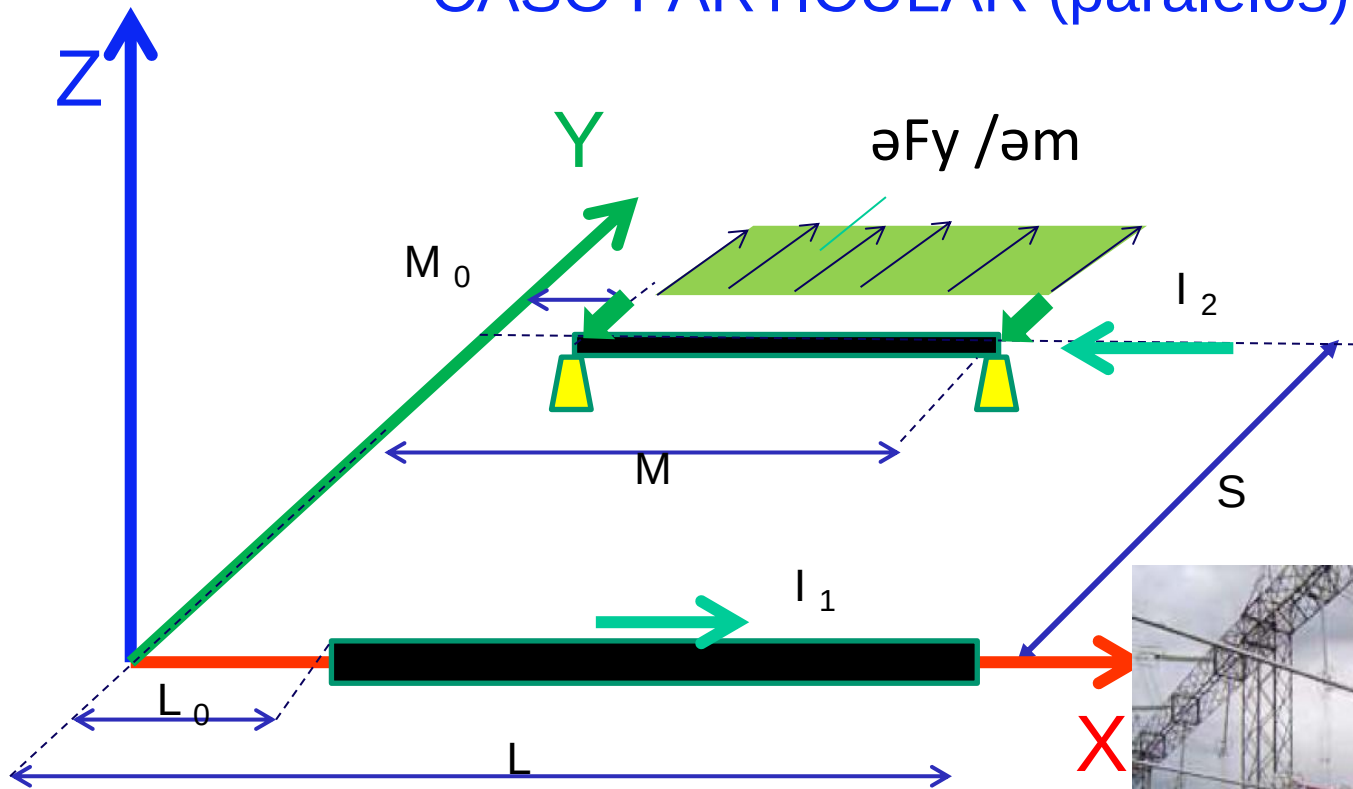
$$\frac{\partial F_z}{\partial m} = -(\mu_0 I_1 I_2 / 4\pi) \cdot \cos \alpha \cdot \sin \alpha \cdot m \left\{ \left[\frac{1}{\sqrt{m^2 - 2L_0 \cos \alpha \cdot m + L_0^2 + S^2}} \cdot \left(\sqrt{m^2 - 2L_0 \cos \alpha \cdot m + L_0^2 + S^2} + L_0 - m \cos \alpha \right) \right] - \left[\frac{1}{\sqrt{m^2 - 2L \cos \alpha \cdot m + L^2 + S^2}} \cdot \left(\sqrt{m^2 - 2L \cos \alpha \cdot m + L^2 + S^2} + L - m \cos \alpha \right) \right] \right\} \quad (3.3)$$

ENSAIOS DE CORRENTES SUPORTÁVEIS DE CURTA DURAÇÃO E DE CRISTA

O QUE É IMPORTANTE NO CÁLCULO DAS FORÇAS ELETRODINAMICAS ?

- Geometria e distancias entre fases
- Materiais
- Correntes de curto circuito e sua assimetria.
- Suportabilidade (tração, compressão e flexão) e distancia entre isoladores

CASO PARTICULAR (paralelos)



Não são só
condutores
paralelos



$$\frac{\partial F_x}{\partial m} =$$

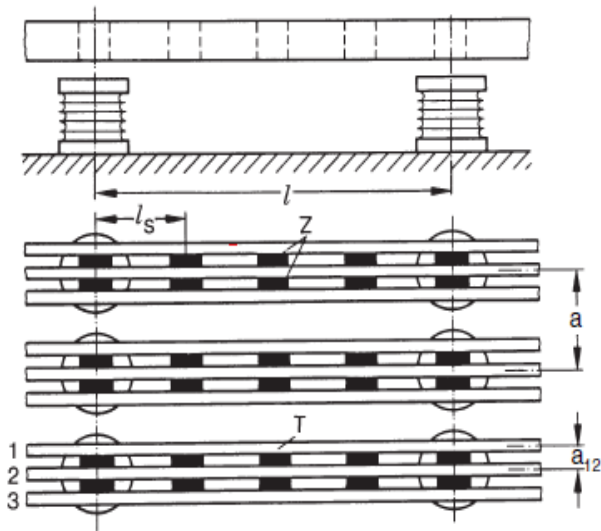
0

$$\frac{\partial F_y}{\partial m} =$$

$$-(\mu_0 I_1 I_2 / 4\pi) \cdot S \left\{ \left[\frac{1}{\sqrt{m^2 - 2L_0 m + L_0^2 + S^2}} \right] \left(\frac{1}{\sqrt{m^2 - 2L_0 m + L_0^2 + S^2}} + \right. \right. \\ \left. \left. + L_0 - m \right) \right] - \left[\frac{1}{\sqrt{m^2 - 2L m + L^2 + S^2}} \left(\frac{1}{\sqrt{m^2 - 2L m + L^2 + S^2}} + L - m \right) \right] \right\}$$

$$\frac{\partial F_z}{\partial m} =$$

0



The electrodynamic force

between the main conductors through which the same current flows is

$$F_m = \frac{\mu_0}{2\pi} \cdot i_p^2 \cdot \frac{l}{a}$$

or as a numerical equation

$$F_m = 0.2 \cdot i_{p2}^2 \cdot \frac{l}{a} \text{ or } F_m = 0.173 \cdot i_{p3}^2 \cdot \frac{l}{a}$$

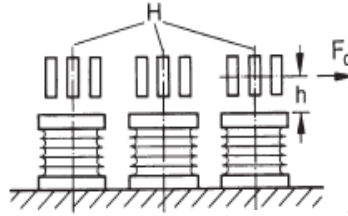
If the main conductor consists of t single conductors, the electrodynamic force F_s between the sub-conductors is

$$F_s = \frac{\mu_0}{2\pi} \cdot \left(\frac{i_p}{t}\right)^2 \cdot \frac{l_s}{a_s}$$

or as a numerical equation

$$F_s = 0.2 \cdot \left(\frac{i_p}{t}\right)^2 \cdot \frac{l_s}{a_s}$$

Numerical equations with i_p in kA, F_m in N and l in the same unit as a .



Main conductor stress: $\sigma_m = V_\sigma \cdot V_r \cdot \beta \cdot \frac{F_m \cdot l}{8 \cdot Z}$

Sub-conductor stress: $\sigma_s = V_{\sigma s} \cdot V_r \cdot \frac{F_s \cdot l_s}{16 \cdot Z_s}$

When considering the plastic deformation

$V_\sigma \cdot V_r = V_{\sigma s} \cdot V_r = 1$ in two-phase a.c. systems

$V_\sigma \cdot V_r = V_{\sigma s} \cdot V_r = 1$ in three-phase systems without three-phase auto-reclosure

$V_\sigma \cdot V_r = V_{\sigma s} \cdot V_r = 1.8$ in three-phase systems with three-phase auto-reclosure

The resulting conductor stress is a combination of the main and sub-conductor stress:

$$\sigma_{\text{tot}} = \sigma_m + \sigma_s$$

The force F_d on each support:

$$F_d = V_F \cdot V_r \cdot \alpha \cdot F_m$$

with

$$V_F \cdot V_r = 1 \text{ for } \sigma_{\text{tot}} \geq 0.8 \cdot R'_{p0.2}$$

$$V_F \cdot V_r = \frac{0.8 \cdot R'_{p0.2}}{\sigma_{\text{tot}}} \text{ for } \sigma_{\text{tot}} < 0.8 \cdot R'_{p0.2}$$

However, in two-phase a.c. systems $V_F \cdot V_r$ does not require a value greater than 2 and in three-phase systems no greater than 2.7.

ABB Switchgear Manual

ABB Pocket Book - Switchgear Manual - 10th revised edition

Edited by ABB Calor Emag Schaltanlagen AG Mannheim and ABB

Calor Emag Mittelspannung GmbH Ratingen

Published at: Cornelsen Verlag, Berlin ISBN 3-46448236-7

Fase A

Forças no condutor ao longo do tempo

Fase B

(valor máximo na primeira crista – este
é o valor calculado no calculo simples)

S

Fase C

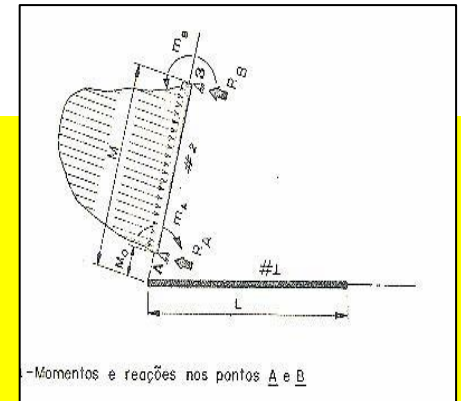
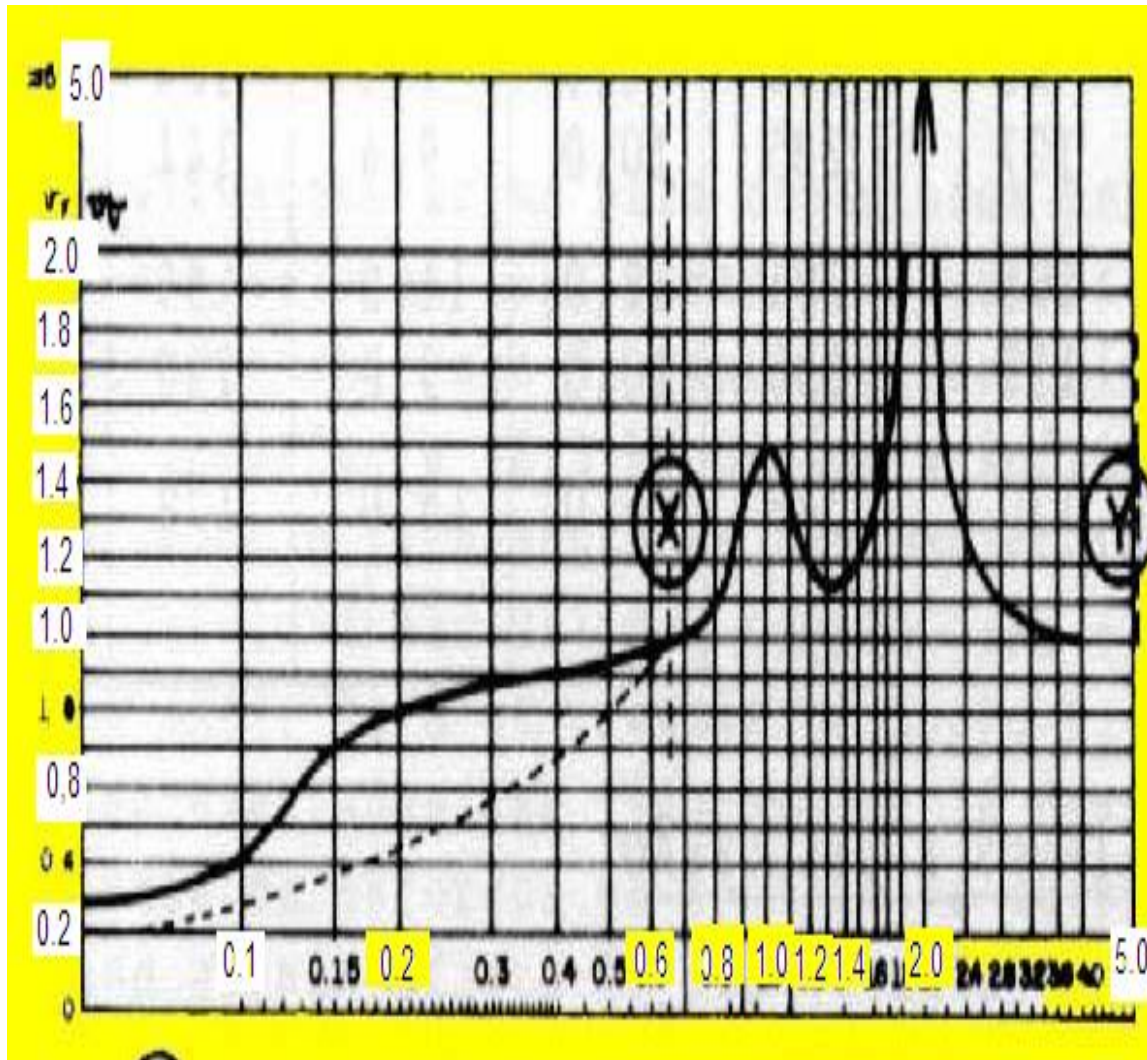
L

Crista máxima da corrente no polo externo (Fase A)

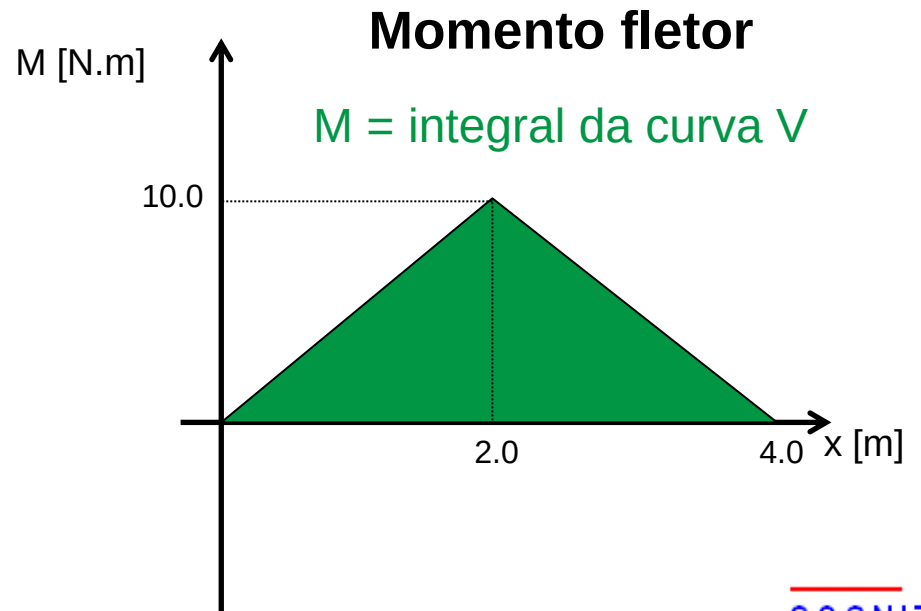
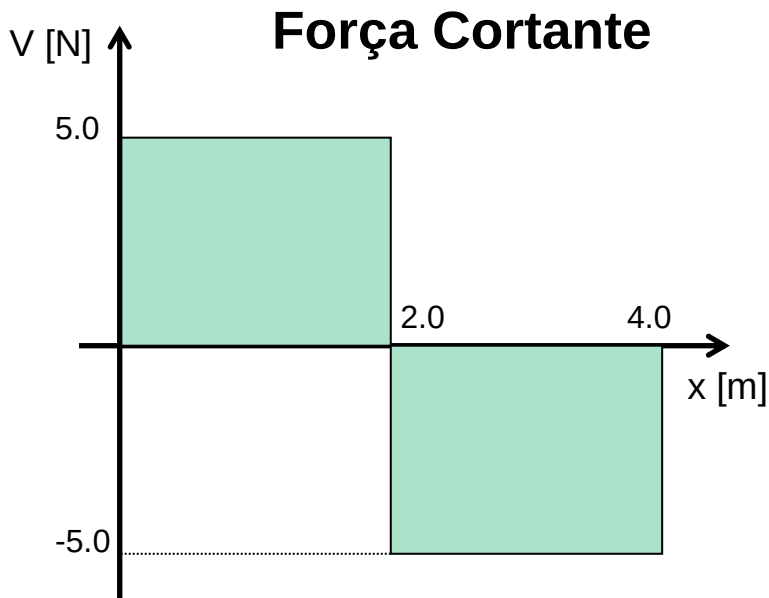
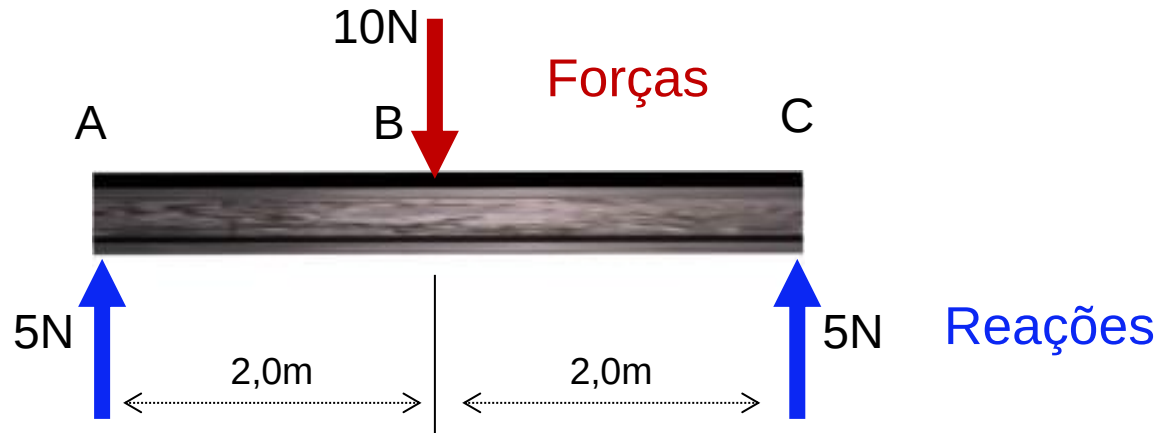
Curto circuito trifásico - 3 barras de comprimento L e distancia entre fases S

Passo 2) CONVERTER FORÇAS ESTÁTICAS EM “DINÂMICAS”

$$F_{\text{dinâmica}} = F_{\text{estática}} \times \text{valor eixo Y (função de } f_0 / f \text{ do eixo X)}$$

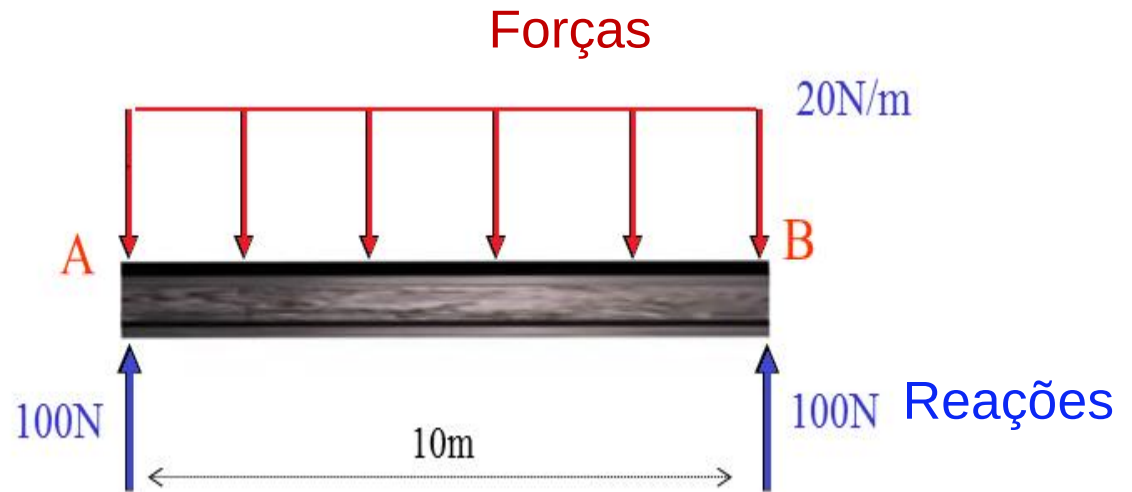
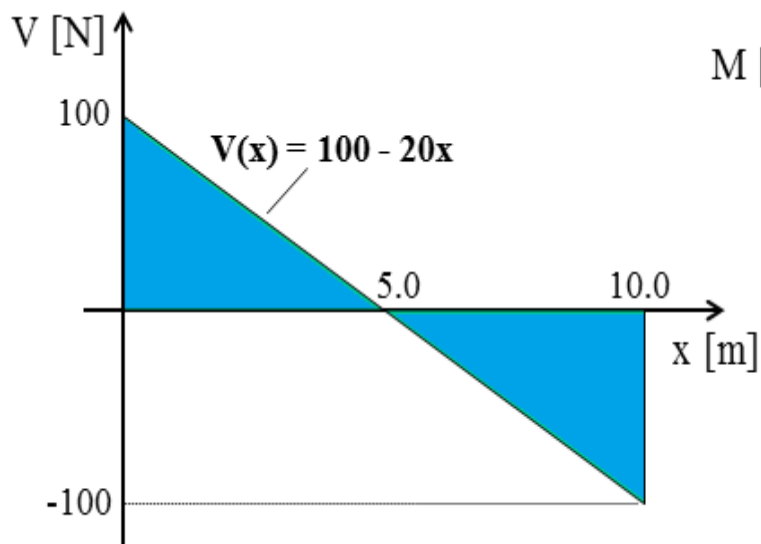
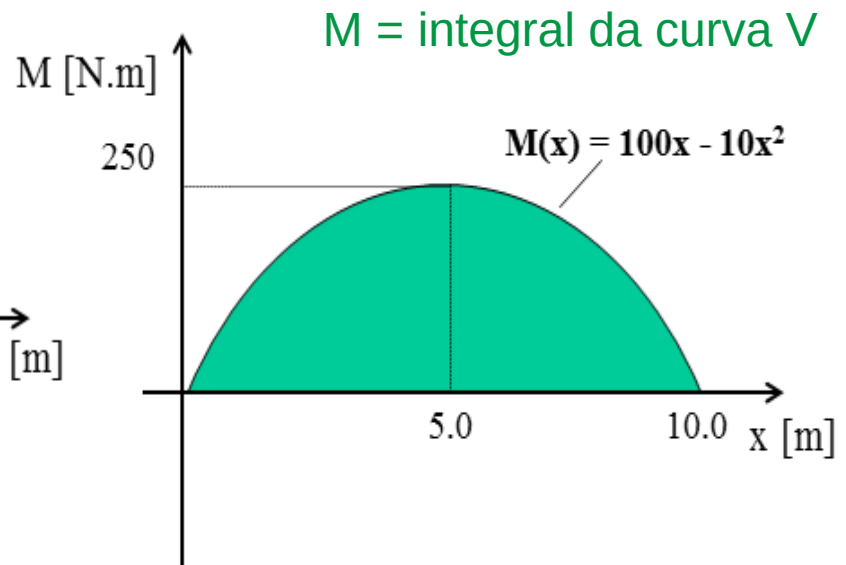


$$\frac{f_0}{f} = \frac{1.866}{l^2} \sqrt{\frac{E \cdot J_t}{g_t}}$$

Passo 3)**CALCULAR FORÇAS NOS ISOLADORES, FORÇAS CORTANTES E MOMENTOS FLETORES**

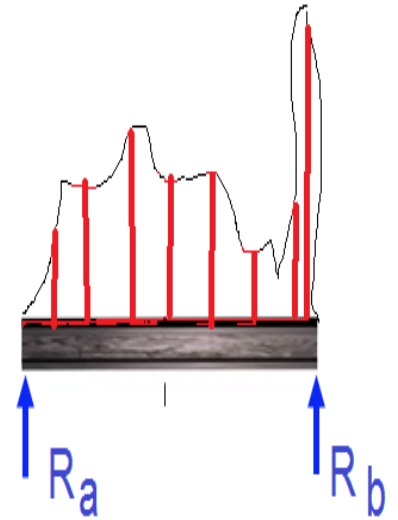
Passo 3)

CALCULAR FORÇAS NOS ISOLADORES, FORÇAS CORTANTES E MOMENTOS FLETORES

**Força Cortante****Momento fletor**

CÁLCULO GENÉRICO

- Temos em cada condutor os valores de $\partial F_x / \partial m$ $\partial F_y / \partial m$ $\partial F_z / \partial m$



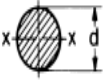
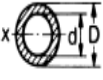
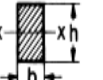
obtidos das equações gerais e depois multiplicados pelos fatores dependentes de f_0/f

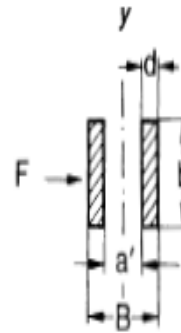
- Calcular reações R_a e R_b pelo método dos momentos
- Calcular o diagrama de forças cortantes
- Calcular o diagrama de momentos fletores

Passo 4) CALCULAR TENSÕES MECÂNICAS NOS CONDUTORES

$$\text{Tensão mecânica} = \frac{\text{Momento fletor no ponto (na curva)}}{\text{Momento resistente da viga (W)}}$$

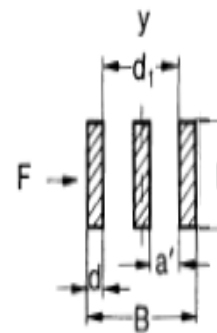
$$\text{Momento resistente de viga (W)} = \frac{\text{Momento de inercia (J)}}{\text{Maior distancia do eixo ao extremo da viga}}$$

Cross-section	Moment of resistance bending ¹⁾ $W^{(1)}$ cm^3	Moment of inertia axial ²⁾ J cm^4
	$\approx 0.1 d^3$	$\approx 0.05 d^4$
	$0.098 \frac{D^4 - d^4}{D}$	$\approx \frac{D^4 - d^4}{20}$
	$\frac{b h^2}{6}$	$\frac{b h^3}{12}$



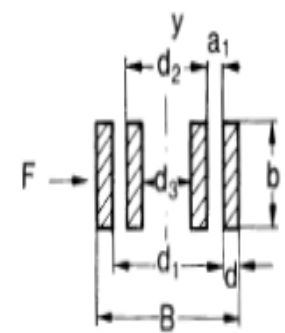
$$J_y = \frac{b}{12} (B^3 - a'^3)$$

$$Z_y = \frac{D}{6B} (B^3 - a'^3)$$



$$J_y = \frac{b}{12} (B^3 - d_1^3 + d^3)$$

$$Z_y = \frac{D}{6B} (B^3 - d_1^3 + d^3)$$



$$J_y = \frac{b}{12} (B^3 - d_1^3 + d_2^3 - d_3^3)$$

$$Z_y = \frac{D}{6B} (B^3 - d_1^3 + d_2^3 - d_3^3)$$

Passo 5) COMPARAR TENSÕES NOS CONDUTORES E FORÇAS NOS ISOLADORES COM LIMITES PERMITIDOS.

TENSÕES NOS CONDUTORES

$$\sigma_T < \sigma_{0.2}$$

$$\sigma_H + \sigma_T < 1.5 * \sigma_{0.2}$$

$$\sigma_{0.2} \text{ copper} = 250 \text{ N / mm}^2$$

$$\sigma_{0.2} \text{ alumínio} = 120 \text{ N / mm}^2$$

FORÇAS NOS ISOLADORES

(valores em tração, compressão e flexão)

CONTACT US

GISTER

ARCH

ACK

ISO 9001

Also available in cycle-aliphatic resin for outdoor applications.

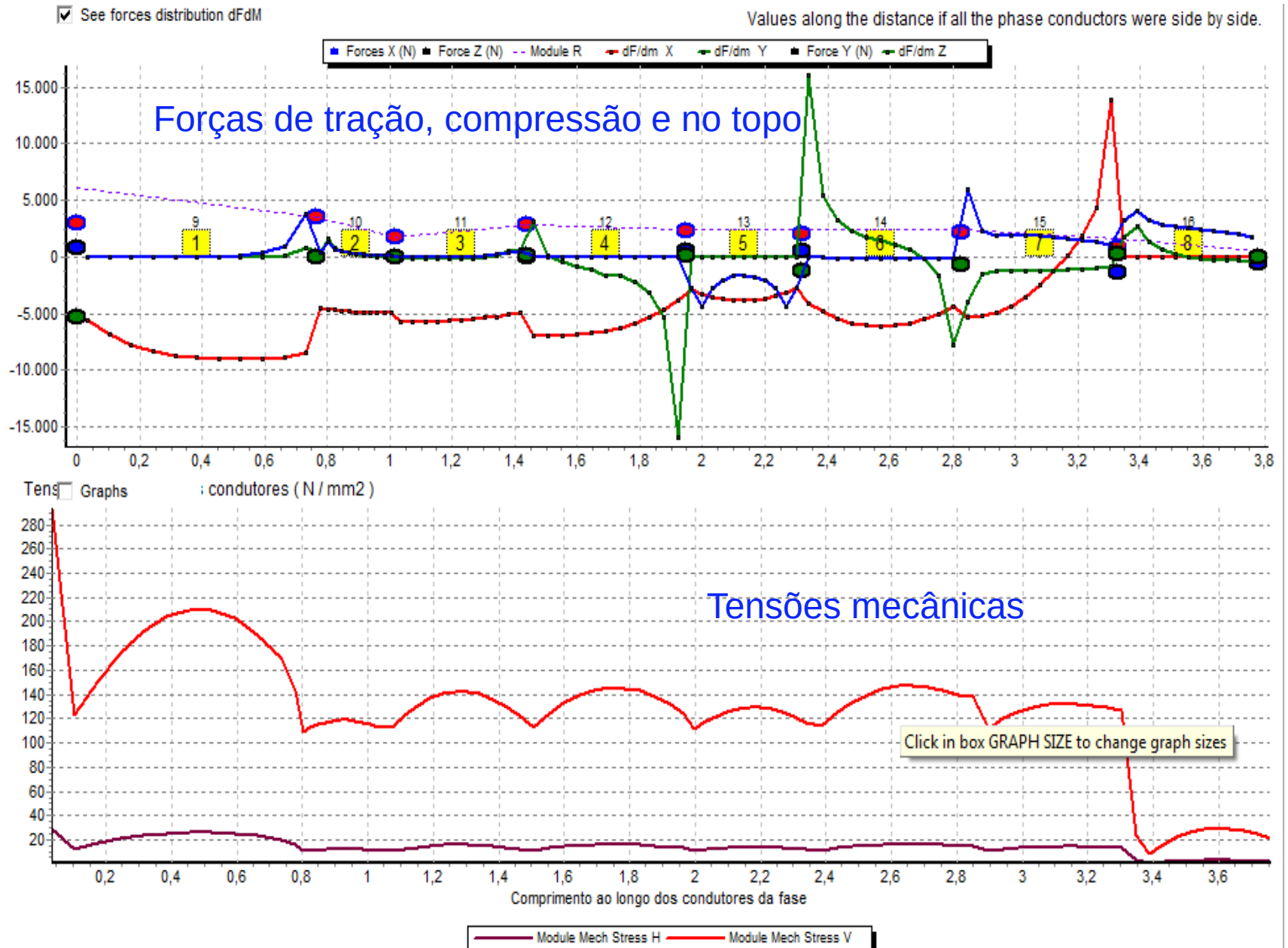
Cat. No.	Nom. Voltage (kV)	NEI (kV)	Withstand Voltage	Dimensions Ø (mm)					Qty. of sheds	Leakage Distance (+/- 5 mm)
				A	B	C	D	E		
ATIS-59/95 MLT	8	60	20	59	95	38	36	10	2	115
ATIS-72/95 MLT	8	60	20	72	95	45	46	10	2	119
ATIS-96/102 MLT	8	60	20	96	102	-	-	-	3	120
ATIS-61/130 MLT	10	60	28	61	130	38	36	20	5	175
ATIS-77/130 MLT	10	60	28	77	130	45	46	20	5	190
ATIS-91/130 MLT	10	60	28	91	130	55	65	20	4	180
ATIS-118/130 MLT	10	75	28	118	130	65	-	10	4	207
ATIS-75/150 MLT	15	95	34	75	150	45	-	20	4	220
ATIS-75/175 MLT	20	110	50	75	175	45	36	20	6	270
ATIS-83/175 MLT	20	110	50	83	175	50	46	20	6	250
ATIS-75/210 MLT	24	150	50	75	210	45	36	20	8	335
ATIS-90/210 MLT	24	150	50	90	210	50	46	25	8	300
ATIS-82/300 MLT	36	170	70	82	300	45	36	20	11	505
ATIS-90/300 MLT	36	170	70	90	300	40	36	20	11	545
ATIS-98/300 MLT	36	170	70	98	300	60	46	20	11	480
ATIS-104/372 MLT	36	170	70	104	372	-	-	20	11	550

Cont...

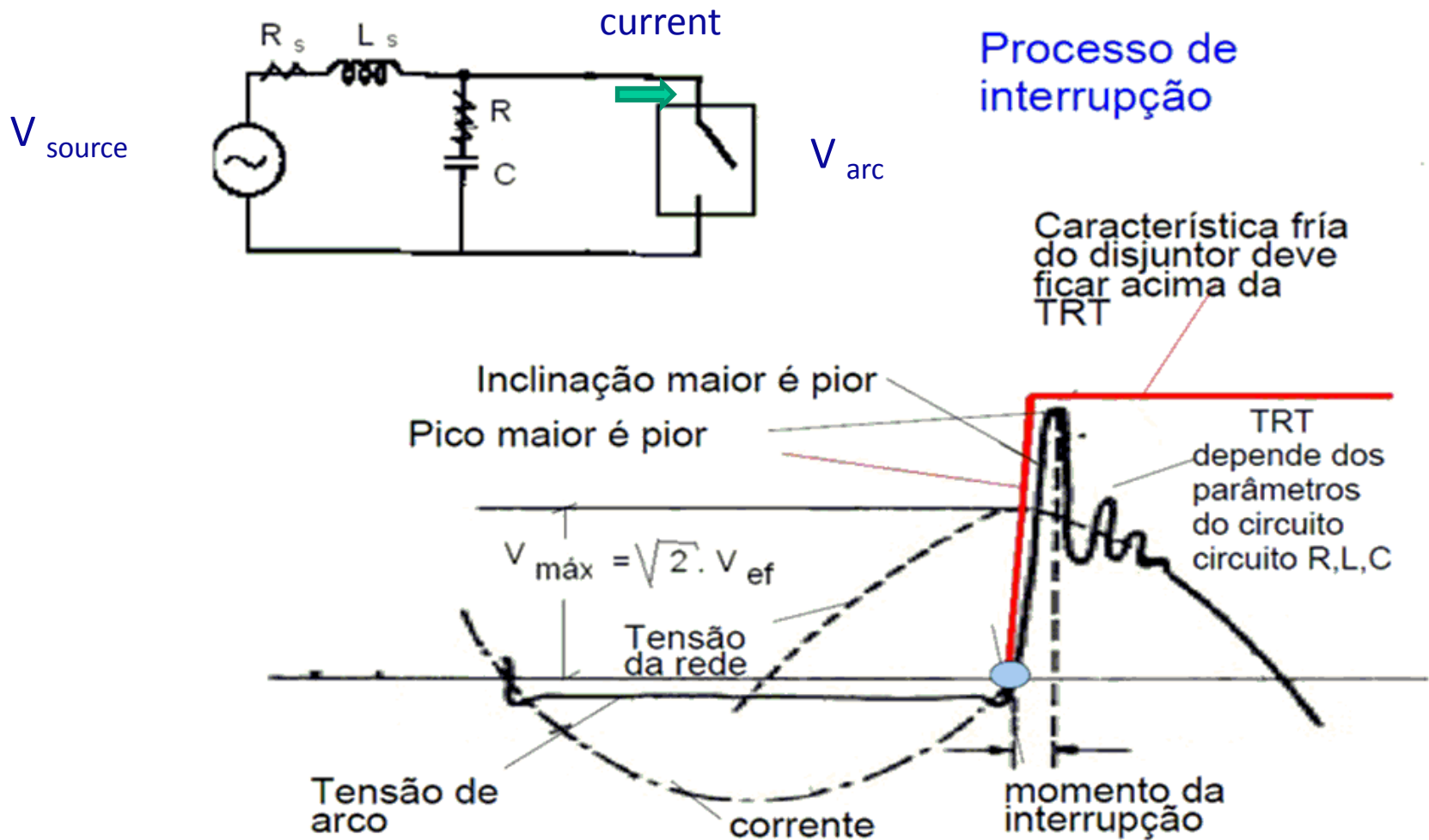
Cat. No.	F		Threads G		H		Approx. Weight (g)	Bending Surface Distance (Kgf)	Traction (Kgf)	Compression (Kgf)
	Type	Depth	Type	Depth	Type	Depth				
ATIS-59/95 MLT	M16	25	M6	9	M10	15	420	500/30	1000	>6.000
ATIS-72/95 MLT	M16	26	M10	15	M16	25	650	1000/40	200	>6.000
ATIS-96/102 MLT	M12	32	-	-	M12	32	1290	1000/20	2000	>6.000
ATIS-61/130 MLT	M16	25	M6	9	M10	15	570	500/30	1200	>6.000

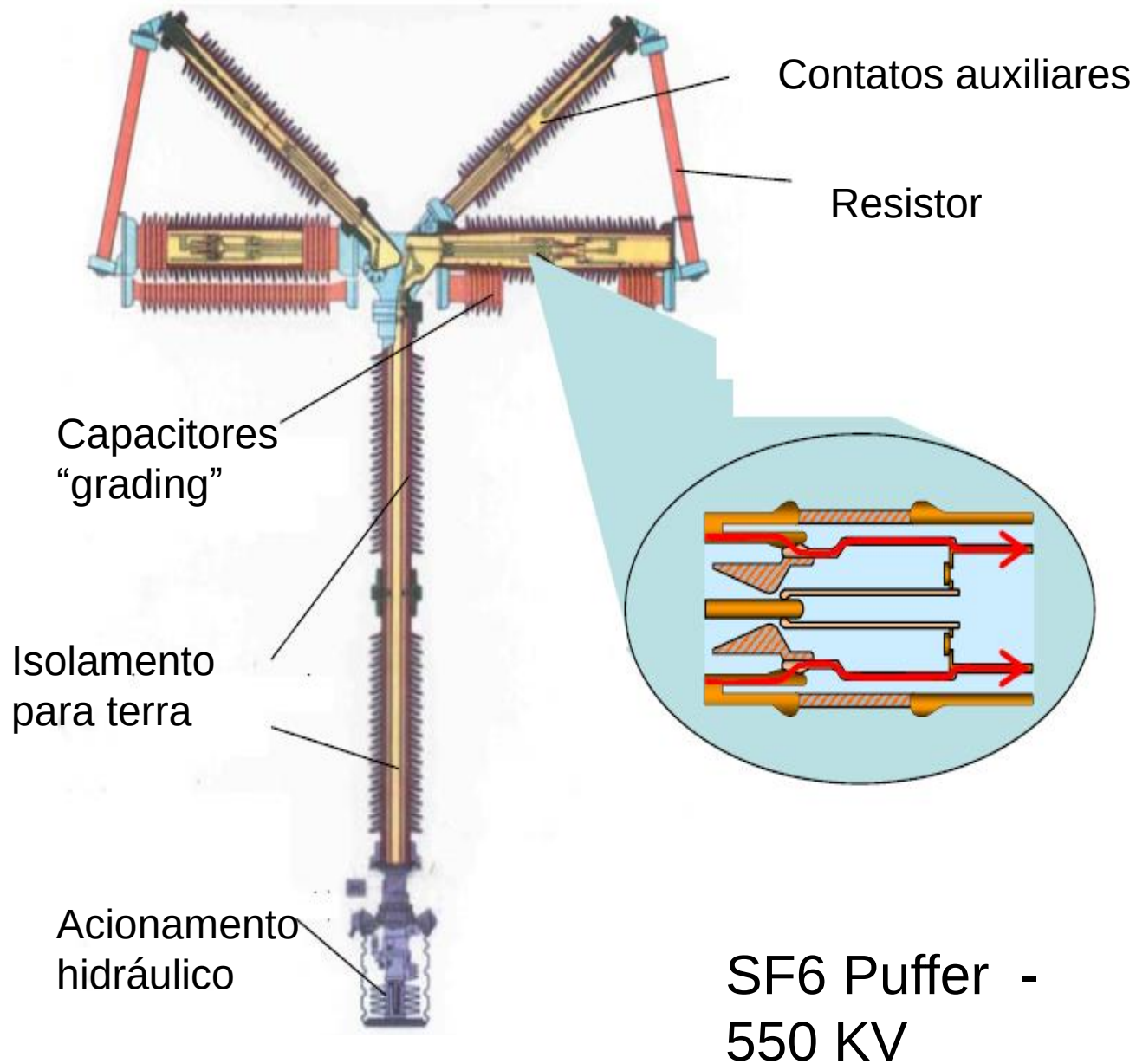
view

Esforços eletrodinâmicos – EXEMPLOS NO SOFTWARE

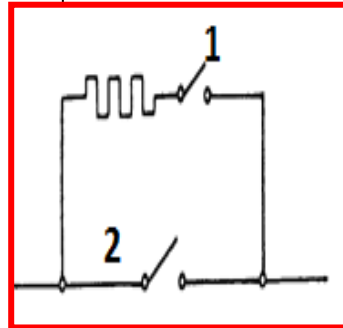


TENSÕES TRANSITORIAS DE RESTABELECIMENTO E PROCESSOS DE INTERRUÇÃO EM DISJUNTORES, CHAVES E FUSÍVEIS





FECHAMENTO:



- Fecha contato 1
- Após intervalo de tempo fecha contato 2
- Abre contato 1

Típico 400 Ohm durante 6 a 8 ms

- manobra de bancos de capacitores (energização e back-to-back)
- energização e religamento de LT's longas
- redução de correntes de "inrush" no chaveamento de transformadores em vazio

ABERTURA:

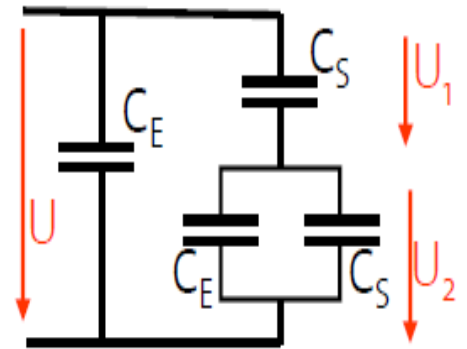
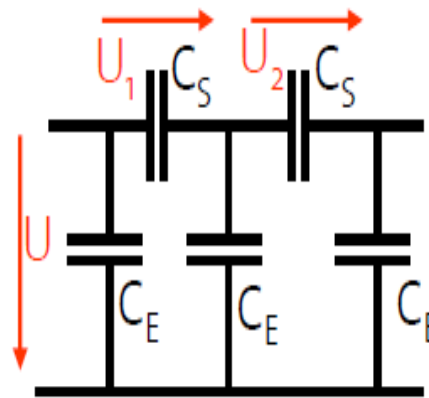
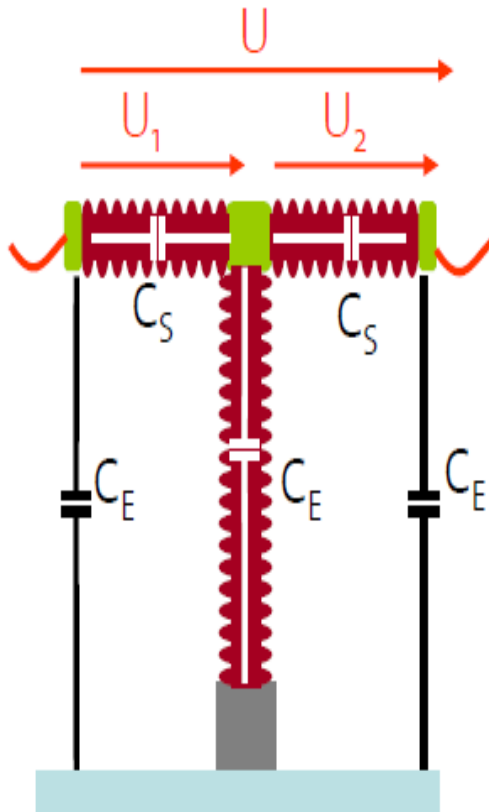
- Fecha contato 1
- Abre contato 2
- Após intervalo de tempo abre contato 1

Típico: 600 Ohm durante 16 ms

- equalização das tensões entre câmaras (50 000 ohm)
- redução da TRT e TCTR p/ faltas terminais e quilométricas
- redução de sobretensões na abertura de pequenas correntes indutivas e capacitivas

CAPACITORES DE EQUALIZAÇÃO

Aumentar C_s colocando C_{Grading} em paralelo com C_s



$$\frac{U_2}{U} = \frac{U_2}{U_1 + U_2} = \frac{C_s}{2C_s + C_E}$$

Typical values:

C_s = 5-20 pF

C_E (substation) = 5-10 pF

C_E (SF₆) = 50-400 pF

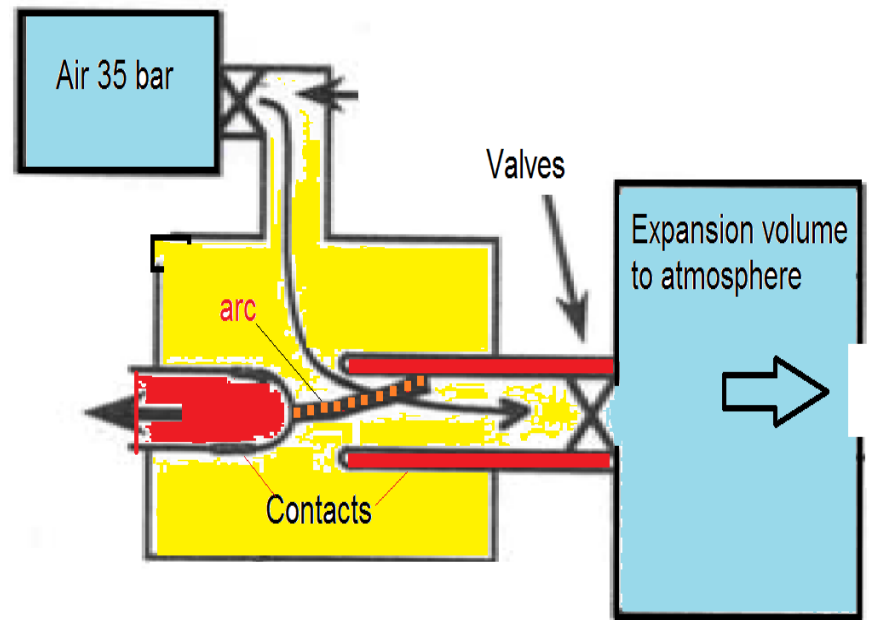
$C_{\text{grading cap.}}$ = 100-2000 pF

145 kV - 1 câmara
245 kV - 2 câmaras
362 kV - 2 ou 4 câmaras
500 kV - 4 câmaras
800 kV - 8 câmaras

DISJUNTORES A AR COMPRIMIDO

Extinção do arco por ar comprimido armazenado em alta pressão

Sopro nos contatos, resfria e comprime arco

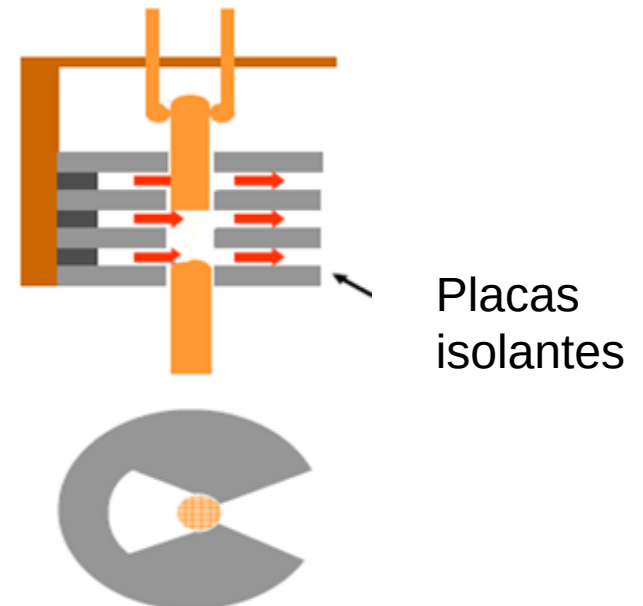


DISJUNTORES A ÓLEO

Decomposição de óleo pelo arco produz gases

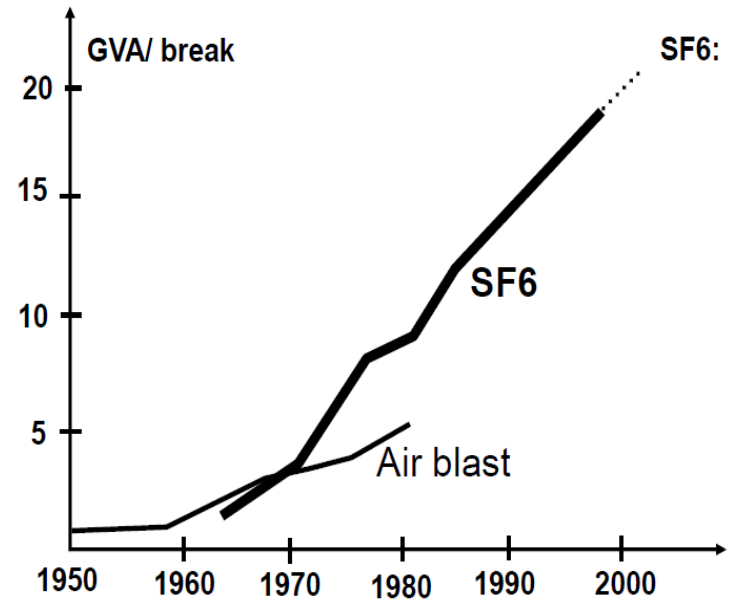
Contatos se afastam expondo aberturas pelas quais gases na câmara passam devido às altas pressões em direção a duto de alívio de pressão.

Arco se alonga e quando a corrente passa por zero, há instante em que não é liberada energia.

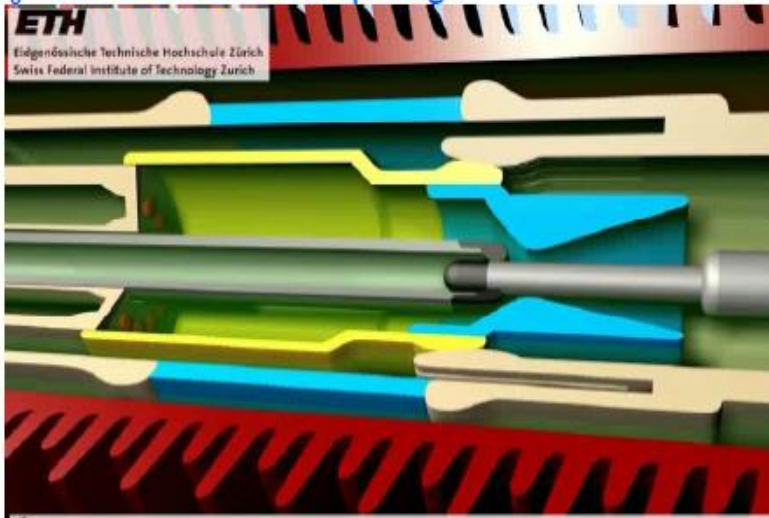


DISJUNTORES A SF₆

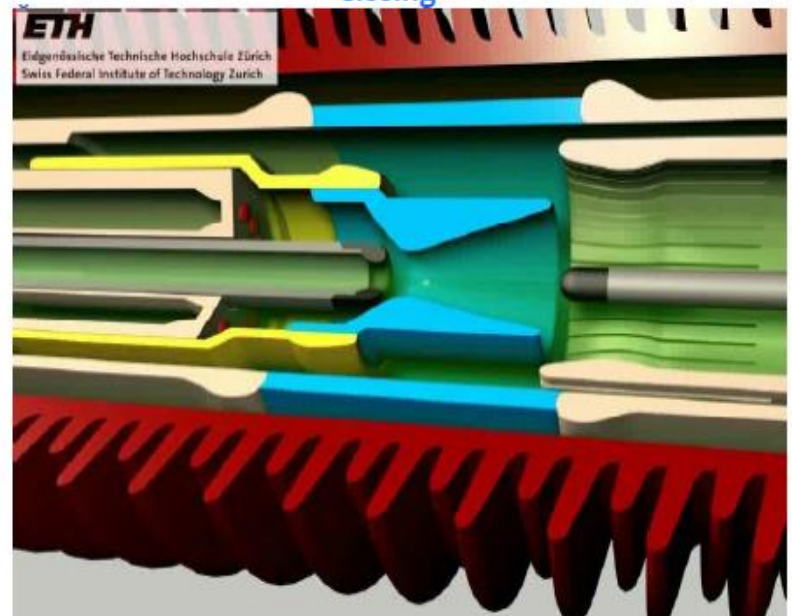
- SF₆ :estável e inerte e 5 x mais pesado que o ar
- Rigidez dielétrica é 2,5 vezes maior que a do ar.
- Contaminação por ar : 20% de ar reduz 5% da rigidez dielétrica do gás.
- Atuais: "Puffer" com pressão única (3 ~ 6 bar)
- Pistão move-se e comprime o gás a pressões de ~6 vezes a inicial .
- Gás flui por contatos em alta velocidade



SF₆ Puffer Circuit Breaker: Opening



Closing

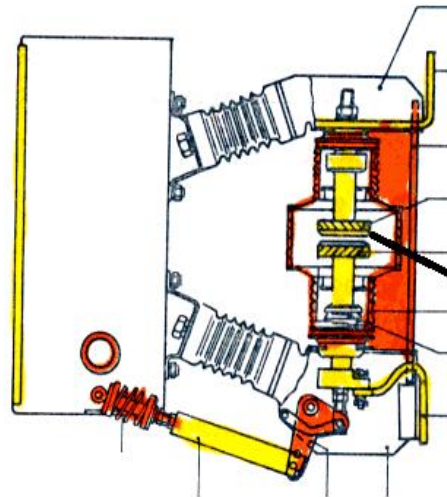
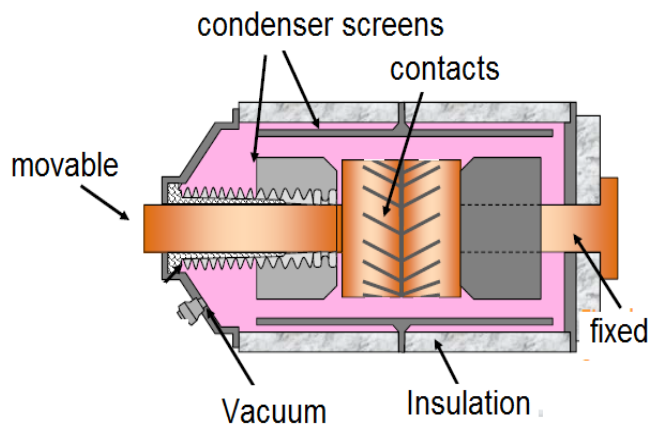


DISJUNTORES a VACUO

Arco formado entre contatos diferente de outros tipos de disjuntor, sendo mantido por íons de material metálico vaporizado vindo dos contatos.

Na corrente zero o espaço entre os contatos é rapidamente deionizado (condensação de vapores metálicos nos eletrodos)

Características excelentes de suportabilidade dielétrica pós- interrupção.



SEQUÊNCIA NOMINAL DE OPERAÇÃO DE DISJUNTORES

$O - t - CO - t' - CO$

$t = 3$ minutos em disjuntores sem religamento rápido .

$t = 0,3$ s para disjuntores com religamento rápido.

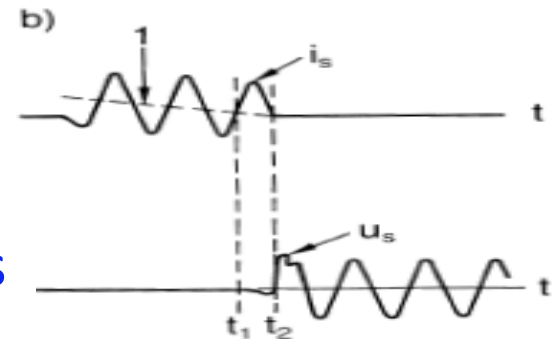
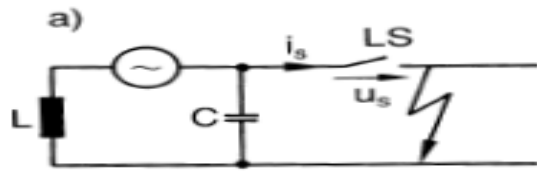
$t' = 3$ minutos

$CO - t'' - CO$

$t'' = 15$ s, para disjuntores sem religamento rápido.

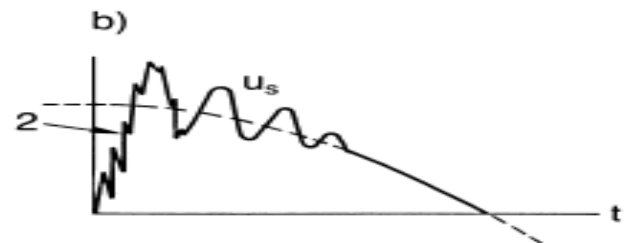
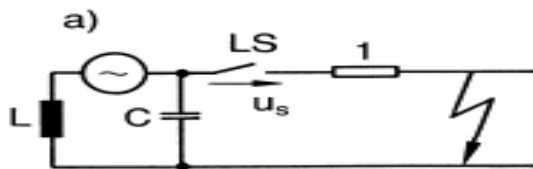
Interrupção de faltas nos terminais

Terminal fault (asymmetrical short-circuit current), Fig. 10-13



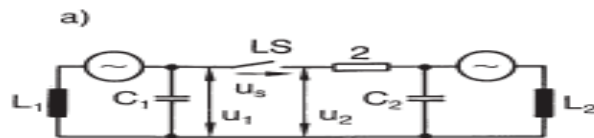
Interrupção de faltas em linhas curtas

Short-line fault, Fig. 10-14

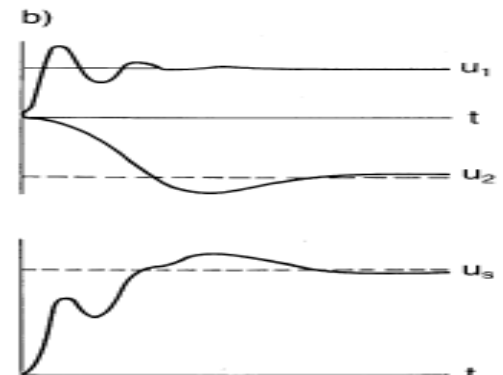


Interrupção de faltas em discordância de fases

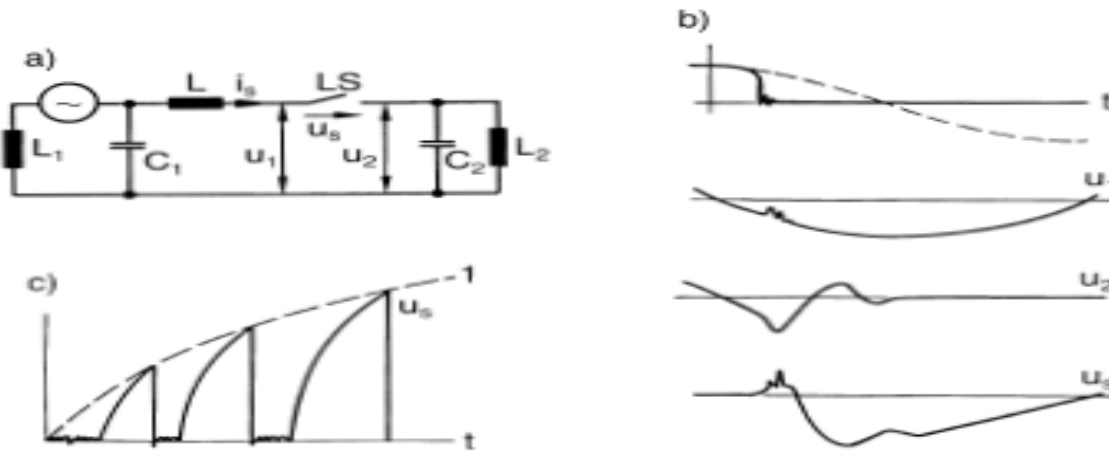
Switching under out-of-phase conditions (phase opposition)



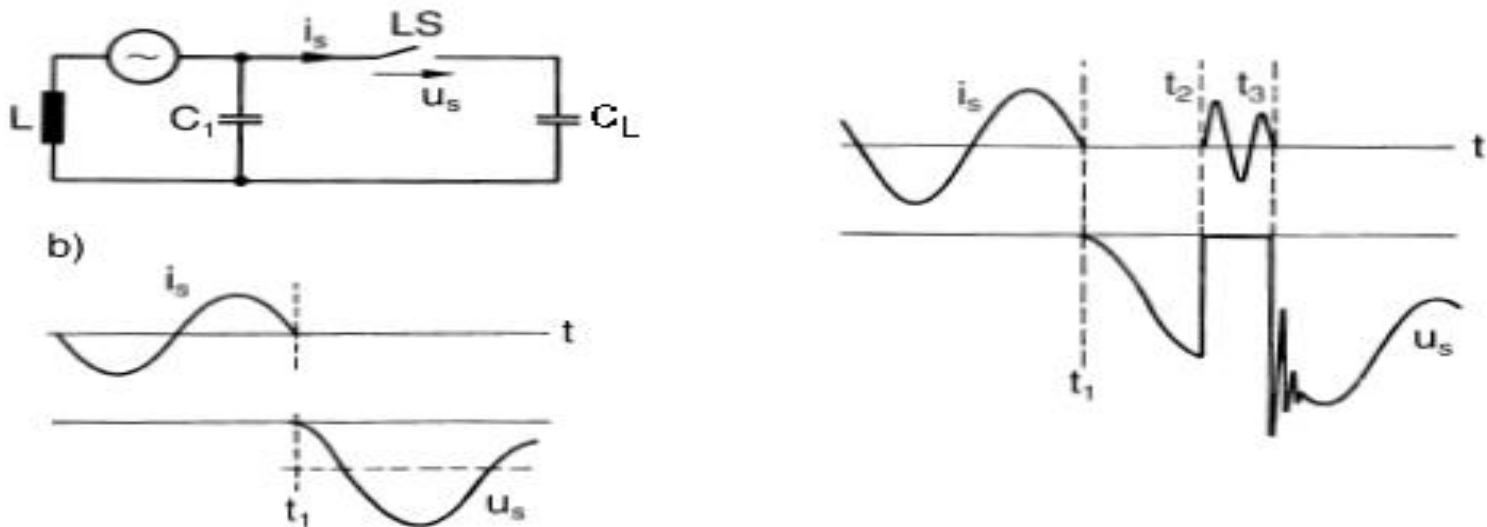
Switching under out-of-phase conditions,
a) simplified equivalent circuit,
b) voltage stress on circuit-breaker



Interrupção de pequenas correntes indutivas



Chaveamento de linhas em vazio e cabos



MATERIAL COMPLEMENTAR PARA ESTUDO

CALCULOS DE ELEVAÇÃO DE TEMPERATURA

- Equações de calculo para montar um programa de calculo
 - Calculo da elevação de temperatura dos condutores acima da temperatura do ar
 - Calculo da elevação de temperatura do fluido (ar,...) pelo método da IEC 60890
- Propriedades de materiais isolantes
- Propriedades de materiais condutores
- Comentários sobre materiais de contatos
- Efeitos das diferentes atmosferas na oxidação

CALCULOS DE ELEVAÇÃO DE TEMPERATURA

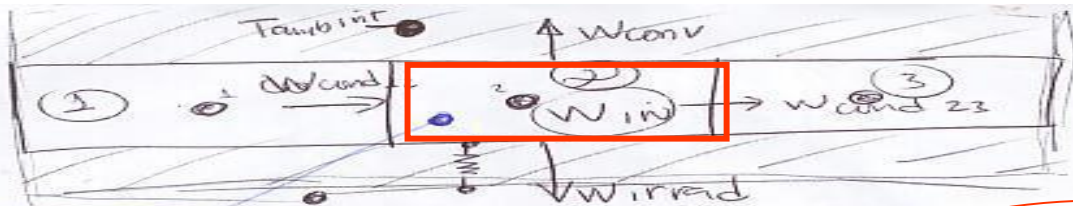


Diagram showing a thermal system with three nodes (1, 2, 3) and heat flows. Node 2 is highlighted with a red box. The diagram includes labels for ambient temperature T_{amb} , heat flows W_{cond} , W_{in} , W_{conv} , W_{irrad} , and W_{abs} . A velocity vector v is shown at Node 2.

Energy balance equation for Node 2:

$$W_{cond\ 12} + W_{in} = W_{cond\ 23} + W_{conv} + W_{irrad} + W_{abs} + \text{Massa} \times C_M \times \frac{\Delta T}{\Delta t}$$

Heat transfer equations for the interfaces:

$$\frac{K_{12} \cdot S_{12} (T_2 - T_1)}{\Delta m_{12}} + W_{in} = \frac{K_{23} \cdot S_{23} (T_3 - T_2)}{\Delta m_{23}} + W_{conv} + W_{irrad} + W_{abs} + \text{Massa} \times C_M \times \frac{(T_2 - T_2^{old})}{\Delta t}$$

Passing to ΔT :

$$\frac{K_{12} S_{12}}{\Delta m} (\Delta T_1) + \left(\frac{K_{12} S_{12}}{\Delta m_{12}} - \frac{K_{23} S_{23}}{\Delta m_{23}} - \frac{\text{massa} \times C_M}{\Delta t} \right) \Delta T_2 + \frac{K_{23} S_{23}}{\Delta m_{23}} (\Delta T_3) - W_{conv} - W_{irrad} = -W_{in} - \text{massa} \times C_M \times \frac{\Delta T_2^{old}}{\Delta t}$$

Or:

$$\left\{ \frac{K_{12} S_{12}}{\Delta m_{12}} + \frac{K_{23} S_{23}}{\Delta m_{23}} \right\} (\Delta T_1) + \left(\frac{K_{12} S_{12}}{\Delta m_{12}} - \frac{K_{23} S_{23}}{\Delta m_{23}} - \frac{\text{massa} \times C_M}{\Delta t} - \frac{W_{conv}}{\Delta T_2} - \frac{W_{irrad}}{\Delta T_2} \right) \Delta T_2 = -W_{in} - \text{massa} \times C_M \times \frac{\Delta T_2^{old}}{\Delta t}$$

aux 1

aux 2

Entrada $W_{out} =$

Veloc. = $0,065 \frac{m}{s}$

Velocidade tem + impactsos se 1 barra.

W conv absorber =

W irrad absorber =

CALCULOS DE ELEVAÇÃO DE TEMPERATURA

A MATRIZ DE ELEVAÇÃO DE TEMPERATURAS (1/3)

aux 1										ΔT_1	aux 2
W_{cond12}	aux 1	W_{cond23}								ΔT_2	aux 2
	W_{cond12}	aux 1	W_{cond23}							ΔT_3	aux 2
		W_{cond12}	aux 1	W_{cond23}						ΔT_4	aux 2
			W_{cond12}	aux 1	W_{cond23}					ΔT_5	aux 2
				W_{cond12}	aux 1	W_{cond23}				ΔT_6	aux 2
					W_{cond12}	aux 1	W_{cond23}			ΔT_7	aux 2
						W_{cond12}	aux 1	W_{cond23}		ΔT_8	aux 2
							W_{cond12}	aux 1	W_{cond23}	ΔT_9	aux 2

1	2	3	4	5	6	7	8	9
○	○	○	○	○	○	○	○	○

CALCULOS DE ELEVAÇÃO DE TEMPERATURA

Os termos

$$Aux1 = -W_{cond12} - W_{cond23} - W_{conv-div-r} - W_{rad-div-r} - \frac{MC_{div-dT}}{dt}$$

$$Aux2 = -W_{in[pt]} + W_{statechange} + W_{out interruption} - old_MCD$$

$$W_{out[pt]} = W_{cond12} + W_{cond23} + W_{conv-div-r} + W_{rad-div-r}$$

$$W_{in[pt]} = W_{wire} + W_{arc} + W_{constrict} + W_{ext}$$

$$old_MCD = \frac{old\ T_{in[pt]} \times Cond\ Mass[pt] \times CM_{1a}}{DT_{neg}}$$

$$MC_{div-dT} = \frac{Cond\ Mass[pt] \times CM_{eq}}{DT}$$

$$W_{rad-div-r} = S_{total} \times \sigma \times \epsilon \times T_{amb}^3$$

$$W_{conv-div-r} = \frac{S_{total} \times Km_{1a} \times Nu_{eff}}{DH}$$

$$\frac{W}{m \cdot V} \times \frac{m^2}{m} = \frac{W}{V}$$

$$W_{cond12} = W_{cond}$$

$$Km_{1a} \times S_{area}$$

$$\Delta m_{(conditor)}$$

$$\uparrow$$

$$positive ou negativo?$$

(2/2)

	Symbol	Atomic weight	Atomic number	Density (kg/m ³)	Softening temperature (°C)	Melting temperature (°C)	Hardness H (10 ⁸ Pa)	Temperature		Resistivity (10 ⁻⁸ Ωm)	Temperature resistivity coefficient (10 ⁻³ K ⁻¹)	Specific heat (J/kg · K)	Thermal conductivity (W/m · K)	Total emissivity		Remarks
								°C	K					Bare	Oxidized	
Copper (annealed)	Cu	63.546	29	8 889	190	1 083	3.5 to 7.0	0 20 36.85 60	273.15 293.15 310 333.15	1.5881 1.7241 1.838 1.995	4.265 3.93 3.69	382 386 389 394	390 387 382 378	0.05	0.7	Cold-drawn copper: $\rho_{20^\circ\text{C}} = 1.759 \times 10^{-8} \Omega \cdot \text{m}$ Copper conductors in cables: $\rho_{20^\circ\text{C}} = 1.8 \times 10^{-8} \Omega \cdot \text{m}$
Brass	70 Cu, 30 Zn			8 530		915	~10	0 20	273.15 293.15	6 6.2	1.53 1.484	377	119 121	0.04	0.6	
Cupro- tungsten	W, 35 Cu, 0.5 Ni			13 600			15	20	293.15	5.3	6		150	0.1	0.5	
Aluminium (ASL)	Al	26.9815	13	2 700	150	658	1.5 to 8.0	0 20 36.85 60	273.15 293.15 310 333.15	2.6 2.8264 3.02 3.28	4.383 4.03 3.77	881 891 900 910	202 203 204 205	0.07	0.6	Aluminium cable conductors: $\rho_{20^\circ\text{C}} = 3.06 \times 10^{-8} \Omega \cdot \text{m}$
Almelec (AG5L)	Al, 0.5 Mg, 0.5 Si			2 700		552		0 20 36.85	273.15 293.15 310	3.016 3.25 3.45	3.88 3.6 3.39	890	185	0.07	0.6	Cabled Almelec: $\rho_{20^\circ\text{C}} = 3.3 \times 10^{-8} \Omega \cdot \text{m}$
Al. alloy (AG3)				2 700				20	293.15	5.5		890	125	0.07	0.6	
Ductalex	Be, Cu, Mg			2 700				20	293.15	2.826	3.9	890		0.07	0.6	Alloy still at experimental stage
Silver	Ag	107.868	47	10 500	180	962	2.6 to 6.0	0 20	273.15 293.15	1.47 1.59	4.08 3.77	234 235	418			
Tin	Sn	118.69	50	7 300	100	232	0.45 to 0.6	0 20 60	273.15 293.15 333.15	11 12 14	4.47	223.5 226.4 232.2	62.8 62.5 62.0	0.08	0.55	Amorphous state (β)
Nickel	Ni	58.71	28	8 900	520	1 453	7.0 to 20.0	0 20 60	273.15 293.15 333.15	5.9 6.84 8.73	6.9	398 412 442	95.2 92.5 87.8	0.02		Pure nickel
Exconal	Copper plated aluminium (15% Cu by volume)			3 630				20	293.15	2.65	4.1	710	240	0.05	0.7	Contact surface equivalent to annealed copper

PROPRIEDADES DE MATERIAIS ISOLANTES

	Pressure (bar) (10 ⁵ Pa)	Temperature		Density ρ (kg/m ³)	Thermal conduc- tivity λ (W/m · K)	Dynamic viscosity μ_d (10 ⁻⁵ Pa · s)	Compres- sibility β (10 ⁻³ K ⁻¹)	Specific heat C_p (J/kg · K)	Remarks
		°C	K						
Air	1	-23.15	250	1.4133	0.02227	1.599	4.017	1005.4	
		0	273.15	1.2928	0.02419	1.728	3.67	1005.6	
		20	293.15	1.205	0.02585	1.822	3.40	1006.3	
		46.85	320	1.1033	0.02779	1.939	3.131	1007.3	
SF ₆	1.3	20	293.15	7.95	0.01355	1.52	3.33	655	Indicative values
Sulphur	3	20	293.15	18.65	0.01355	1.52	3.33	655	
hexa- fluoride	5	87.5	360.65	25.3	0.0142	1.82	2.78	766	
	Liquid	20	293.15	1371	0.150	29.1	7.1	1557	
Oil	1	20	293.15	870	0.13	26	0.764	1880	Indicative values

EFEITOS DE diferentes ATMOSFERAS na oxidação

Metal	Reactant	Reaction product	Oxidation formula obtained	Units Remarks	Sources	Examples		
						Temperature (°C)	Thickness formed × 10 ⁻¹⁰ m	
							After 1000 h	After 100 000 h
Copper	Atmospheric oxygen	Cu ₂ O	$s = \sqrt{s_0^2 + t \cdot e^{\left(34.31 - \frac{11\,700}{T_c}\right)}}$	s, s_0 in angströms*; ($s_0 \approx 20$ Å, oxide thickness immediately formed on the metal) t = time in hours T_c = temperature in kelvins (thermodynamic temperature)	Rönnquist, quoted by Holm (Electric Contacts, Springer Verlag)	20 55 60 85 100	21.7 35 39 87 150	37 170 210 690 1300
Aluminium	Atmospheric oxygen	Al ₂ O ₃	The thickness of Al ₂ O ₃ oxide formed on the aluminium does not exceed 50 Å, the initial oxidation of 20 Å being attained after a few seconds. The film obtained is insulating and must be broken to allow the passage of current in the case of electric contacts. The presence of water vapour favours the growth of the film which can continue for months, but very slowly.			50 Å (unusable without preparation as contact material)		
Tin	Atmospheric oxygen	SnO	$s = 5.22 \ln 47 t \cdot e^{\left(7.92 - \frac{2400}{T_c}\right)}$	s in angströms*, t in hours, T_c in kelvins ($s_0 \approx 15$ Å)	Britton and Bright, Metallurgica 56 (1957), p. 163	20 55 60 85 100	42 103 114 188 250	61 146 162 260 360

Metal	Reactant	Reaction product	Oxidation formula obtained	Units Remarks	Sources	Examples		
						Tempera- ture (°C)	Thickness formed × 10 ⁻¹⁰ m	
							After 1 000 h	After 100 000 h

Nickel	Atmo- spheric oxygen	NiO	$s = \sqrt{s_0^2 + t \cdot e^{\left(4.68 - \frac{1800}{T_c}\right)}}$	s in angströms*, t in hours, T_c in kelvins ($s_0 \approx 10 \text{ Å}$)	Pilling and Bedworth, quoted by Holm (Electric Contacts, Springer Verlag)	20 55 60 85 100	15.5 21 22 27 34	150 210 220 270 340
Silver	H ₂ S and sulphur- ous vapours	Ag ₂ S	$t < 40 : s = 60 t^{1/3} e^{\left(27.5 - \frac{8000}{T_c}\right)}$ $40 \leq t < 70 : s$ $= 0.121 t^{2.57} e^{\left(27.5 - \frac{8000}{T_c}\right)}$ $t \geq 70 : s = 3\,750 t^{0.15} e^{\left(27.5 - \frac{8000}{T_c}\right)}$	In saturated damp air at 20 °C containing 2% by volume of hydrogen sulphide	Frischmeister and Drott, Acta Metallurgica, vol. 7 (Dec. 1959), p. 777	Depends on the concentration of sulphurous vapours. The danger threshold is about 1/10 ⁹ (in volume)		
	Ozone	Ag ₂ O	Remains very thin (<10 Å) and decomposes at 200 °C – its presence is not a problem with contacts			<10 Å		
	Atmo- spheric sulphur	Ag ₂ S	$s = \sqrt{s_0^2 + t \cdot e^{\left(29 - \frac{8000}{T_c}\right)}}$	s in angströms*, t in hours, T_c in kelvins ($s_0 \approx 16 \text{ Å}$)	According to W.E. Camp- bell, Electrical Contacts, IIT 1972, p. 185	Does not depend on humidity, but on the air circulation speed. The action of free sulphur S appears preponderant vis-à-vis H ₂ S or SO ₂		

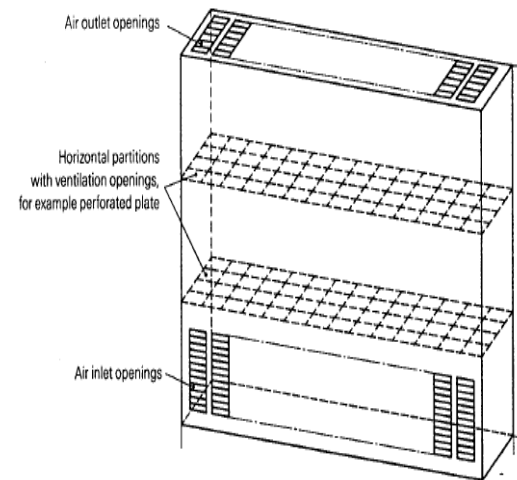
* 1 Å = 10⁻¹⁰ m.

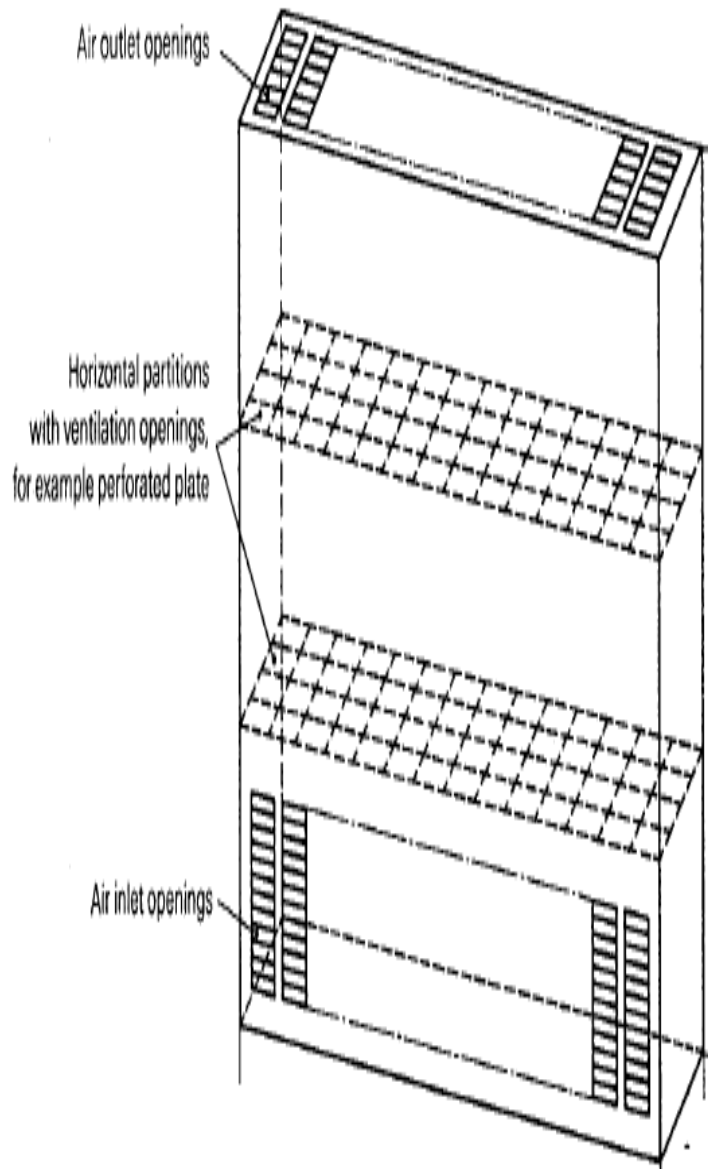
VERIFICAÇÃO DA ELEVAÇÃO DE TEMPERATURA DO AR

TECHNICAL REPORT IEC 890

A method of temperature-rise assessment by extrapolation for partially type-tested assemblies (PTTA) of low-voltage switchgear and controlgear

Estimar a temperatura do ambiente dentro de um invólucro metálico com ou sem aberturas e com uma certa potencia elétrica dissipada em seu interior





- Without air ventilation
- ~ even distribution of power losses inside the enclosure
- Air circulation is but little impeded
- Eddy currents are negligible
- For enclosures with ventilation openings the cross section of the air outlet openings is at least 1.1 times the cross section of the inlet air openings
- No more than 3 horizontal partitions
- Surface of ventilation openings is at least 50 % of the horizontal cross section if there are partitions

Sequência de cálculo (elevação de temperatura a 50% e 100% da altura)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Formula			Enclosure		Characteristic					Curve
Área efetiva de resfriamento	elevação		Effective cooling surface Ae		Factors				Exponent	Plotting
	50% height	100% height			b	k	d	c		
					See	See	See	See		
Ae = Sum of areas X b	k x d x P x	C x 50% value (3)	> 1,25 m ²	Enclosure without openings	Tab III	Fig 3	Tab IV	Fig 4	0,804	.See 5.2.4.1
				Enclosure with openings		Fig 5	Tab V	Fig 6	0,715	
			< 1,25 m ²	Enclosure without openings		Fig 7	-	Fig 8	0,804	.See 5.2.4.2

CALCULATION SEQUENCE

TABLE I *Method of calculation, application, formulae and characteristics*

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Formula			Enclosure		Characteristic					Curve
Effective cooling surface A_e	Temperature rise		Effective cooling surface A_e		Factors				Exponent	Plotting
	50% height	100% height			b See	k See	d See	c See	x	
A_e = Sum of areas X b (1)	k X d X P X (2)	C X 50% value (3)	> 1,25 m ²	Enclosure without openings	Tab III	Fig 3	Tab IV	Fig 4	0,804	.See 5.2.4.1
				Enclosure with openings		Fig 5	Tab V	Fig 6	0,715	
			< 1,25 m ²	Enclosure without openings		Fig 7	—	Fig 8	0,804	.See 5.2.4.2

Calc EC890 delta Test

Calculator

Height (H) 2,2

Width (W) 1

Depth (D) 0,5

Type fig4 (C) 2

Contacts losses 1

Bars losses 1

Other power losses 300

Partitions hor. 0

Openings (Y / N) N

Openings area (cm2) 144

Effective area m2 5,8

K 0,13

D 1,00

X 0,80

C 1,41

DeltaT 100% 19,3

DeltaT 50% 13,7

Dimensões

Tipo de instalação

Watts internos

Partições

Há aberturas de ventilação?

Área das aberturas

Elevação de temperatura do ar interno

Symbol	Type of installation of enclosure	Curve
	= Separate enclosure, detached on all sides	1
	= Separate enclosure for wall-mounting	3
	= First or last enclosure, detached type	2
	= First or last enclosure, wall-mounting type	4
	= Central enclosure, detached type	3
	= Central enclosure, wall-mounting type	5
	= Central enclosure for wall-mounting and with covered top surface	4

A_0 = surface of external sides of enclosure (m^2)

A_b = surface of base (m^2)

A_e = effective cooling surface (m^2)

B = surface factor

C = temperature distribution factor

D = factor for horizontal partitions

F = height / base factor

H, W = enclosure height and width (m)

K = enclosure constant

N = number of horizontal partitions

P effective power loss inside (Watts)

X = exponent

$\Delta T_{0.5}$ = temperature rise at 50% of the height

Tipo de instalação (Figura 4)

Symbol	Type of installation of enclosure	Curve
	= Separate enclosure, detached on all sides	1 -
	= Separate enclosure for wall-mounting	3 -
 	= First or last enclosure, detached type	2 -
 	= First or last enclosure, wall-mounting type	4 -
	= Central enclosure, detached type	3 -
	= Central enclosure, wall-mounting type	5 -
	= Central enclosure for wall-mounting and with covered top surface	4 -

Factor **B** (to calculate effective area in column 1)

Type of installation	Surface factor <i>b</i>
Exposed top surface 1	1.4
Covered top surface, e.g. of built-in enclosures 2	0.7
Exposed side faces, e.g. front, rear and side walls 3	0.9
Covered side faces, e.g. rear side of wall-mounted enclosures 4	0.5
Side faces of central enclosures 5	0.5
Floor surface 6	not taken into account

Fator D

	Partições (1, 2, 3 e 4)			
Factor D Without ventilation openings $A_e > 1,25 \text{ m}^2$	1,00	1,05	1,15	1,30
Factor D With ventilation openings $A_e > 1,25 \text{ m}^2$	1,03	1,05	1,10	1,15

- Dimensions of the enclosure (H x W x D)

- Type of installation (Figure 4)

Symbol	Type of installation of enclosure	Curve
	= Separate enclosure, detached on all sides	1
	= Separate enclosure for wall-mounting	3
	= First or last enclosure, detached type	2
	= First or last enclosure, wall-mounting type	4
	= Central enclosure, detached type	3
	= Central enclosure, wall-mounting type	5
	= Central enclosure for wall-mounting and with covered top surface	4

- Calculate the efective area using factor b and table 3

- Calculate $\Delta T (50\%) = k \cdot d \cdot P^x$

- Design with or without ventilation openings

- Number of internal horizontal partitions

- Effective power loss of equipment installed in enclosure

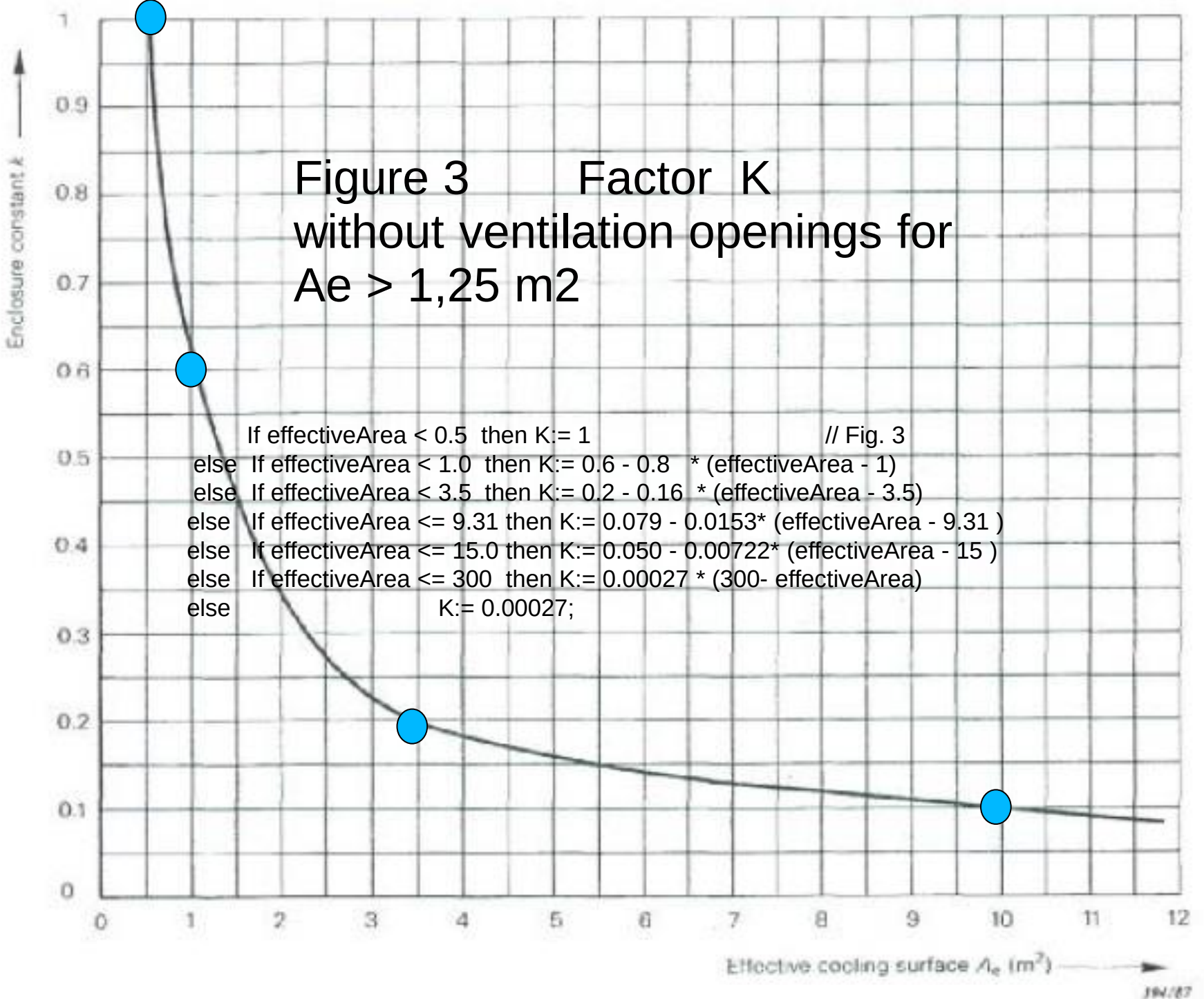


FIG.3. — Enclosure constant k for enclosures without ventilation openings, with an effective cooling surface $A_e > 1.25 \text{ m}^2$.

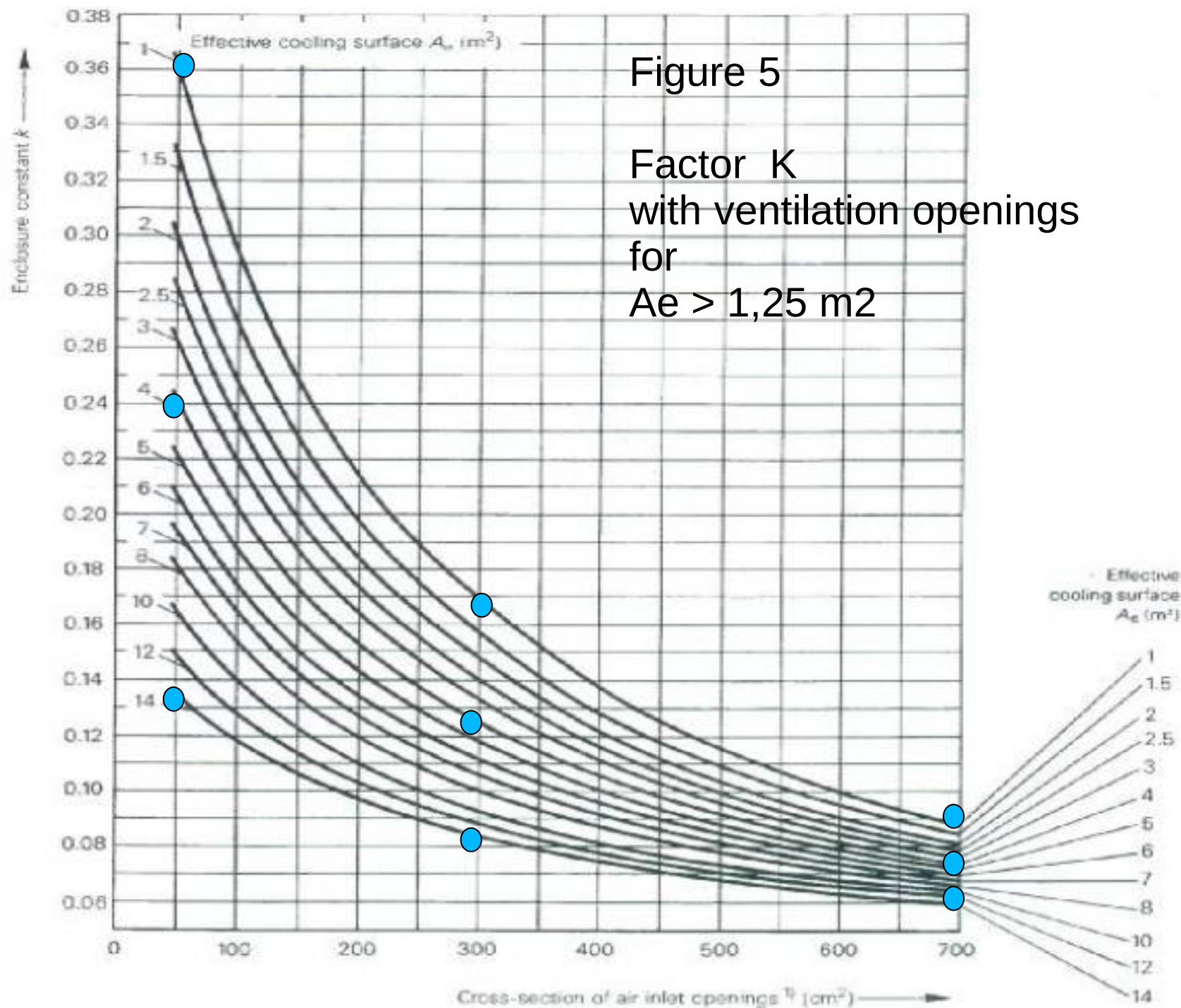
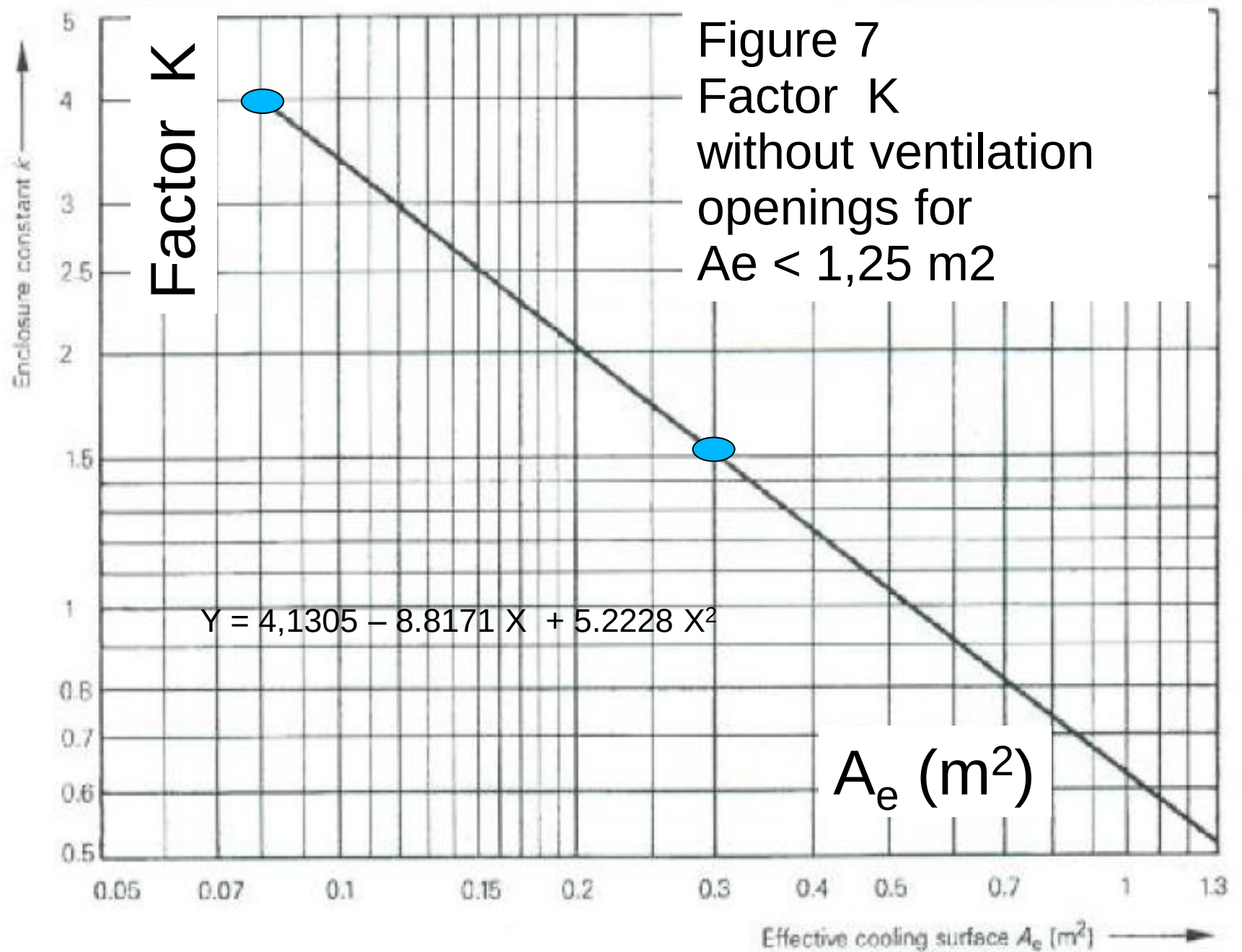


FIG. 5. — Enclosure constant k for enclosures with ventilation openings and an effective cooling surface $A_e > 1.25 \text{ m}^2$.



398/87

FIG. 7. — Enclosure constant k for enclosures without ventilation openings and with an effective cooling surface $A_e < 1.25 \text{ m}^2$.

Factor F to calculate C in figure 4

5.2.3 Determination of the internal temperature rise $\Delta t_{1,0}$ of air at the top of the enclosure

The calculation is made according to formula (3) in column 3 of Table I.

Factor c allows for the temperature distribution inside an enclosure. Its determination varies with the design and installation of the assembly as follows:

- a) For enclosures without ventilation openings and with an effective cooling surface:

$$A_e > 1.25 \text{ m}^2$$

The factor c from Figure 4, page 25, depends on the type of installation and the height/base factor f , where:

$$f = \frac{h^{1.35}}{A_b}$$

- b) For enclosures with ventilation openings and with an effective cooling surface:

$$A_e > 1.25 \text{ m}^2$$

The factor c from Figure 6, page 29, depends on the cross-section of air inlet openings and the height/base factor f , where:

$$f = \frac{h^{1.35}}{A_b}$$

- c) For enclosures without ventilation openings and with an effective cooling surface:

$$A_e \leq 1.25 \text{ m}^2$$

The factor c from Figure 8, page 33, depends on the height/width factor g , where:

$$g = \frac{h}{w}$$

where:

h is the enclosure height, in metres

A_b is the surface area of the enclosure base, in square metres

w is the enclosure width, in metres

TYPES OF INSTALATION X TEMPERATURE DISTRIBUTION FACTOR (C)

FACTOR (C)

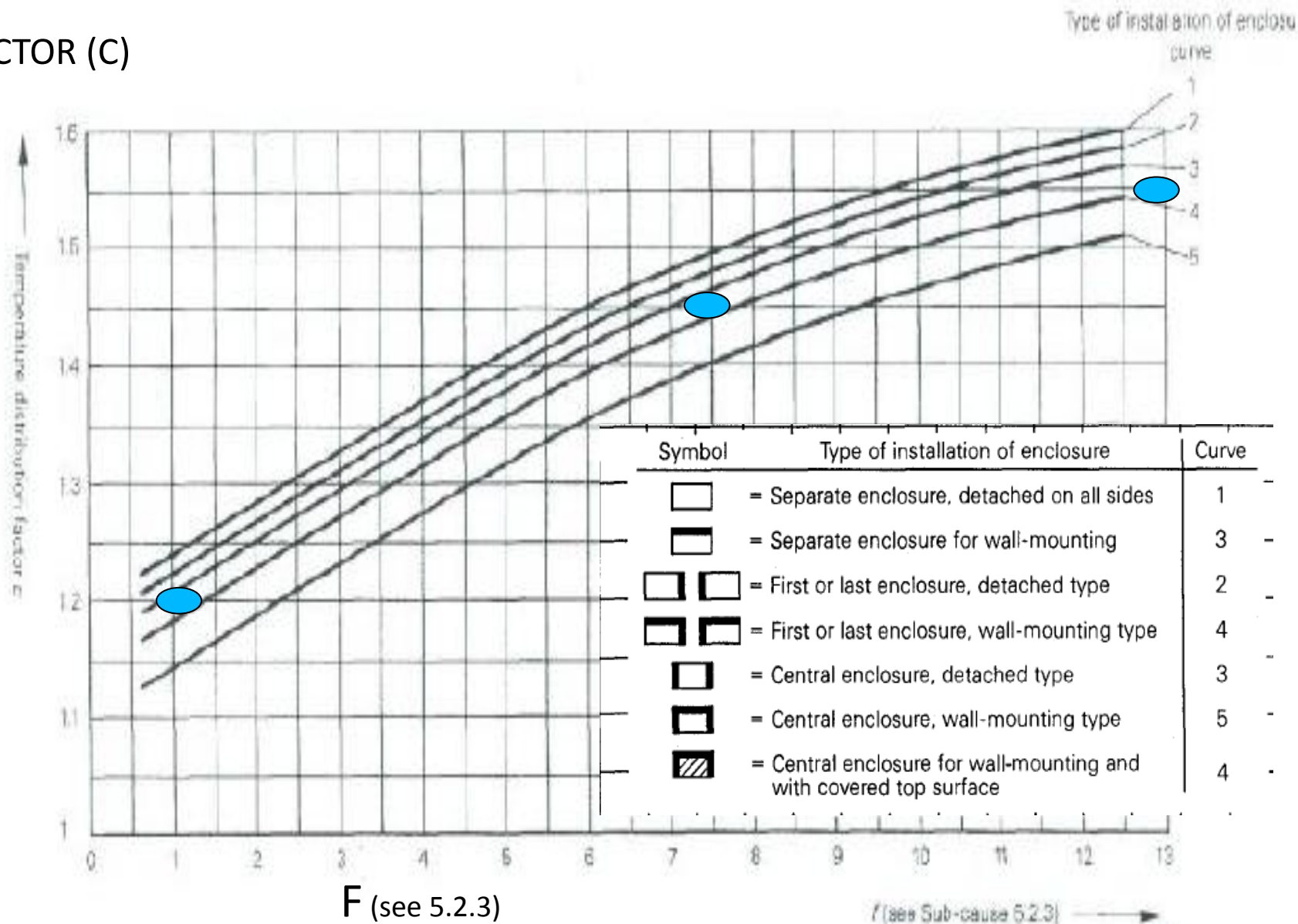


FIG. 4. — Temperature distribution factor c for enclosures without ventilation openings and with an effective cooling surface $A_e > 1.25 \text{ m}^2$.

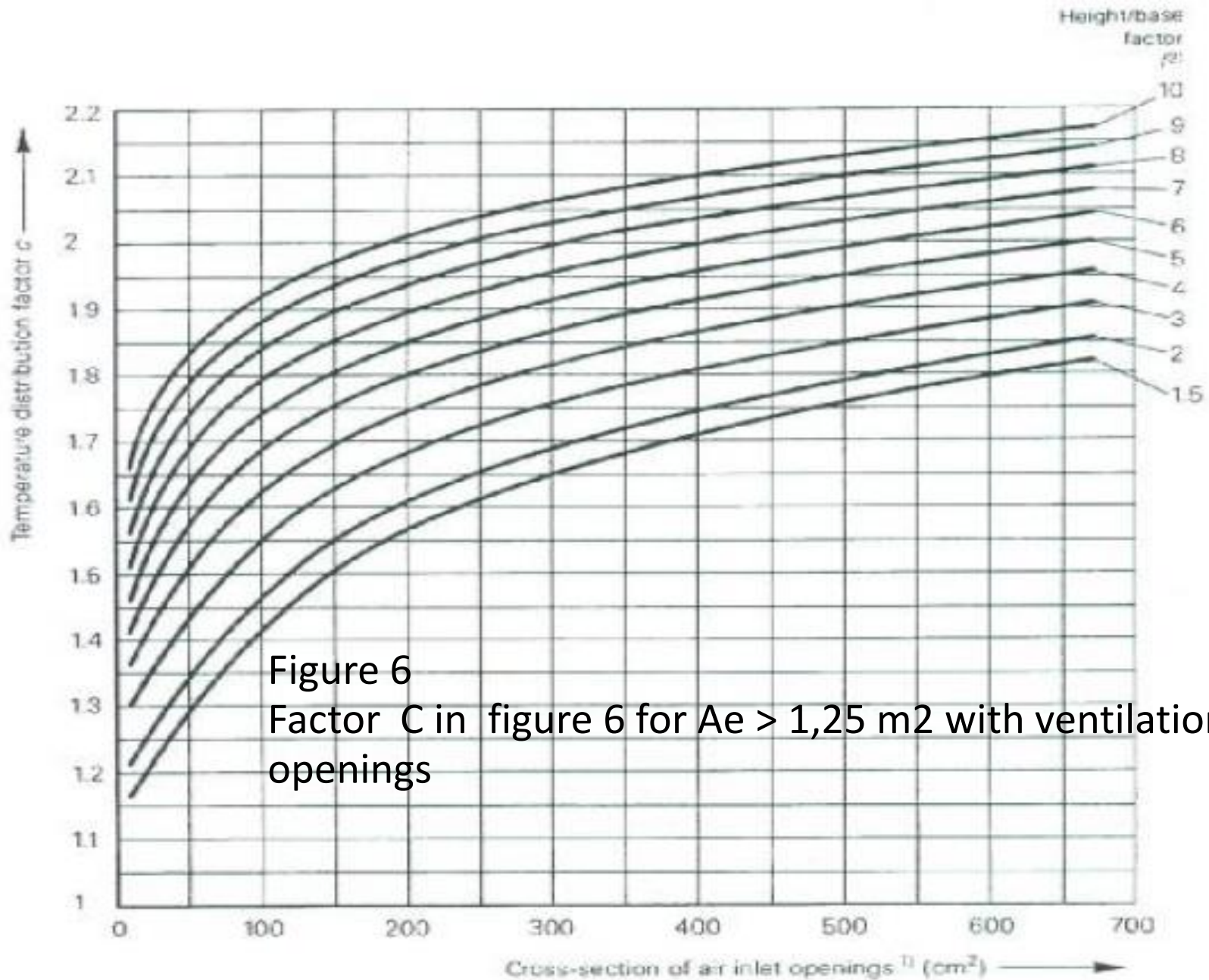


Figure 6
Factor C in figure 6 for $A_e > 1,25 \text{ m}^2$ with ventilation openings

¹⁾ The cross-section of the corresponding air outlet openings should be at least 1.1 times that of the air inlet openings.
²⁾ Height/base factor, see Sub-clause 5.2.3.

FIG. 6. — Temperature distribution factor c for enclosures with ventilation openings and an effective cooling surface $A_e > 1.25 \text{ m}^2$.

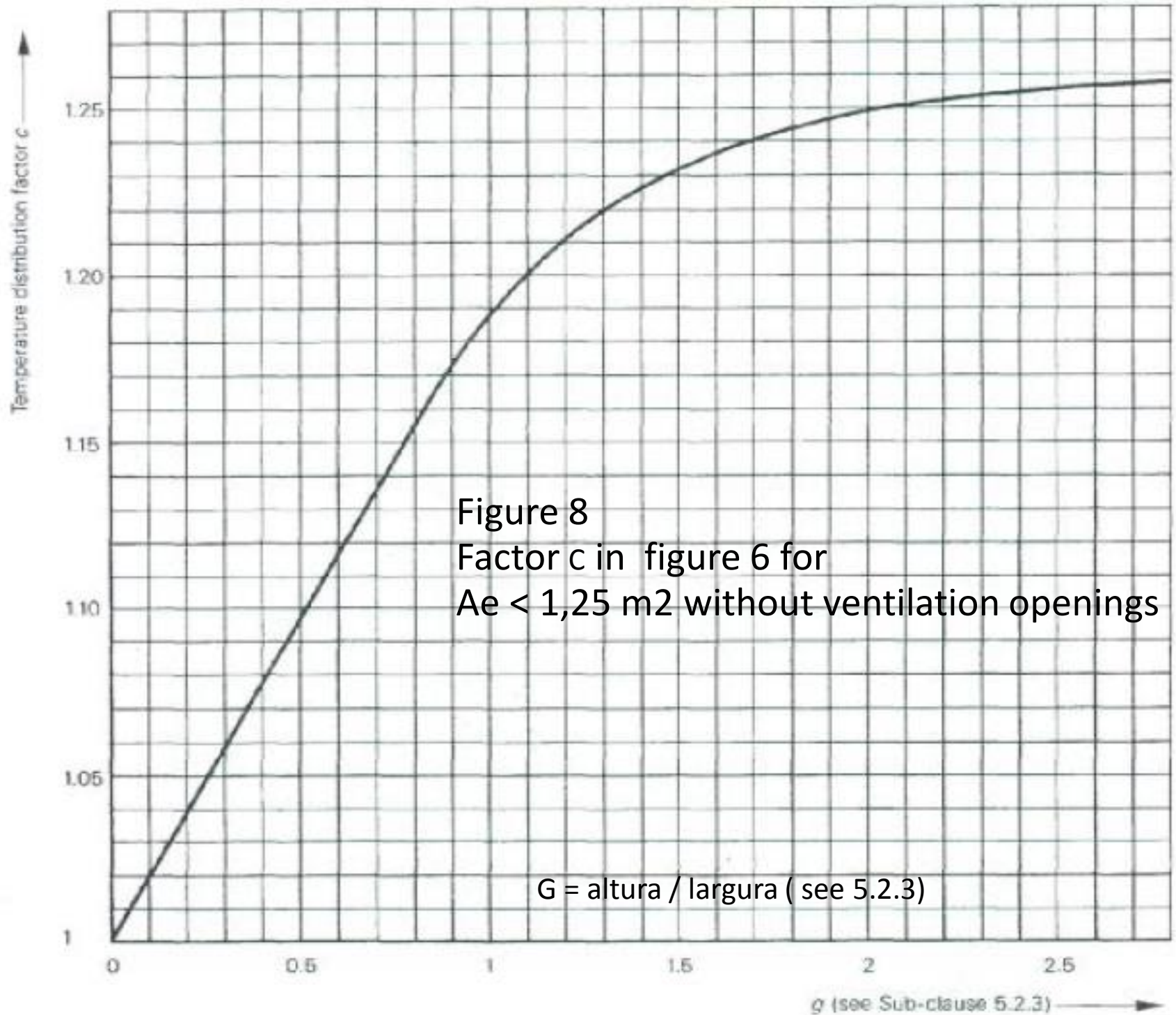
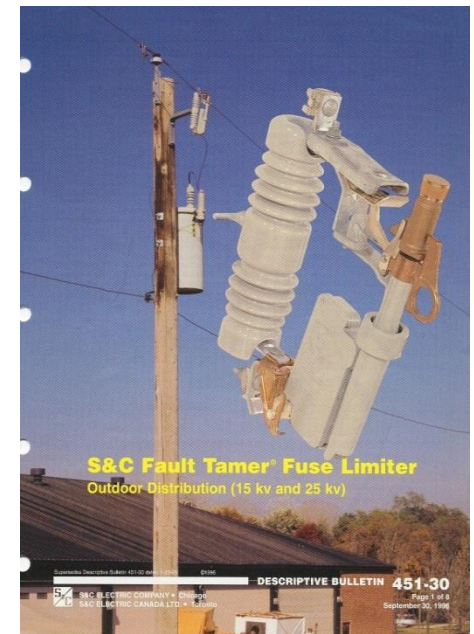


FIG. 8. — Temperature distribution factor c for enclosures without ventilation openings and with an effective cooling surface $A_e < 1,25 \text{ m}^2$.

FUSÍVEIS DO TIPO EXPULSÃO (IEC 60282-2)

Table 6 – Test parameters

Parameters	Class	Test-duties									
		1		2		3		4		5	
Power-frequency recovery voltage	A to C	(Note 5) Rated voltage $+5_0\%$									
Prospective TRV characteristics	A B C	Table 8 Table 9 Table 10		Table 8 Table 9 Table 11		Table 8 Table 9 Table 12		Table 13 Table 14 Table 14		(Note 7)	
Prospective current (r.m.s. value of the a.c. component)	A to C	I_1 $+5_0\%$ (Note 5)		I_2 from 0,6 I_1 to 0,8 I_1		I_3 from 0,2 I_1 to 0,3 I_1		I_4 from 400 A to 500 A (Notes 1 and 2)		I_5 from 2,7 I_1 to 3,3 I_1 (Notes 1 and 10)	
Power-factor	A B C	Lower than 0,15 Lower than 0,10 Lower than 0,10						See table 7		From 0,6 to 0,8	
Making angle related to voltage zero (degrees) (Note 9)	A to C	1st test: –5 to +15 2nd test: 85 to 105 3rd test: 130 to 150		1st test: –5 to +15 2nd test: 85 to 105 3rd test: 130 to 150		For all tests, from 85 to 105		Random timing			
Duration of power frequency recovery voltage after interruption (Note 11)	A to C (drop-out)	Not less than drop-out time, or 0,5 s, whichever is greater									
	A to C (non drop-out)	10 min (Note 8)						1 min			
Rated current of fuse-links (Note 6)	A to C	min. max.		min. max.		min. max.		min.		min.	
Number of tests	A to C	3	3	3	3	1	1	2		2	
Number of tests before replacing fuse-carriers (Note 3)	A to C	3	3	3	3	2		4			
Number of fuse-carriers	A to C	1	1	1	1	1		1			
Maximum number of fuse-bases (Note 4)	A to C	1	1	1	1	1		1			
(See notes on next page)											



Presented by Sergio Feitoza Costa www.cognitor.com.br

Fim do modulo 3

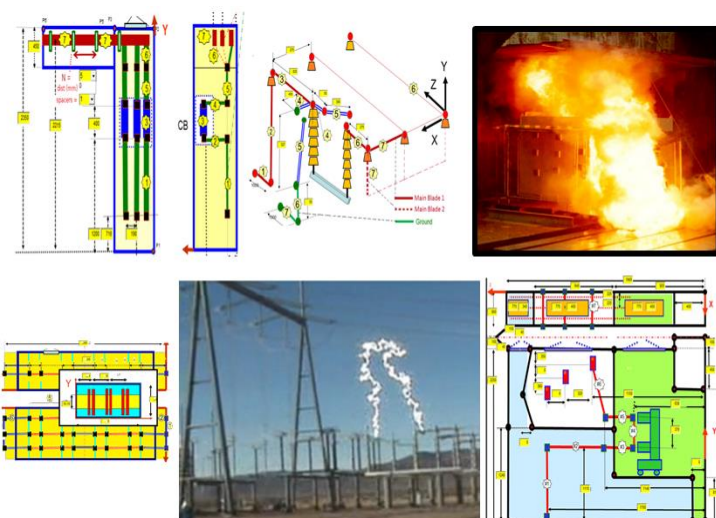
COGNITOR

FIM DO MODULO 3

PAINÉIS, BARRAMENTOS E SECCIONADORES

E

EQUIPAMENTOS DE SUBESTAÇÕES DE TRANSMISSÃO e DISTRIBUIÇÃO



MÓDULO 4:

Arcos elétricos e segurança
de pessoal e instalações

- PAINÉIS E BARRAMENTOS BLINDADOS: SOBREPRESSÕES CAUSADAS POR ARCOS INTERNOS
- TRANSFORMADORES (ÓLEO): EXPLOSÕES E INCÊNDIOS POR ARCOS INTERNOS.
- CADEIAS DE ISOLADORES: ARCOS DE POTENCIA EXTERNOS.

SOBREPRESSÕES POR ARCOS INTERNOS

- **Correntes normais e de curto-circuito:** níveis aumentando.
- **Requisitos:** ocupar menos espaço e “manter-se utilizáveis” após a ocorrência de uma falta.
- **Especificações (algumas):**
 - temperaturas a não ultrapassar em uso normal
 - suportabilidade às sobrepressões do arco interno
 - forças eletrodinâmicas em isoladores e condutores
- Quanto mais compacto e mais altas as correntes mais difícil atender
- **Relação entre ensaios de elevação de temperatura, grau IP e arco interno:** menos frestas x mais ventilação x relatórios de ensaios

ENSAIO DE ARCO INTERNO (MEDIA E BAIXA TENSÕES)

- Iniciação do arco é seguida por vaporização de cobre e outros materiais aumentando bruscamente a pressão até o ponto de abertura dos dispositivos de alívio
- Nível de proteção para pessoas próximas
- Media tensão: (IEC 62271-200) : ensaio de tipo para classificação IAC por acessibilidade
- Baixa tensão: (IEC TR 61641) : não é ensaio de tipo mas é solicitado. (classificações de proteção a pessoas, ao equipamento e operação continua limitada)
- Detalhamento das normas na seção 6

ENSAIO DE ARCO INTERNO

181

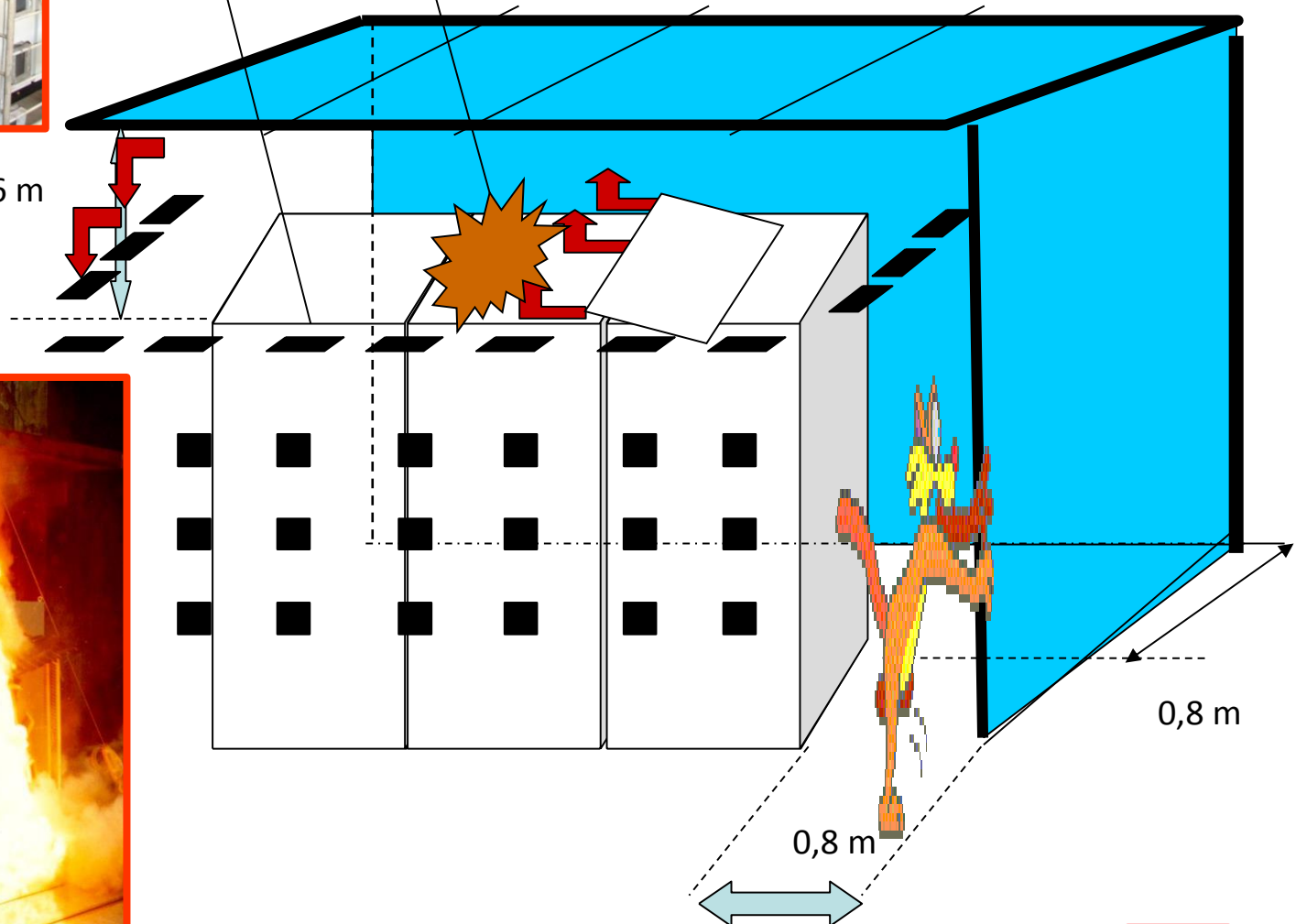


Indicadores de queima

gases quentes

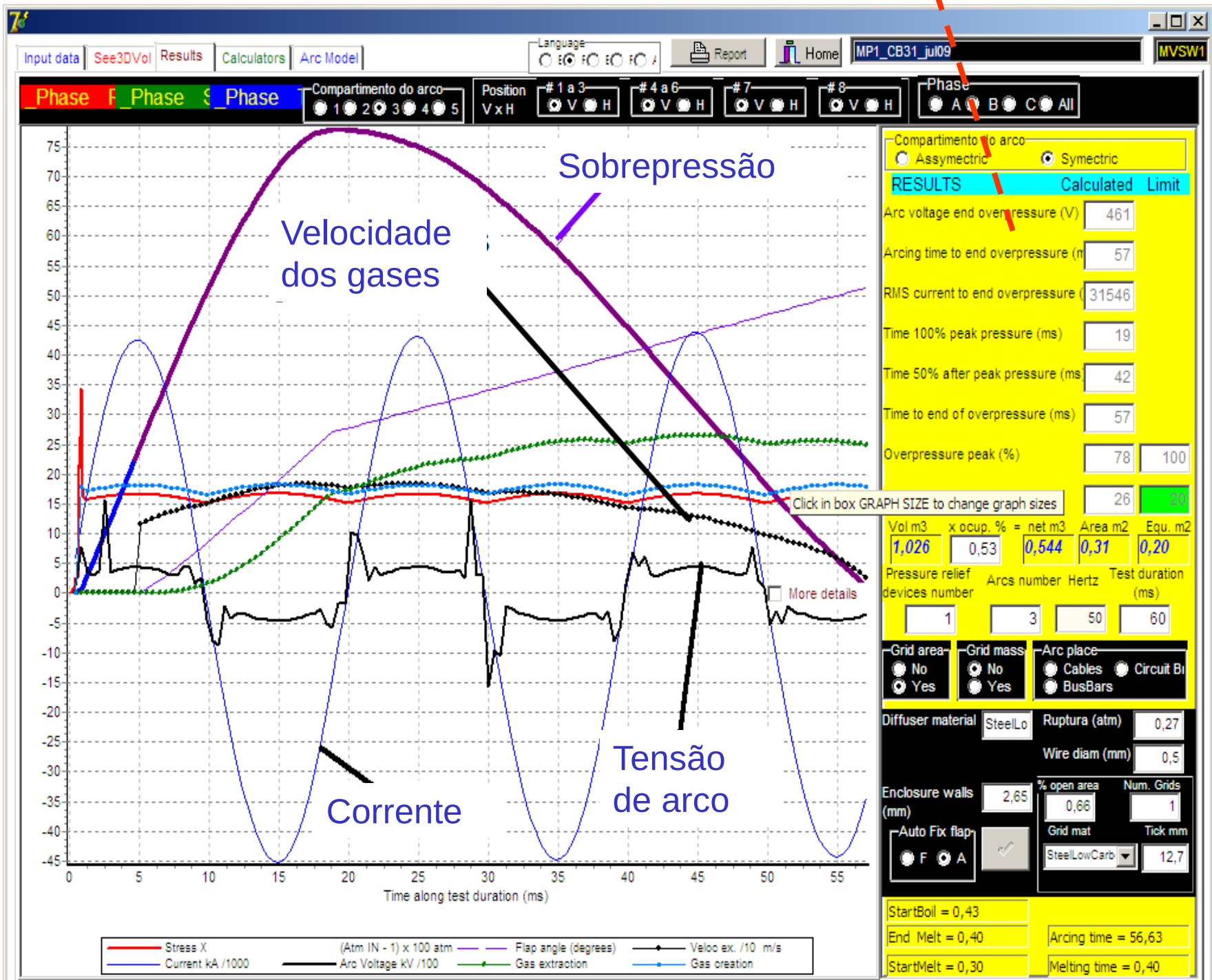
- Portas não devem abrir
- Não arremessar peças
- Não queimar indicadores de algodão
- Circuitos protetivos ainda efetivos
- Não haver furos na chapa

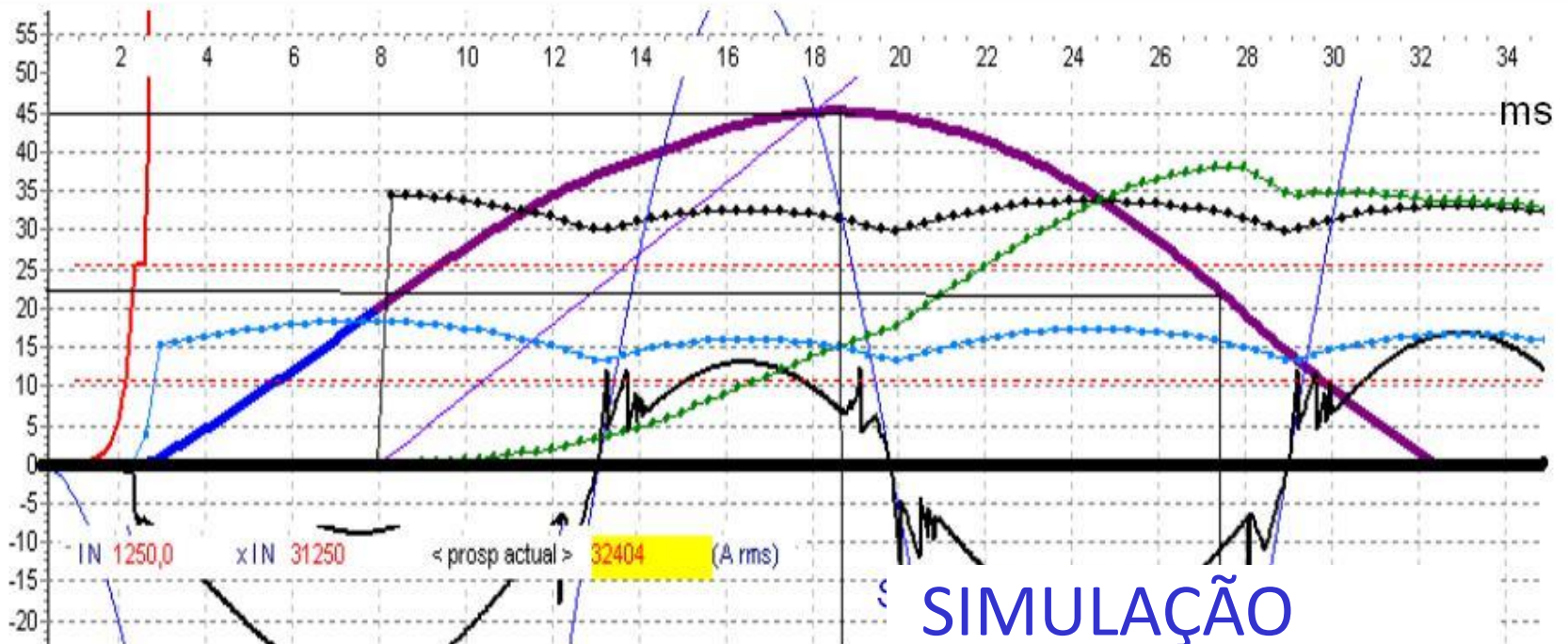
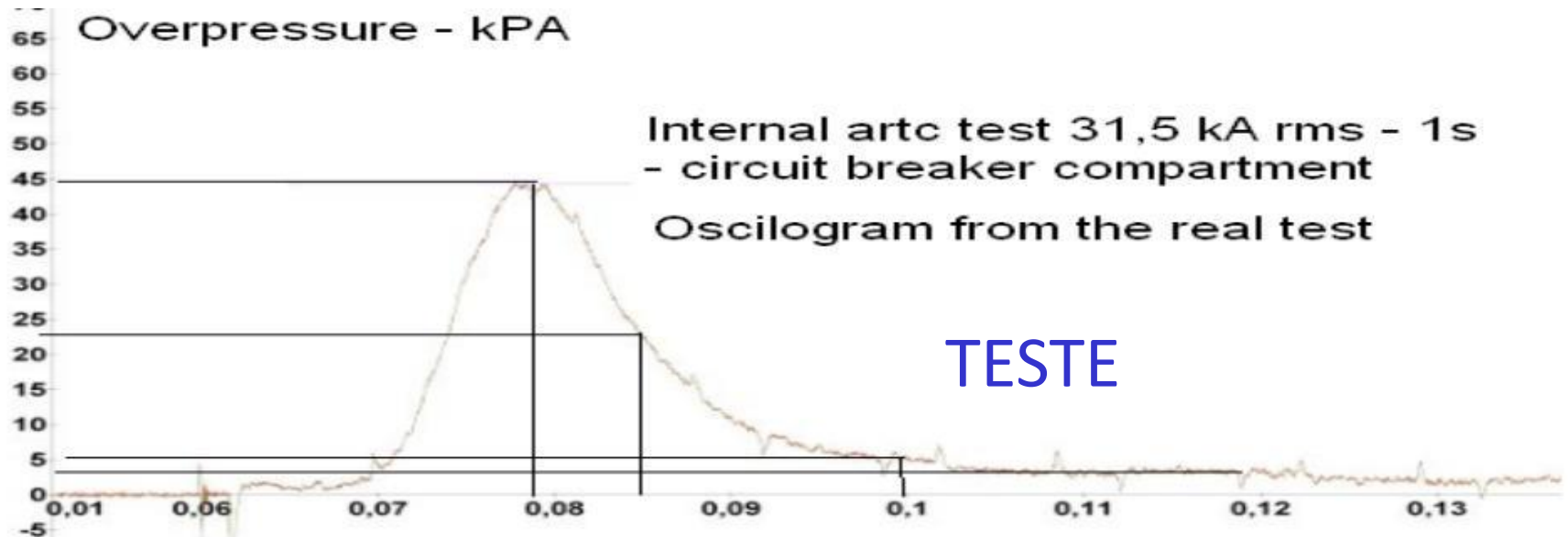
> 0,6 m











ARCO INTERNO

O QUE É IMPORTANTE NO CÁLCULO ?

- Volume liquido do compartimento , área e velocidade e características dos dispositivos de alivio de sobrepressão
- Normas não tratam a relação entre os ensaios de elevação e de arco interno e do que deve ser registrado nos relatórios de ensaios
- Grupos de trabalho da IEC (AT e BT) e do Cigre estudando.
- Métodos de cálculo
 - (a) “Brochure” do grupo Cigre WG A3-24 - publicação 2013
 - (b) Método Sergio: Método “elevação de temperatura” porem considerando a fusão e depois a vaporização de condutores (maior volume)

CIGRÈ WG A3. 24 : TOOLS FOR SIMULATING INTERNAL ARC AND CURRENT WITHSTAND TESTING

- Simulações para prever os resultados de ensaios em equipamentos isolados a SF_6 a partir de ensaios feitos substituindo o SF_6 por ar.

- Motivo: banir, por razões ambientais, ensaios em que o SF_6 seja liberado para o ambiente

- Uso de simulações para reduzir o numero de ensaios de arco interno



CIGRÉ WG A3. 24 : Brochure TOOLS FOR SIMULATION OF PRESSURE RISE DUE TO INTERNAL ARC IN MV AND HV SWITCHGEAR

Name	First Name	Country	Company
del Rio	Luis	Spain	ORMAZABAL CORPORATE T
Douchin	Jerome	France	Schneider Electric
Dullni	Edgar	Germany	ABB
Feitoza Costa	Sergio	Brazil	Cognitor
Fjeld	Elin	Norway	Telemark University
Glinkowski	Mietek	USA	ABB
Kim	Hong-Kyu	Korea	KERI
Kriegel	Martin	Switzerland	Axpo
Lopez-Roldan	Jose	Australia	Powerlink
Pater	Ryszard	Canada	Hydro-Québec
Pietsch	Gerhard	Germany	RWTH Aachen
Reiher	Thomas	Germany	Siemens
Robin-Jouan	Phillipe	France	Areva
Schoonenberg	Gerard	Netherlands	Eaton
Smeets	Rene	Netherlands	KEMA
Uchii	Toshiyuki (Tc	Japan	Toshiba
Uzelac	Nenad	USA	G&W
Van der Sluis	Lou	Netherlands	TU Delft
Vinson	Paul	France	Areva
Yoshida	Daisuke	Japan	Mitsubishi Electric Corportion

Reuniões

Rio de Janeiro
Setembro 2007

Berlin
Março 2008

Paris
Agosto 2008

Delft-Holanda
Março 2009

Austrália e Paris 2010

Zurich Jan 2011

Montreal Maio 2011

Viena Setembro 2011

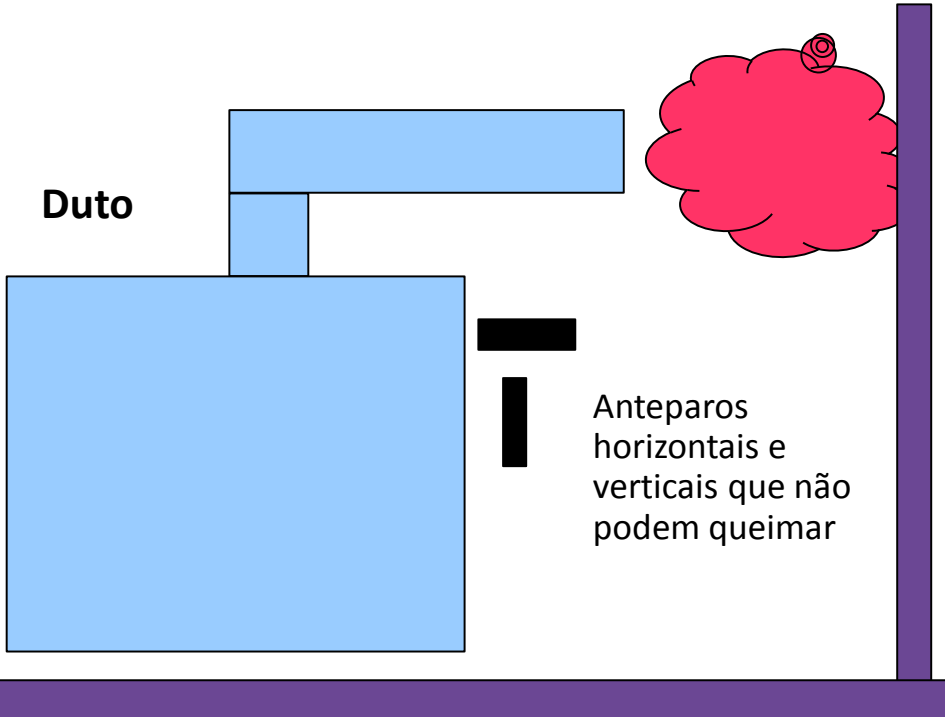
Chicago Abril 2012

Paris Setembro 2012

San Sebastian 2013

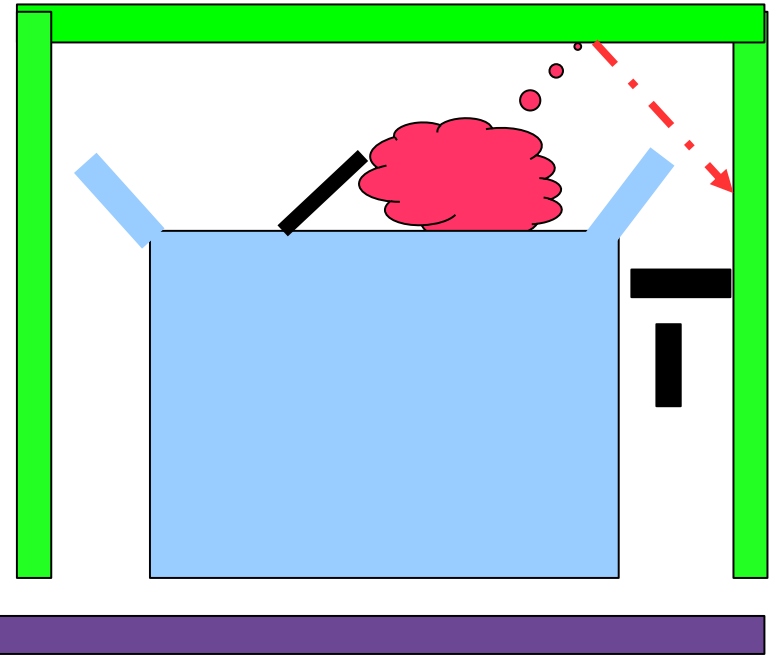
Stockholm 2013

Duto

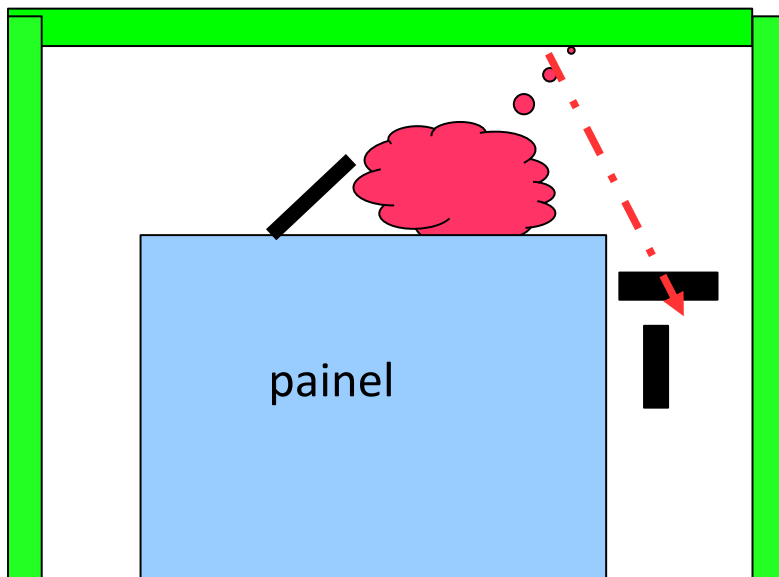


Anteparos
horizontais e
verticais que não
podem queimar

Defletor



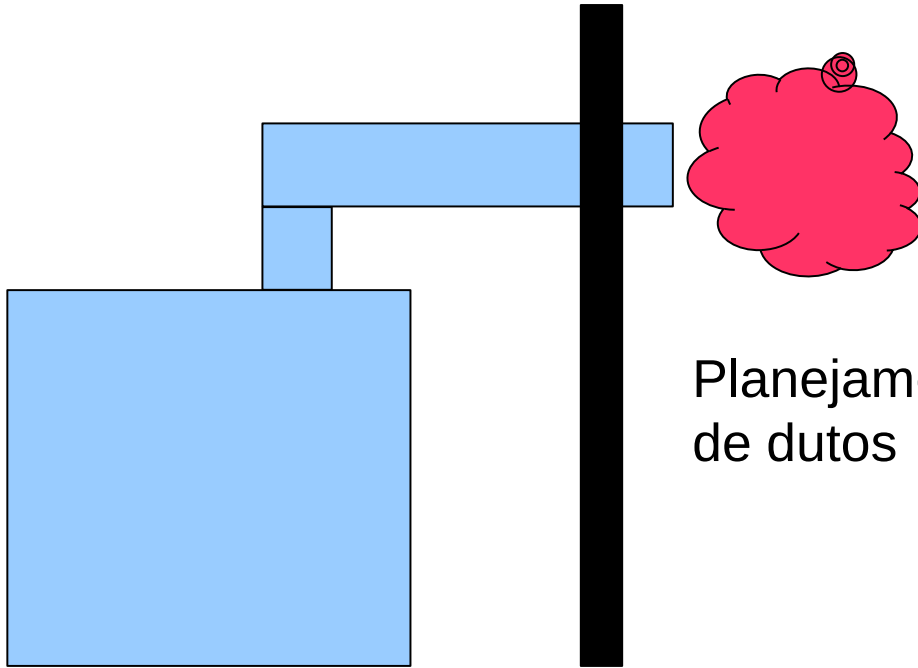
Sem defletor / sem duto



painel



parede



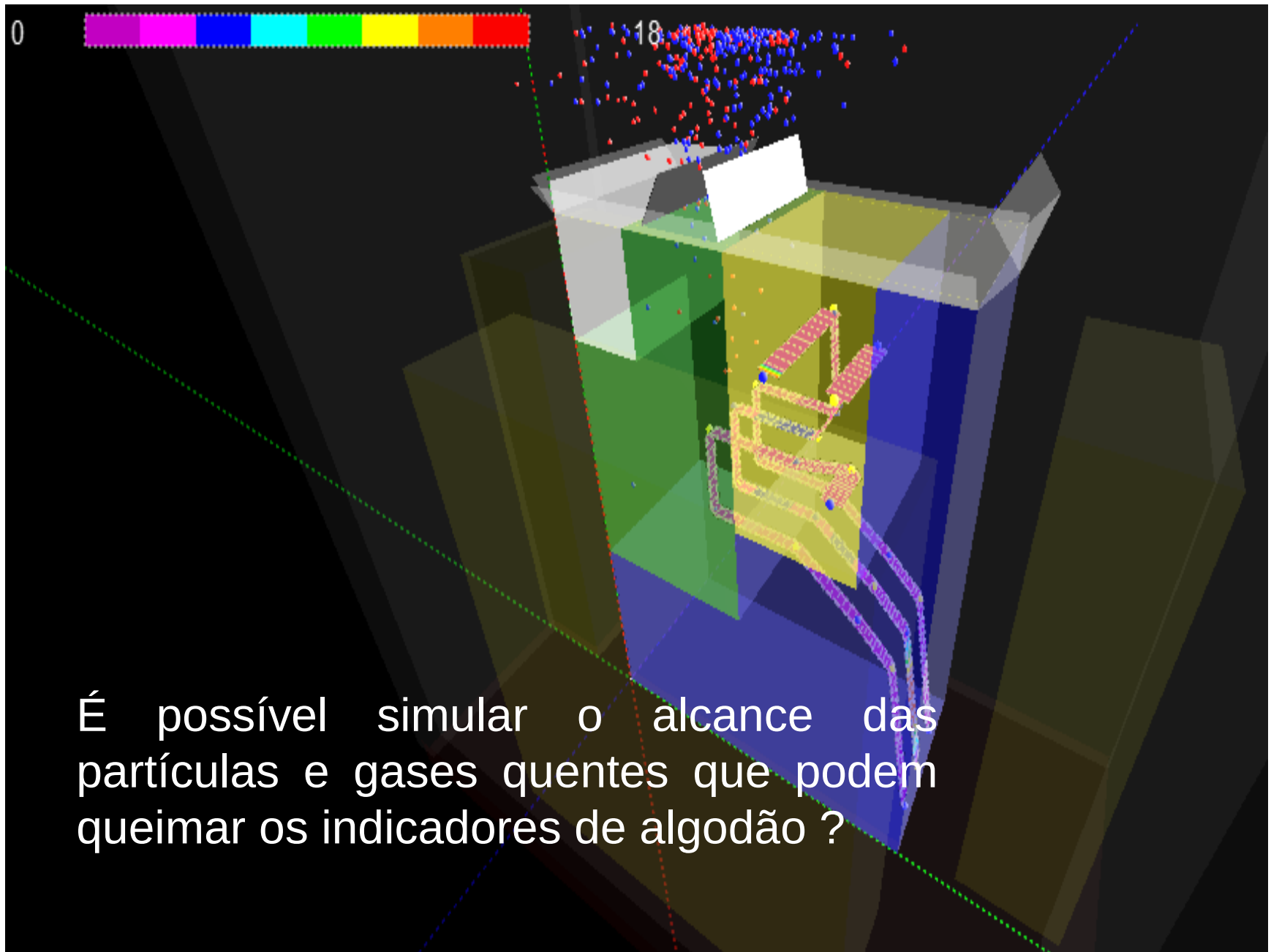
OPÇÕES DE PROJETO

Planejamento inteligente, no projeto civil, de dutos e volumes de exaustão vizinhos

Uso de absorvedores de calor para retirar calor na exaustão dos gases



Tensão 15 kV - Corrente : 25.0 kA – Compartimento de disjuntor



É possível simular o alcance das partículas e gases quentes que podem queimar os indicadores de algodão ?

- **ARCO INTERNO em TRANSFORMADORES**

- ✓ Arco interno em contato com óleo produz gases explosivos.
- ✓ Pressão interna do tanque sobe e pode romper - lo (transformadores atuais suportam ~ sobrepressão de 1 bar)
- ✓ Se o tanque rompe o oxigênio do ar entra em contato com os gases explosivos e há o incêndio.
- ✓ Sistema de prevenção busca aliviar pressão antes que alcance o limite do tanque
- ✓ Disjuntores não são rápidos o suficiente mas disco de ruptura atua $< 10\text{ms}$



O objetivo é conduzir os gases para queimar em local seguro

Existe norma brasileira com ensaio específico para esta verificação

**420 INCIDENTES DE EXPLOSOES E INCENDIO DE TRANSFORMADORES
nos ESTADOS UNIDOS entre 11 de março e 31 de julho de 2002**

NUMERO DE VITIMAS MORTAIS		4
NUMERO DE PESSOAS FERIDAS		247
NUMERO DE PESSOAS AFETADAS POR FALHA DE ENERGIA		1.6 milhões
NUMERO DE ESTADOS IMPLICADOS		44
NUMERO DE COMPANHIAS DE ELETRICIDADE INVOLVIDAS		117
NUMERO DE COMPANHIAS DE ELETRICIDADE MENCIONANDO AO MENOS TRES EXPLOSOES		27
LOCALIZACAO DO INCIDENTE DE TRANSFORMADOR	Plantas de geração e subestações	80
	Centrais nucleares	7
	Areas residenciais	19
	Areas urbanas	29
	Praças públicas e edificios	54
	Escolas e faculdades	25

NORMAS ABNT PUBLICADAS EM 2006

(comissão de estudos que executou foi coordenada pelo palestrante):

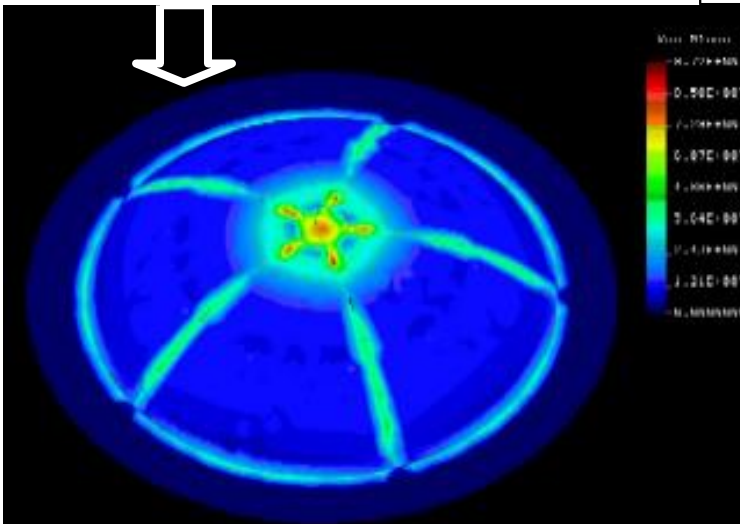
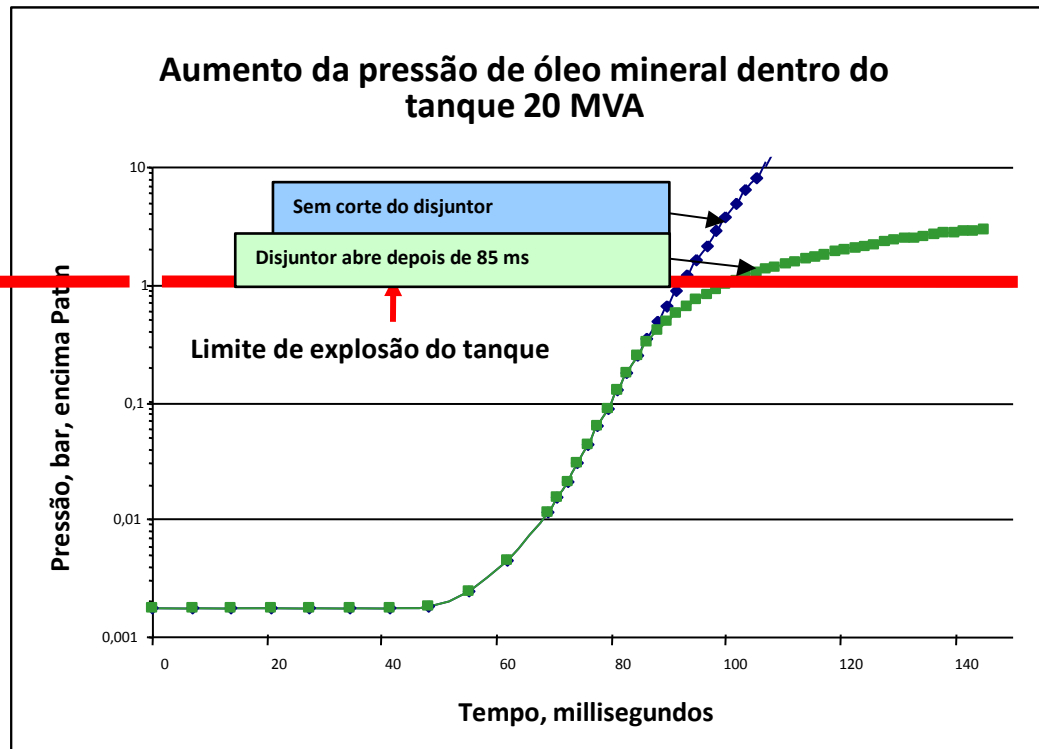
- ✓NBR 13231: Proteção contra incêndio em subestações
- ✓elétricas... de sistemas de transmissão...
- ✓NBR 8222 -Sistemas de proteção para transformadores e reatores de potência, por despressurização, etc... (*)
- ✓NBR 8674 : Sistemas por água nebulizada
- ✓ NBR 12232 :Sistemas com gás carbônico

(*) Única norma mundial com ensaio de arco interno em transformadores

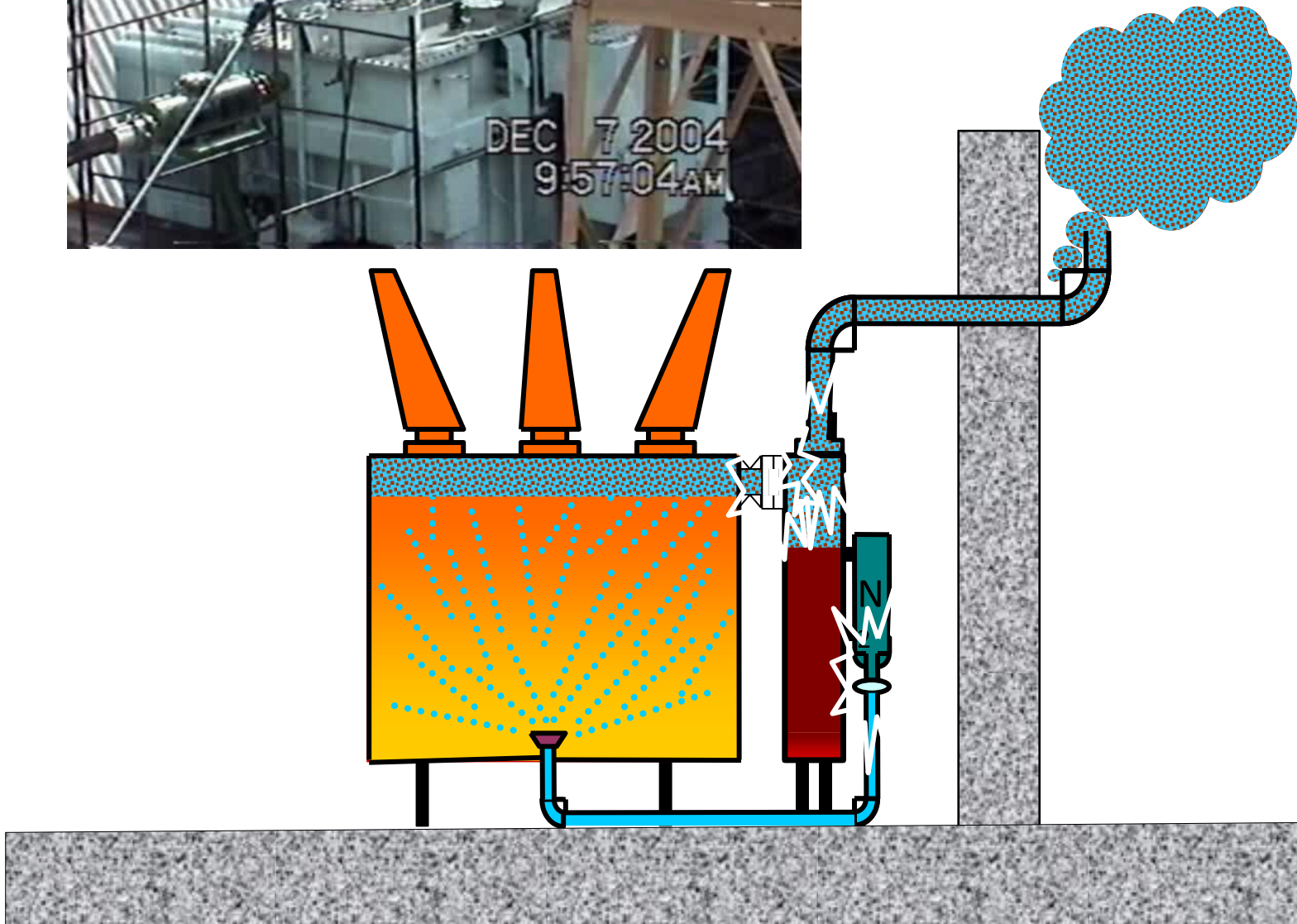
Tanques de transformadores são dimensionados para resistir a pressão da ordem de 1 bar acima da pressão atmosférica.

O corte do disjuntor não evita a explosão do tanque

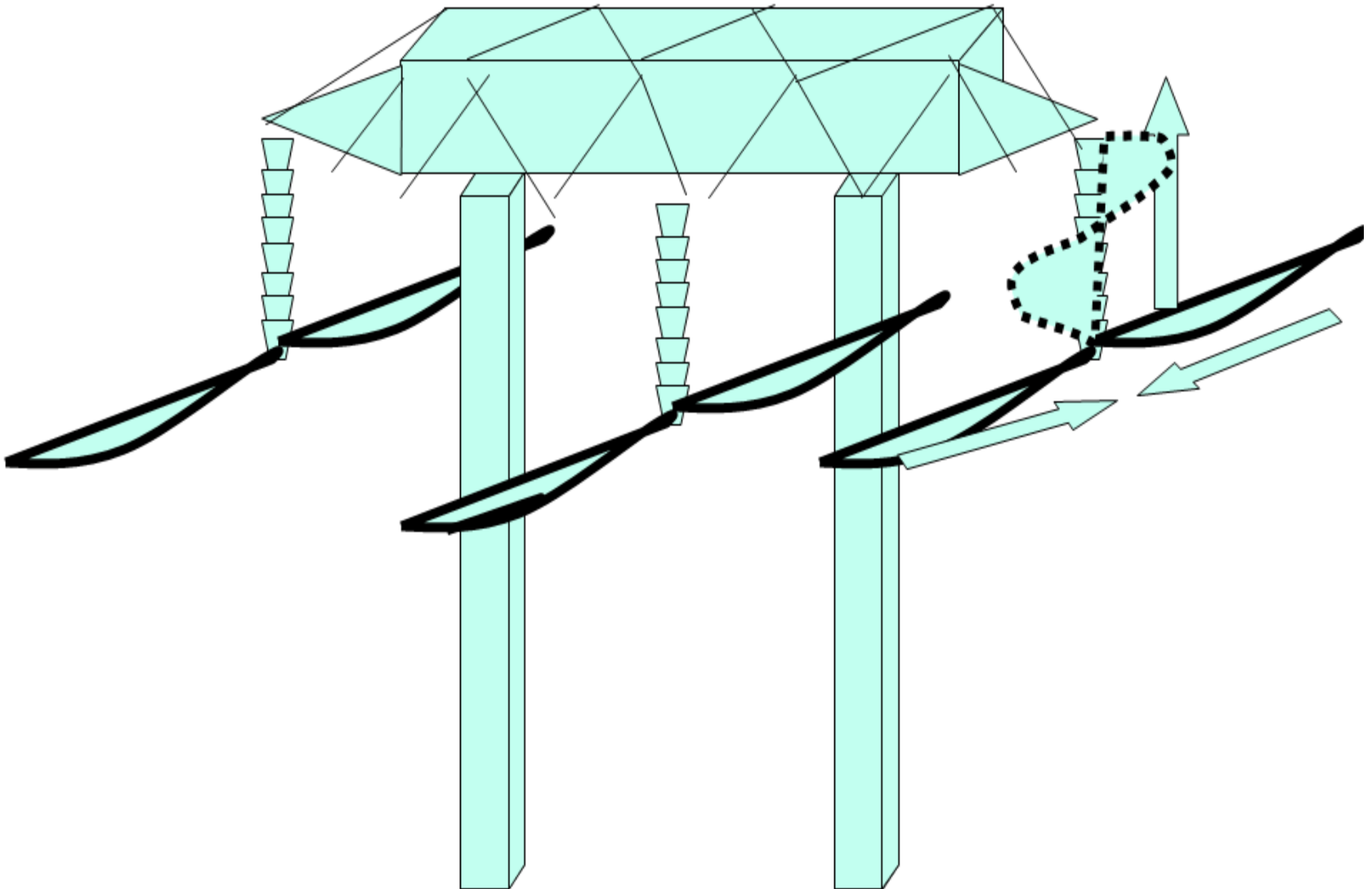
Disco de ruptura opera por pressão e é muito rápido



FILME



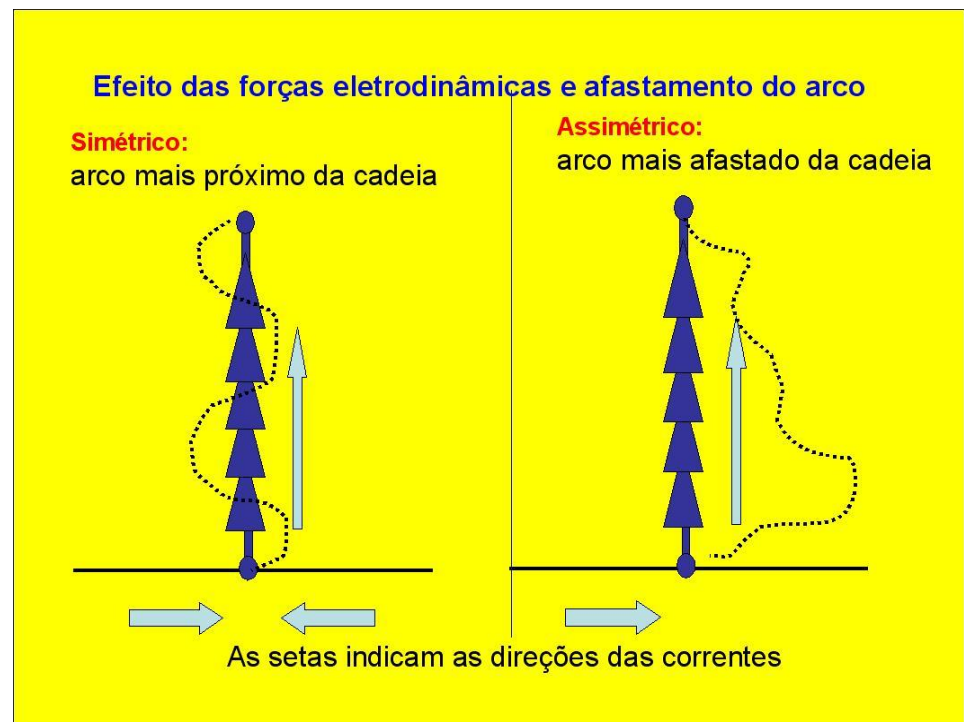
ARCOS DE POTÊNCIA EM CADEIAS DE ISOLADORES



Arcos em cadeias de isoladores

- Ocorre uma descarga na linha e abre-se um “caminho” para a passagem da corrente de curto circuito de 50/60 Hz, p,ex. 40 KA_{ef} durante 0,2 s
- Arco causa desgaste nas ferragens que sustentam os cabos e quebrar algum isolador
- Tempos depois acontece uma outra descarga..
- Fatores a considerar no ensaio de laboratório que simule a situação
 - O valor, duração e número de aplicações de corrente
 - O arranjo físico e a direção (simétrica ou assimétrica) determinam se o arco fica mais ou menos próximo da cadeia devido às forças eletrodinâmicas
 - O peso da cadeia

- **O que verificar após o ensaio**
- Isoladores danificados e danos às ferragens ?
- Não pode haver queda e bom estado geral da cadeia

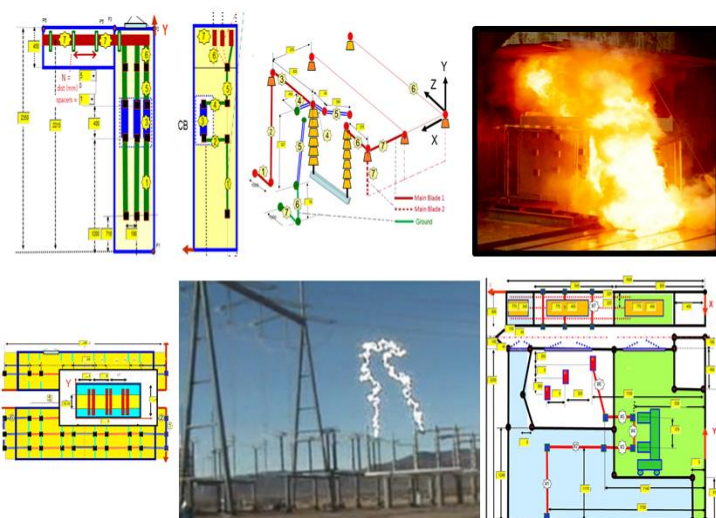


FIM DO MÓDULO 4

PAINÉIS, BARRAMENTOS E SECCIONADORES

E

EQUIPAMENTOS DE SUBESTAÇÕES DE TRANSMISSÃO e DISTRIBUIÇÃO



MÓDULO 5:

Especificações técnicas
de concessionarias de
energia elétrica

ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS (princípios)

- A especificação mais eficiente é a norma técnica IEC ou a norma nacional equivalente se esta estiver atualizada .
- Referir, na especificação empresarial, uma norma técnica oficial atualizada é melhor que transcrever o texto .

Exemplo

ERRADO: A elevação de temperatura deve ser de 53 °C
(ao invés de “a máxima elevação de temperatura deve ser 53K)

CERTO: passar pelo ensaio de elevação de temperatura da Norma IEC-62271-1 : Cláusulas comuns para equipamentos de alta tensão.

EXEMPLOS DO QUE SE DEVE EVITAR

- O projeto dos contatos deve ser feito de modo que as forças eletromecânicas não possam abri-lo.
- *Especificar o ensaio de correntes suportáveis de curta duração e de crista*
- Utilizar materiais da melhor qualidade técnica, novos e de fabricação recente.
- *Especificar normas ABNT, ANSI, IEC, NEMA, ASTM ...*
- Qualidade de execução: a mais alta qualidade e conforme as melhores e mais modernas práticas de alta qualidade.
- *Para que serve a frase se não há um padrão de verificação ?*

ESPECIFICAÇÃO de SECCIONADORES de ALTA TENSÃO



	Seccionador Monopolar Tipo Faca Operação por vara de manobra Montagem vertical ou invertida Trava e dispositivo de extração (Cod. ABNT – FQ)		Seccionador Semi-Pantográfico Horizontal Operação tripolar com um isolador rotativo Faca articulada (Cod. ABNT – SPH)
	Seccionador Monopolar Tipo Faca em Tandem (QB + 2TD) Operação por vara de manobra Montagem vertical ou invertida Trava e dispositivo de extração (Cod. ABNT – FQ)		Seccionador Semi-Pantográfico Vertical Operação tripolar com um isolador rotativo Faca articulada (Cod. ABNT – SSP)
	Seccionador de Abertura Lateral Operação tripolar com um isolador rotativo Montagem vertical, horizontal ou invertida Faca rígida com contatos de alta tensão (Cod. ABNT – AL)		Seccionador de Abertura Central Operação tripolar com isoladores rotativos Articulações com contatos deslizantes (Cod. ABNT – AC)
	Seccionador de Dupla Abertura Lateral Operação tripolar com isolador central rotativo Faca giratória com engate automático (Cod. ABNT – DA)		Seccionador de Aterramento Operação monopolar ou tripolar Montagem individual ou acoplada ao seccionador (Cod. ABNT – TE)
	Seccionador de Abertura Vertical Operação tripolar com um isolador rotativo Montagem vertical, horizontal ou invertida Faca giratória com engate automático (Cod. ABNT – AV)		Seccionador de Aterramento Operação monopolar ou tripolar Montagem individual ou acoplada ao seccionador Dispositivo de retenção e extração (Cod. ABNT – TE)
	Seccionador Abertura Vertical Reversa Operação tripolar com um isolador rotativo Faca giratória com engate automático (Cod. ABNT – VR)		Seccionador de Aterramento Rápido Operação monopolar ou tripolar Montagem horizontal ou vertical Disparo através de dispositivo eletromagnético (Cod. ABNT – AR)

Dados técnicos		Requisito
Tensão nominal	Tensão nominal (fase-fase)	230 KV rms
	Maxima tensão de operação continua (F-F)	242 KV rms
Frequencia	Tensão nominal	60 Hz
Níveis de isolamento	Tensão suportavel à frequencia nominal	Fechada à terra 395 kV Contatos abertos: 460kV
	Tensão suportavel de impulso	Fechada à terra 950 kVcr Contatos abertos: 950 kVcr + 140kV 1min – 60Hz
	Tensão suportavel frequencia nominal (circuitos controle)	3 kV
Numero de polos		3
Corrente nominal	Corrente nominal	2000 Arms
Curto circuito	Corrente suportavel de curta duração e de crista	40 kArms durante 3s / 100 kAcr
RIV	Tensão de rádio interferencia	500 μ V
Corona	Mínima tensão de inicio e de extinção	154 KVRms

Capacidade de interrupção de pequenas correntes na máxima tensão de operação (Amperes correspondentes a capacitância de _____ pF)

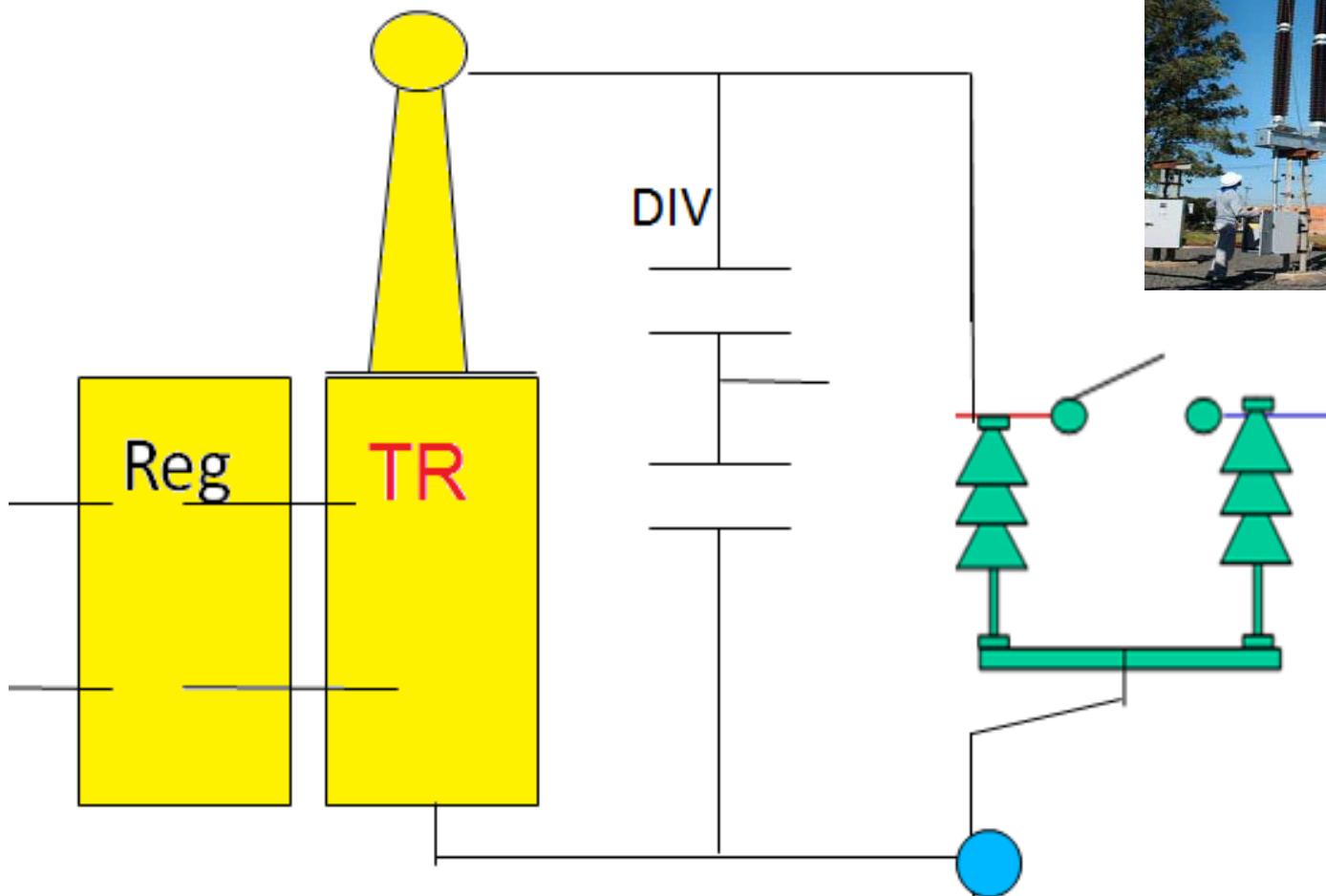


ALGUNS ENSAIOS DE TIPO E O QUE REPRESENTAM

- Tensão suportável a impulso atmosférico.
- Tensão suportável a impulso de manobra, a seco e sob chuva.
- Tensão suportável a frequência industrial, a seco (1 min) ,sob chuva (10 s)
- Elevação de temperatura.
- Corrente suportável nominal de curta duração e crista.
- Resistência mecânica e operação.
- Tensão de rádio interferência
- Ensaio de corona visual.

Ensaio: TENSÃO SUPORTÁVEL A FREQUÊNCIA INDUSTRIAL

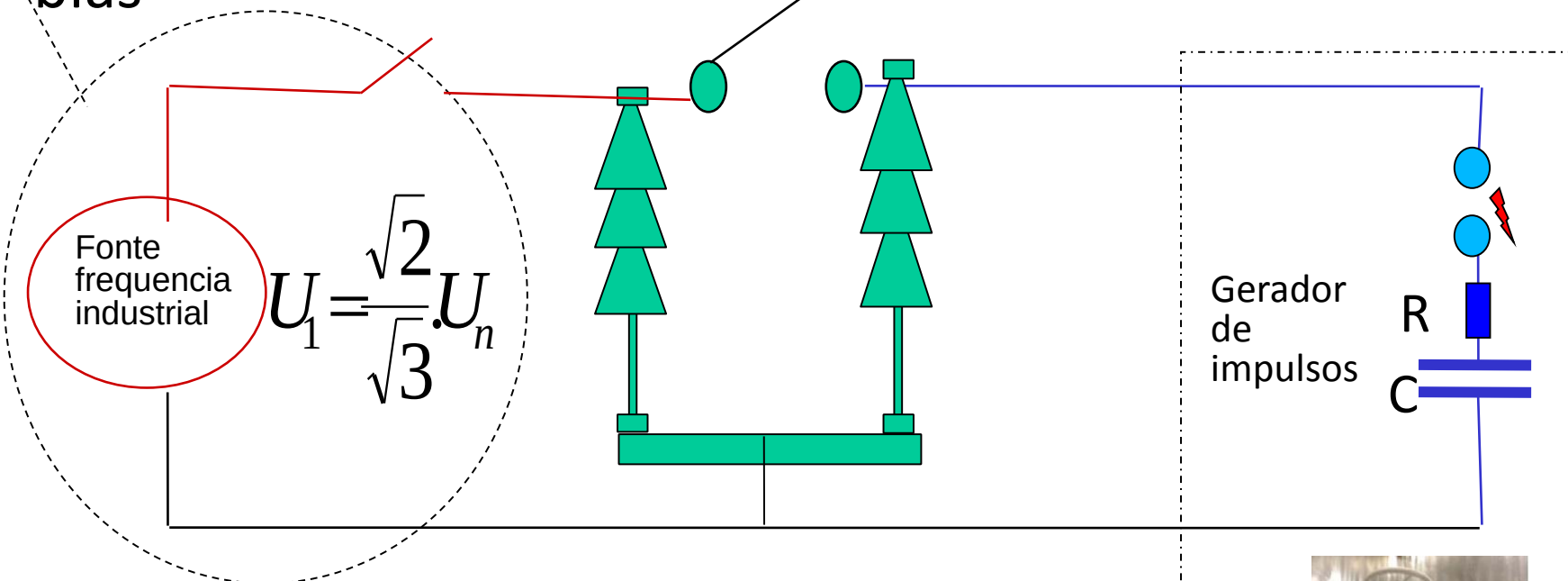
(1 minuto – seco, sob chuva 10 s) – 1,2 a 3,2 vezes U_n



Ensaio: TENSÃO SUPORTÁVEL NOMINAL DE IMPULSO ATMOSFÉRICO OU DE MANOBRA

~15 aplicações x 2 falhas

“bias”



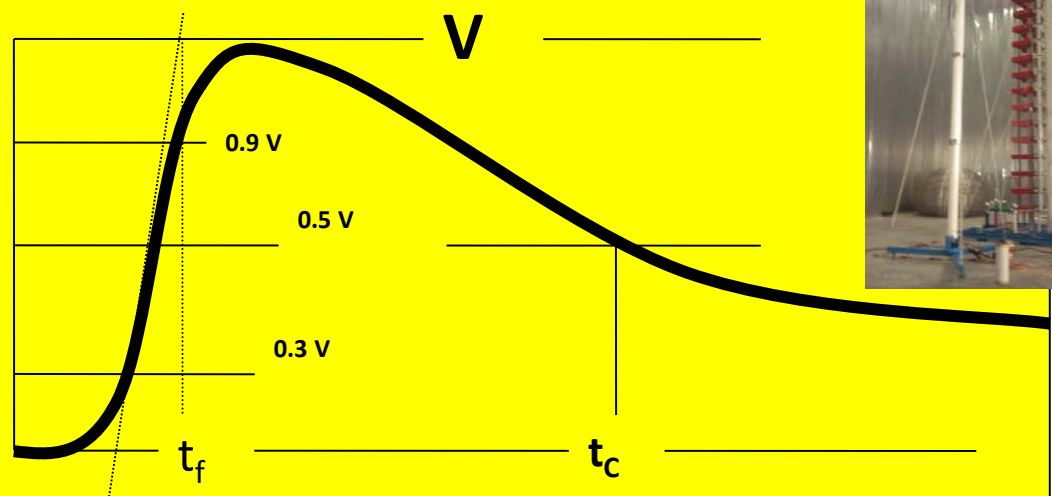
Atmosférico

$t_f = 1,2 \mu s$; $t_c = 50 \mu s$

Manobra:

$t_f = 250 \mu s$; $t_c = 2500 \mu s$

Polaridades positiva e negativa



.Pulsos de alta frequência gerados por equipamentos e linhas propagam-se por condutores ou são irradiados

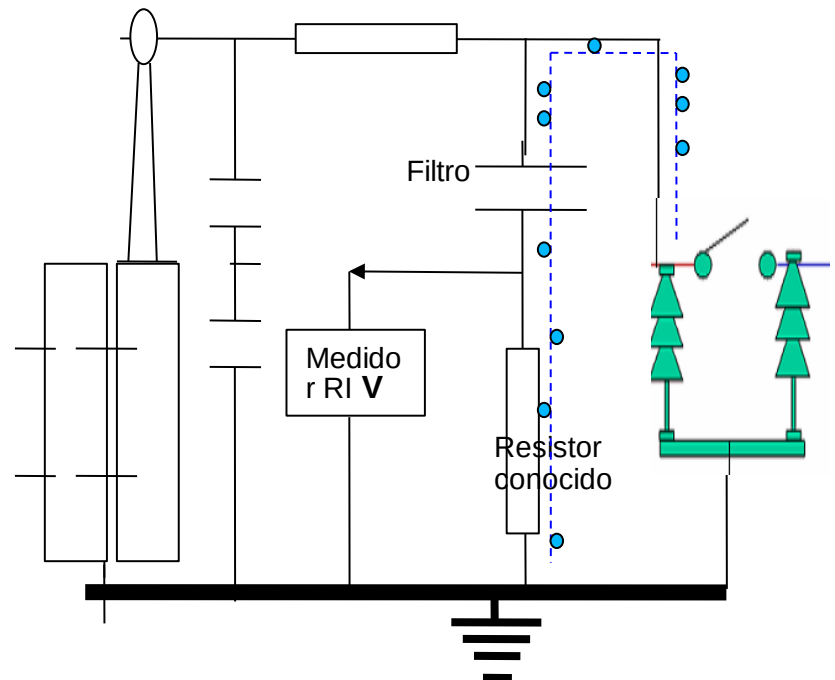
.Interfere nas rádios (especialmente na faixa AM).

.Equipamentos: 50 a 1000 μ V (função de distância).

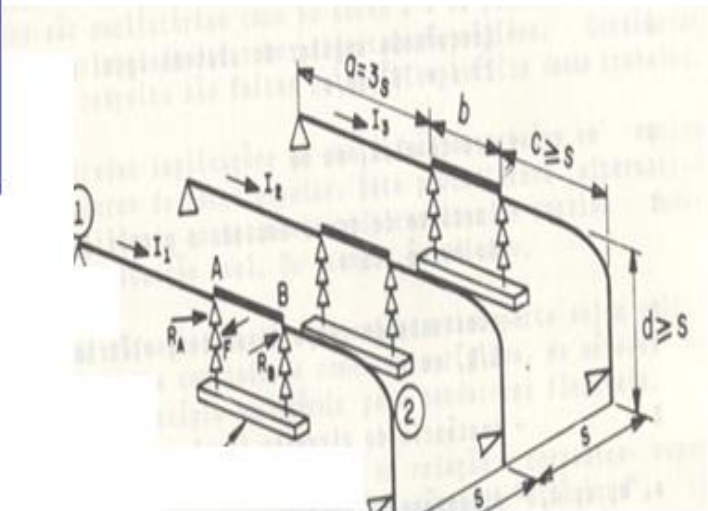
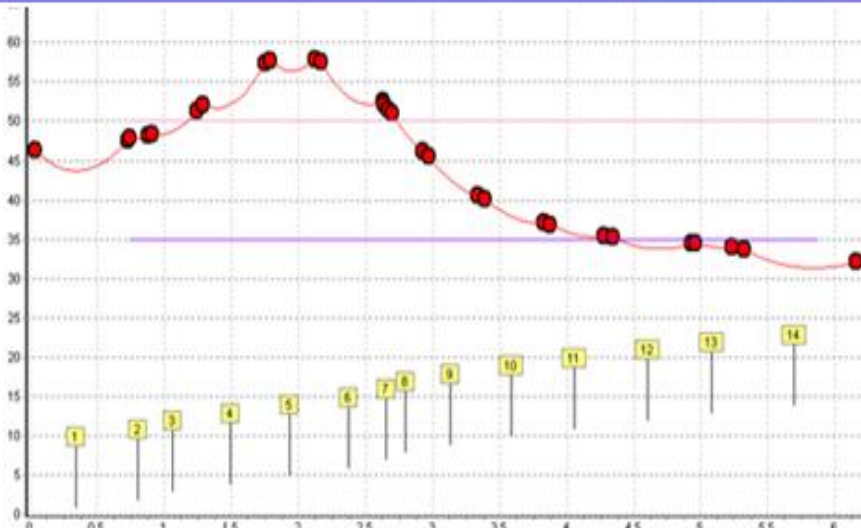
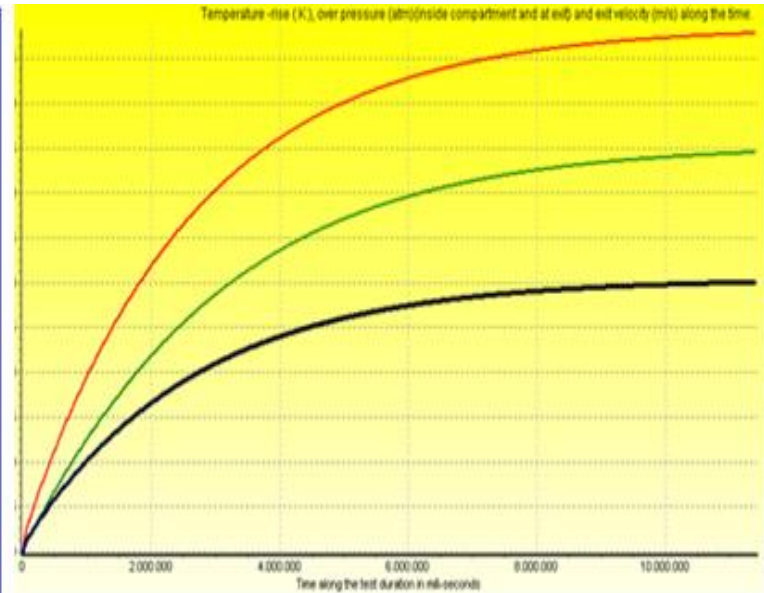
.Laboratório: mede-se “conduzidas”.

.LT's : mede-se componente irradiada : antenas tipo quadro (componente magnética) ou tipo haste (componente elétrica)

- ✓ Ensaio de RIV (radio influence voltage).
- ✓ Verificação das isolações externas
- ✓ Aplica-se 1,1 U F-T entre terminais e base com equipamento fechado ou aberto .
- ✓ Reduzir a 0,3 U em degraus de 0,1 U e voltar ao 1,1 U
- ✓ Curva tensão x nível RI < limite.

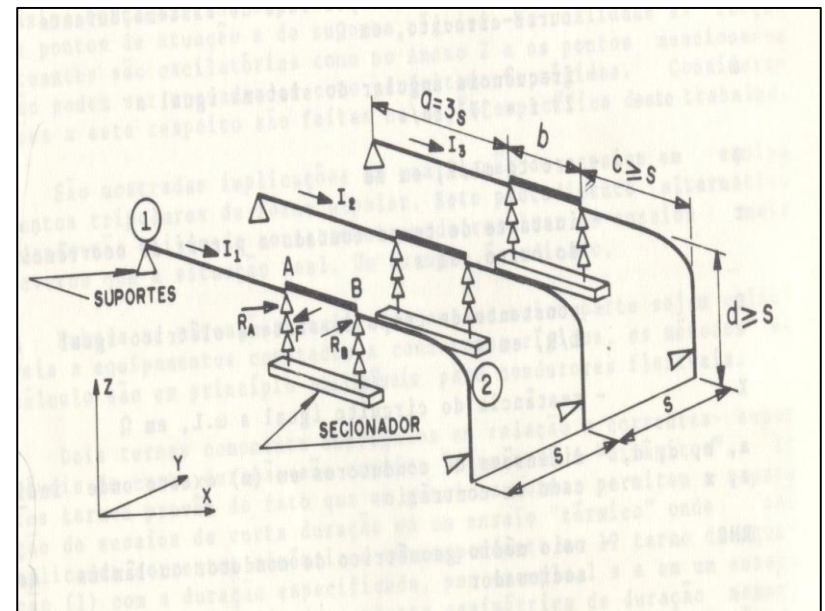
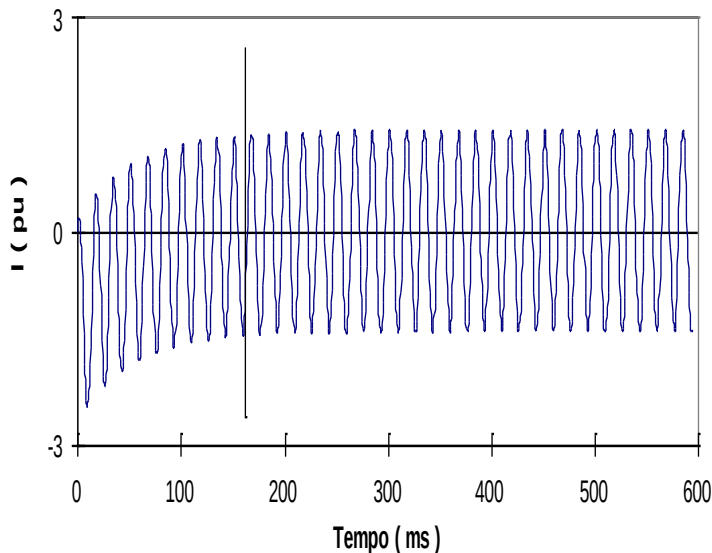


Part	Contact material and medium where it is used	Temperature Rise máx. (K) amb 20°C	Temperature max. (°C) ambient 40°C	Comments
SPRING CONTACT	Copper and copper alloys uncoated	- in air 35 - in SF6 50 - in oil 40		
	Tinned, in air, SF6 or oil	50		
	Silver or niquel plated	- in air 65 - in oil 50		
	For contactors in oil		105	Oil deterioration
BOLTED CONTACT	Copper, aluminum and alloys uncoated in air uncoated in SF6	50 65		
	Tinned, in air or SF6		105	Tin "creep point"
	Silver or niquel plated air or SF6	75		
	Silver or niquel plated in óleo		100	Oil deterioration
	For contactors in oil		105	Oil deterioration
METALIC PARTS	In contact with insulation class			
	• Y / A / E		90 / 105 / 120	Isolation ageing
	• B / F / H		30 / 155 / 160	
SURFACES	Can be touched (met / non met)			
	Accessible but not touched		70 / 80 80 / 90	Do not injure persons

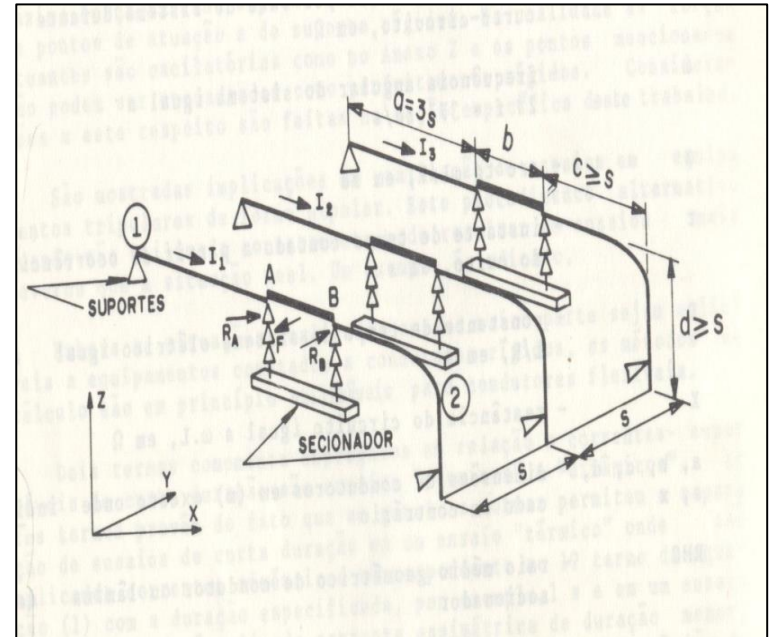
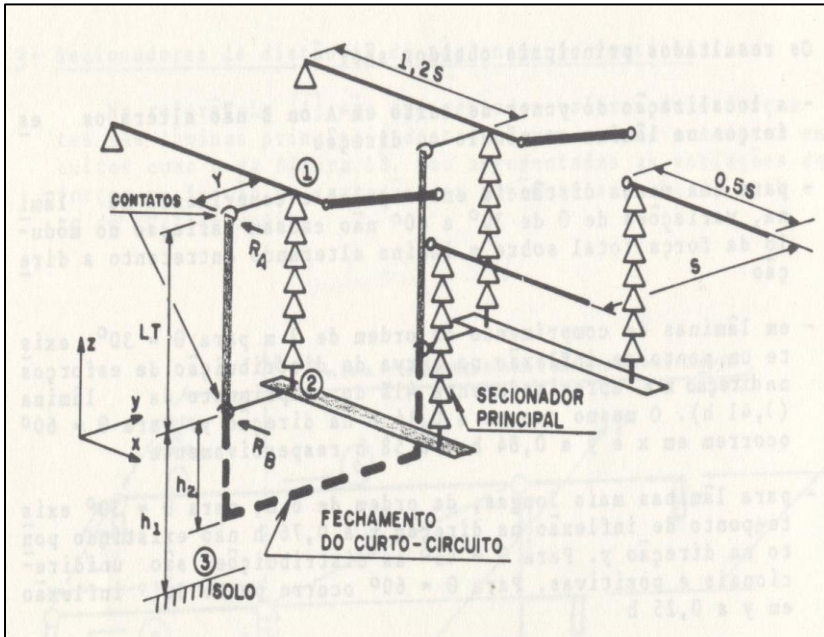


Ensaio: CORRENTES SUPORTÁVEIS DE CURTA DURAÇÃO E DE CRISTA

- ✓ Capacidade de suportar efeitos térmicos e dinâmicos da corrente de curto circuito
- ✓ Efeitos Térmicos $I^2 \cdot t$: variações nos materiais e perda de características (recozimento, derretimento....)
- ✓ Efeitos Dinâmicos ($I^2 \cdot L/S$): Quebra de contatos, isoladores, empenamento de peças
- ✓ Arranjo físico: representar o possível a situação de campo (ou arranjo de norma)
- ✓ Ensaios monofásicos em equipamentos trifásicos: menor espaço e mais barato



Ensaio: CORRENTES SUPORTÁVEIS DE CURTA DURAÇÃO E DE CRISTA



•Depois do ensaio:

- uma operação sem carga do dispositivo de manobra mecânico e contatos devem abrir na primeira tentativa;
- medir resistência do circuito principal (exceto para seccionadores de aterramento).
- Se aumentou em mais de 20 % e não é possível confirmar condição dos contatos por inspeção visual executar ensaio adicional de elevação de temperatura.

ESPECIFICAÇÃO de DISJUNTORES de ALTA TENSÃO

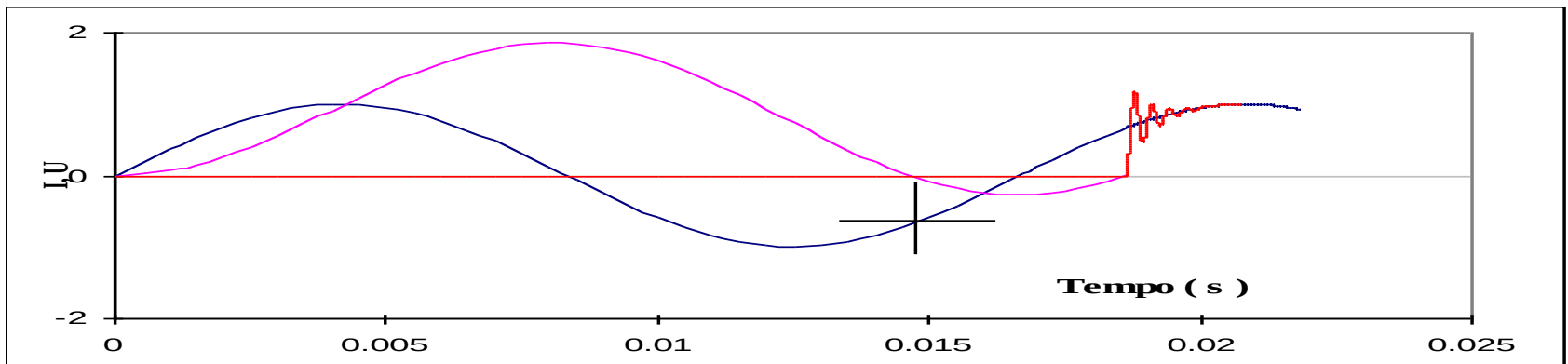
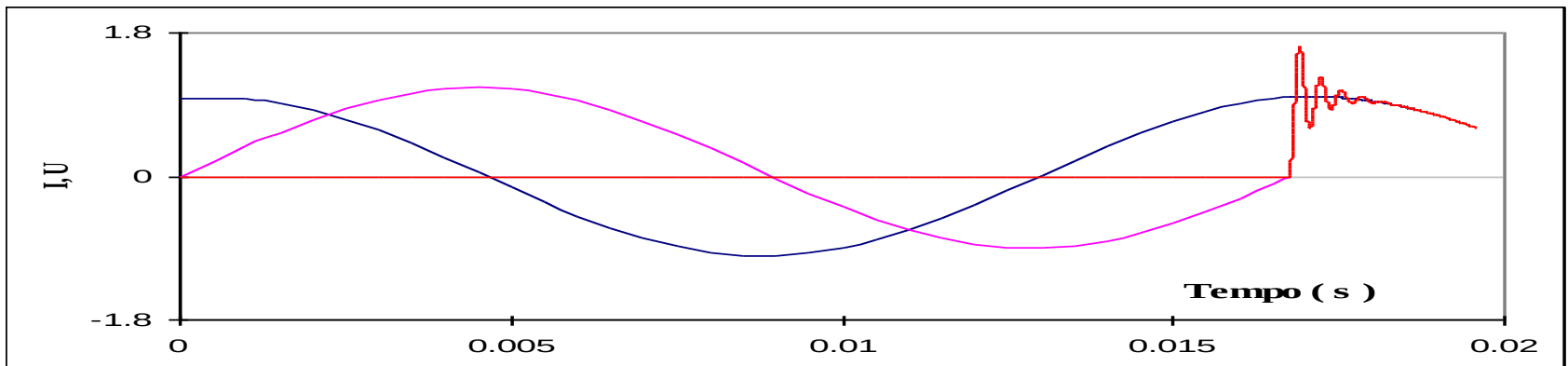


ENSAIOS DE INTERRUPÇÃO

- ✓ Tipo de falta a se representar (tensão, corrente e fator de potência)
- ✓ % de assimetria da corrente na interrupção
- ✓ Taxa de crescimento da tensão de restabelecimento transitória (TRT)
- ✓ Tipo de aterramento e **fator de primeiro pólo**

- ✓ **Curto-circuito aos terminais :**

- ✓ **10%, 30%, 60%, 100% sim e 100% assim. I_{cc}**



ENSAIOS DE INTERRUPÇÃO

- ✓ Falta em linhas curtas: (90%, 75% e 60% I_{cc})
- ✧ Estabelecimento e interrupção em discordância de fases
- ✧ (disjuntores de interligação $I_1 = 20$ a $40\% I_{disc}$ e
- ✧ $I_2 = 100$ a $110\% I_{disc}$ 2ou2,5U ØN
- ✧ Manobra de correntes capacitivas :
 - Interrupção de linhas em vazio U_{f-f} 72,5 kV;
 - Interrupção de cabos em vazio; U_{f-f} 25,8 kV;
 - Bancos paralelos de capacitores em contraposição;
 - Bancos de capacitores.
- ✧ Manobra de pequenas correntes indutivas e de magnetização.

ESPECIFICAÇÃO de DISJUNTORES de ALTA TENSÃO

Dados técnicos		Requisitos
	Demais especificações como nos seccionadores	
Curto circuito	Capacidade de interrupção nominal Componente CA (kArms) Componente CC (%) Duração nominal (s)	40 kArms 50% 3 s
Interrupção	Numero de interrupções sem manutenção	
TRT para faltas nos terminais	Representação: 2 ou 4 parâmetros Fator de primeiro polo Primeira tensão de referencia U1 Tempo T1 relativo a U1 Segunda tensão referencia Uc Tempo T2 relativo a Uc Tempo de retardo Td Tensão U' Tempo T' Taxa de subida U1/T1	4 1,5 296 kVcr 148 μ S 415 kVcr 444 μ S 2 μ S 148 kVcr 76 μ S 2 kV/ μ S
Ciclo de operação		O - 0,3s – CO - 3min - CO

ESPECIFICAÇÃO de DISJUNTORES de ALTA TENSÃO

Dados técnicos		Requisitos
Características da linha	Impedância de surto Fator de crista nominal Taxa de subida da tensão de restabelecimento	450 Ω 1,6 0,240 kV/ μ S.kA
TRT	Representação: 2 ou 4 parâmetros Fator de primeiro polo Primeira tensão de referencia U1 Tempo T1 relativo a U1 Segunda tensão referencia Uc Tempo T2 relativo a Uc Tempo de retardo Td Tensão U' Tempo T' Taxa de subida U1/T1	4 198 kVcr 99 μ S 277 kVcr 297 μ S 2 μ S 98,8 kVcr 51,5 μ S 2 kV/ μ S
	Tempo de interrupção nominal	3 cycles
Linhas em vazio	Capacidade de interrupção (Arms) Fator de surto no fechamento da linha Numero de interrupções sem manutenção	125 A rms 1,4

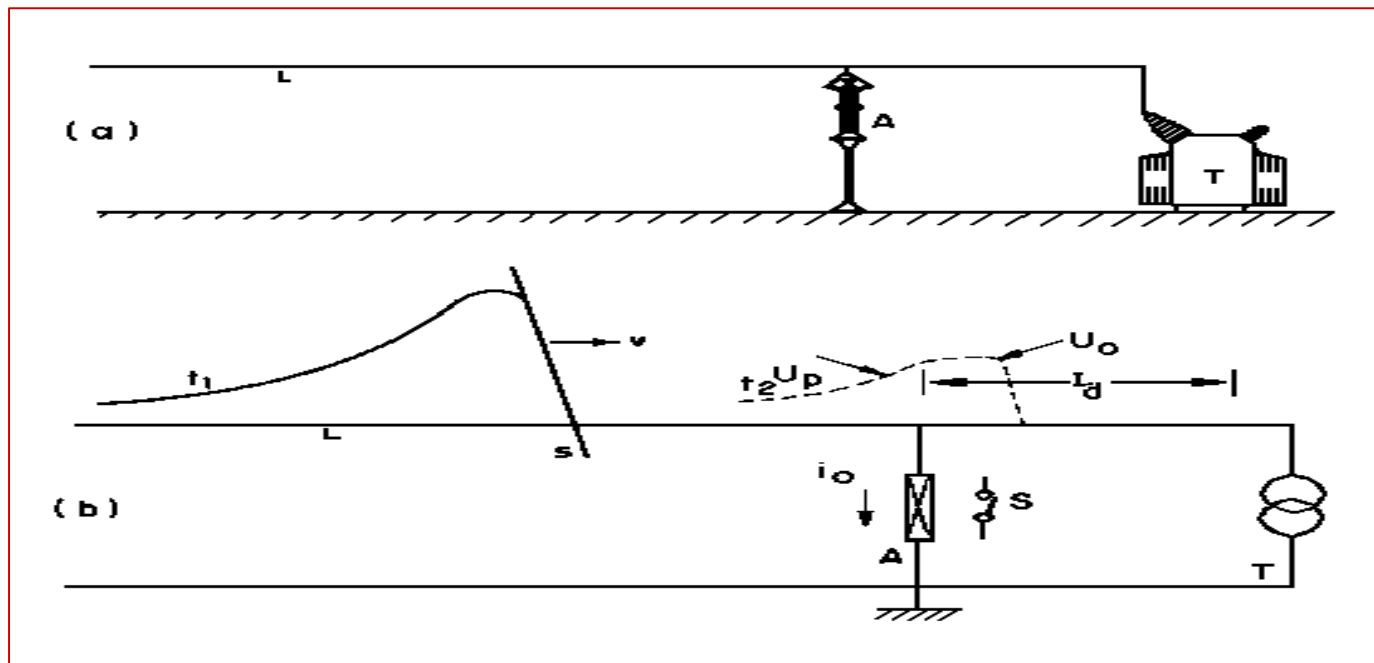
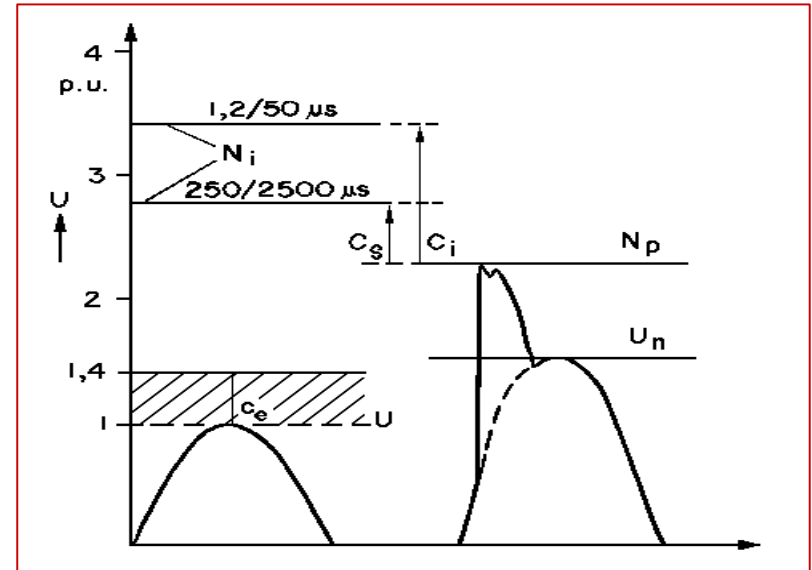
ESPECIFICAÇÃO de DISJUNTORES de ALTA TENSÃO

Dados técnicos		Requisitos
Interrupção	Interrupção de pequenas correntes indutivas Maxima sobretensão	5 A rms 2 pu
Chaveamento em discordancia de fases	Capacidade de interrupção Tensão aplicada U1 T1 U1/T1	40 kA rms 279 kV rms 400 kVcr 260 μ S 1,25 kV/ μ S

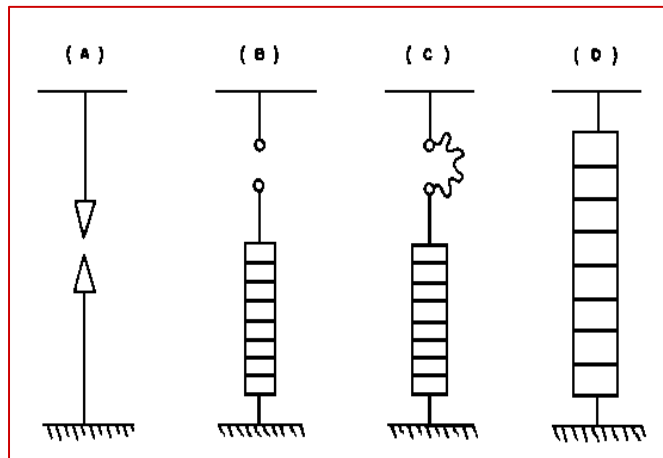
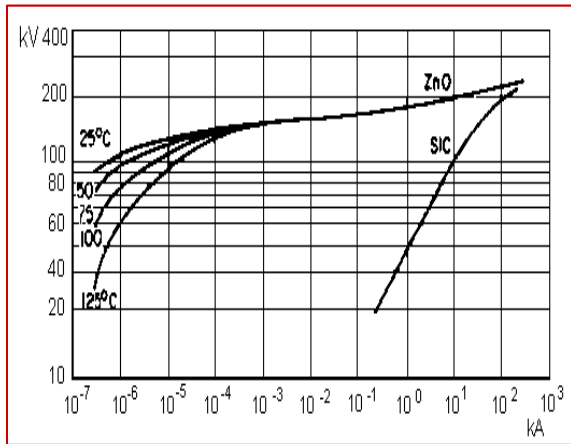
PARA - RAIOS

Função:

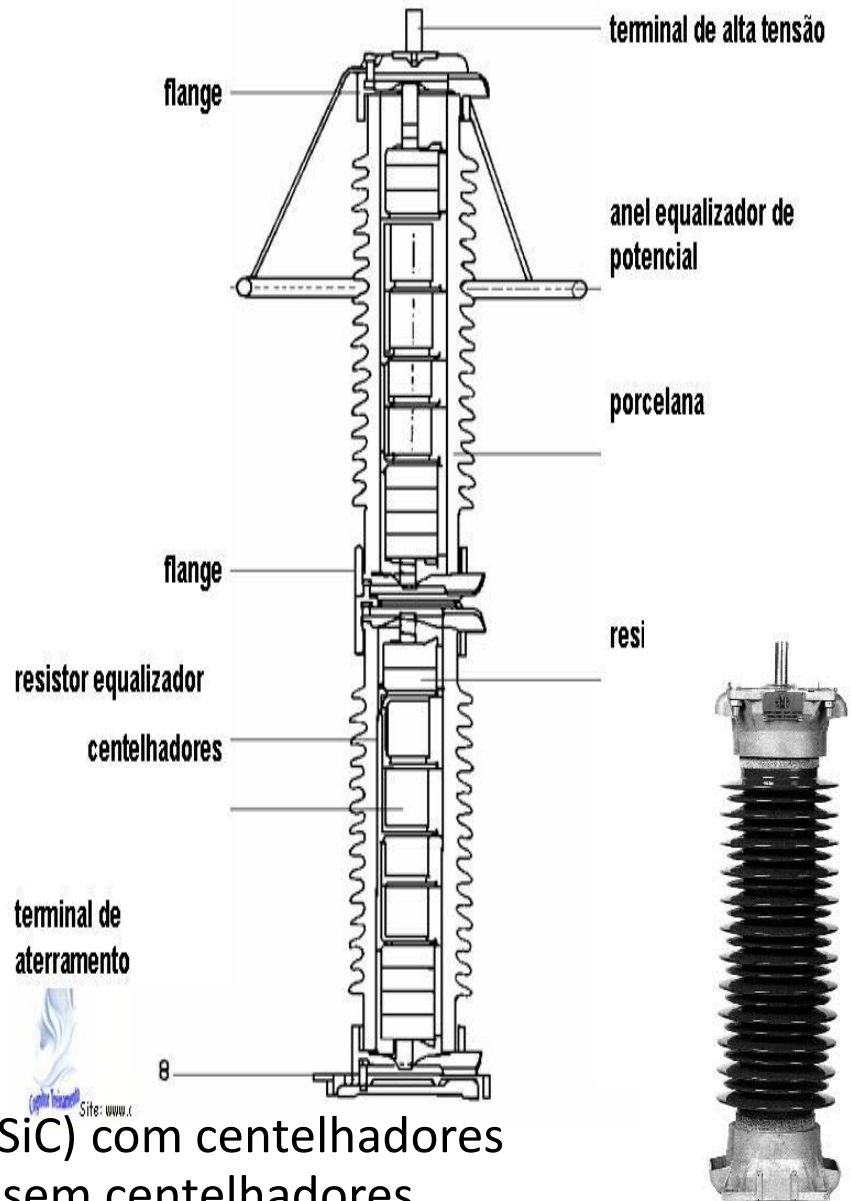
- Desviar as sobretensões para a terra evitando que sejam aplicadas aos equipamentos protegidos.
- Sobretensões: frequência industrial, manobra e atmosféricas



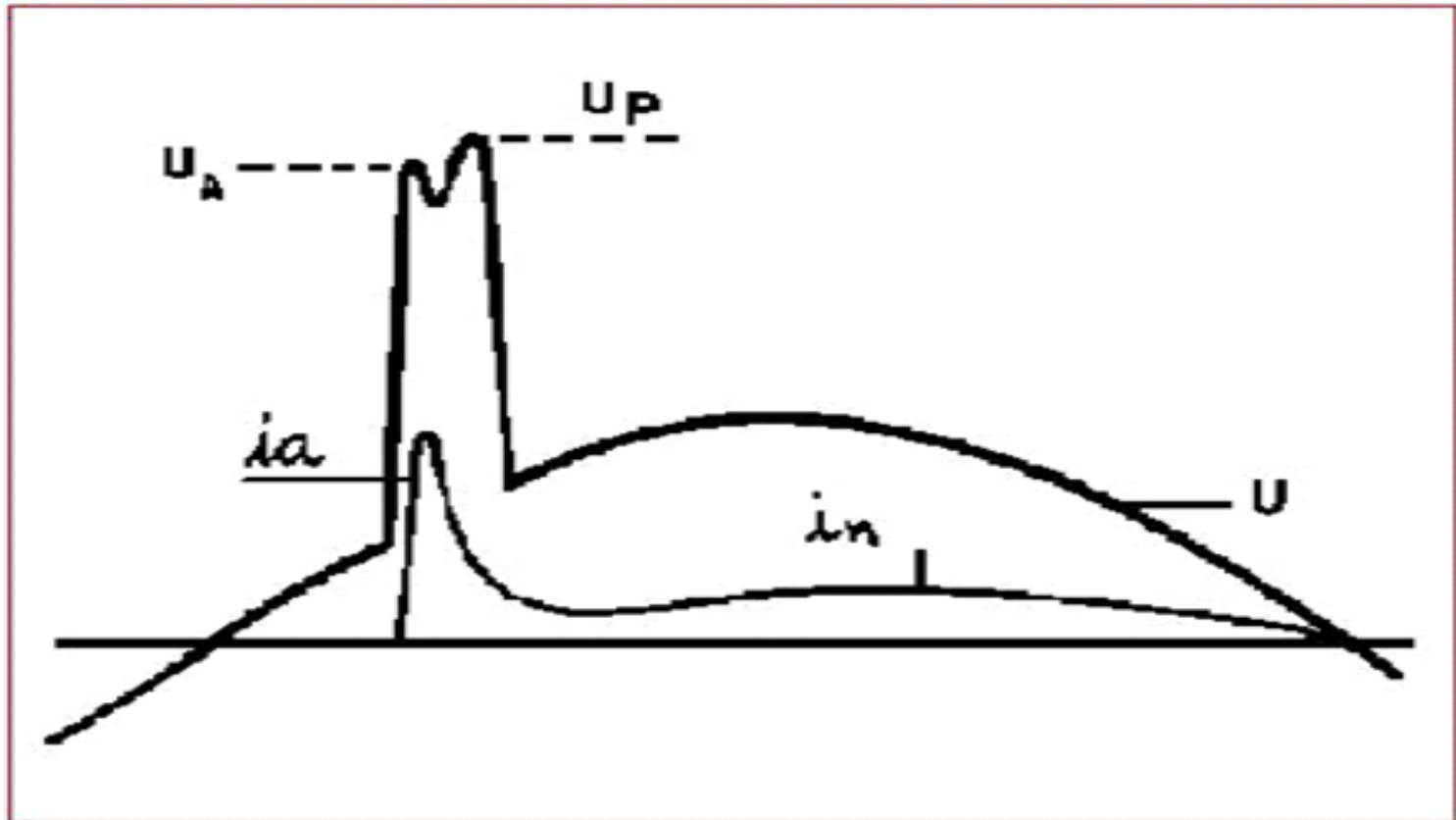
Para-raios (evolução)



- Centelhadores no ar
- Pára-raios de Carboneto de Silício (SiC) com centelhadores
- Pára-raios de Óxido de Zinco (ZnO) sem centelhadores
- Invólucros poliméricos e de porcelana



PÁRA-RAIOS DE SiC COM CENTELHADORES



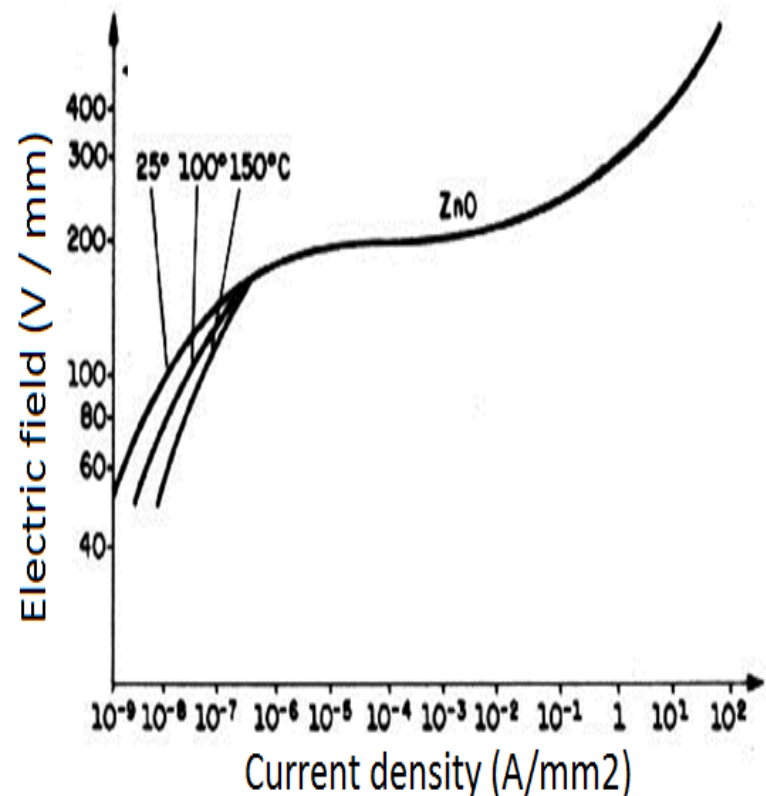
- i_a = corrente de descarga
- i_n = corrente subsequente
- U_a = tensão de disparo
- U_p = tensão residual
- U = tensão sistema 50 / 60 Hz

PÁRA-RAIOS DE ZNO SEM CENTELHADORES

- Conjunto de resistores não-lineares de ZnO.
- Características de proteção bem definidas face a ausência dos centelhadores.
- Não há corrente subsequente (que aguarda o zero).
- Maior capacidade de absorção de energia.
- Possibilidade de divisão da energia entre diversos para-raios

Polimérico

- Menos espaçamento de ar = menos penetração de umidade
- Sem fragmentação do invólucro pode ficar mais perto do transformador.
- Sem dispositivos de alívio de sobrepressão é mais barato.
- 50% do peso.

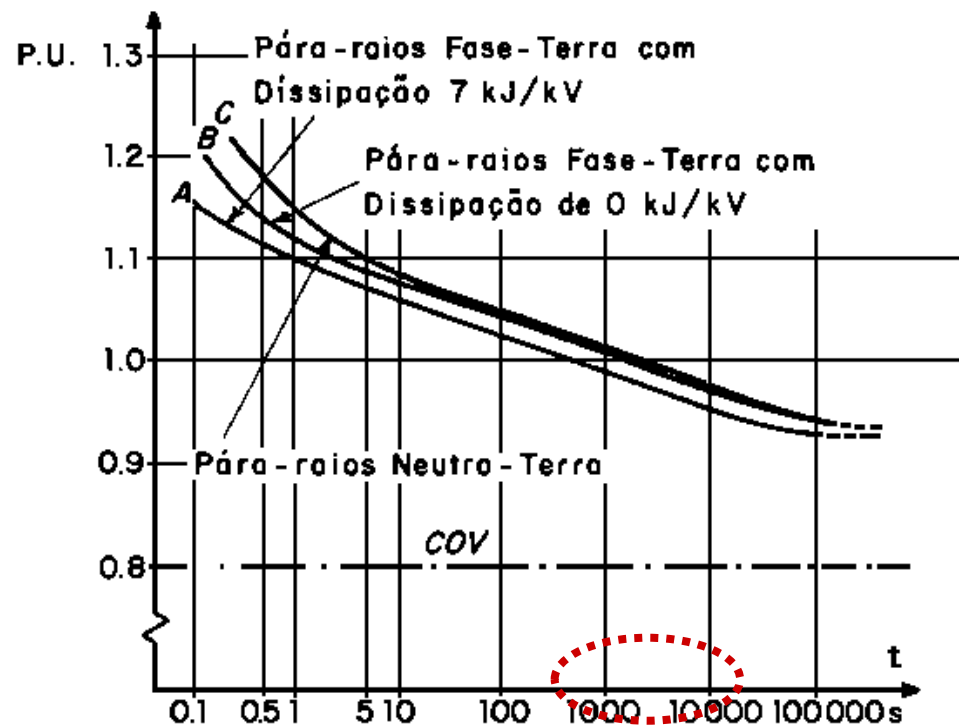


- ✓ **Tensão nominal U_r (kV ef):** valor máximo da tensão na frequência industrial aplicada aos terminais para o qual é projetado para operar sob condições de sobretensões temporárias no ensaio de ciclo de operação (valor 10s).
- ✓ **Tensão contínua de operação U_c (kV ef):** máximo valor em regime contínuo nas mesmas condições de U_r para ciclo de operação. (MCOV)

✓ **Capacidade de sobretensão temporária:**

✓ definida pela característica de suportabilidade tensão x duração.

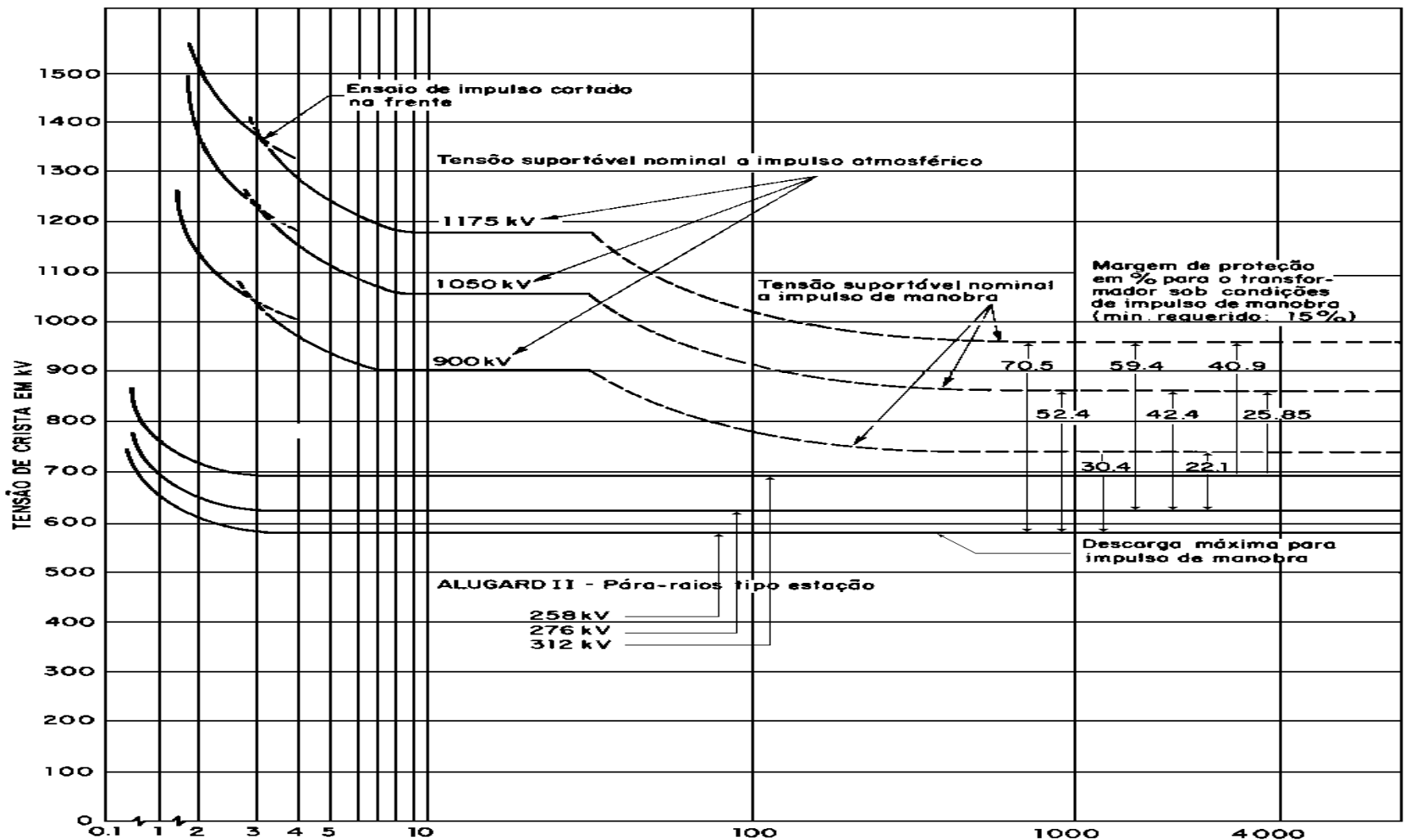
✓ durações permitidas para tensões superiores à tensão máxima de operação em regime contínuo.



- ✓ **Corrente de descarga nominal (I_n):** valor de pico da corrente de impulso atmosférico usada para classificar o para-raios $8 \times 20 \mu S$
- ✓ **Impulso de alta corrente:** valor de pico da corrente de descarga $4 \times 10 \mu S$ (para testar estabilidade sob descargas atmosféricas diretas)
- ✓ **Impulso de corrente de manobra:** valor de pico da corrente de descarga com tempo de frente entre 30 e $100 \mu S$.
- ✓ **Corrente permanente:** corrente sob tensão contínua de operação U_c
- ✓ **Corrente de referência:** valor de pico da componente resistiva da corrente à frequência industrial
- ✓ **Tensão de referência (U_{ref}):** valor de pico dividido por raiz de 2 correspondente à corrente de referência
- ✓ **Tensão residual (U_{res}):** valor de pico da tensão que aparece entre os terminais durante uma descarga

SELEÇÃO DO PARA-RAIOS

- Máxima tensão contínua de operação;
- Características de proteção para surtos atmosféricos e de manobra;
- Durabilidade
- Alívio de sobrepressão em caso de falhas;
- Nível de proteção e durabilidade desejados determinam a classe



SELEÇÃO DO PARA-RAIOS ZnO

- Há um valor limite de tensão de frequência industrial que pode ser aplicado continuamente entre os seus terminais sem alterar seu desempenho elétrico.

- Máxima Tensão Contínua de Operação (MCOV)

- Os elementos de ZnO podem absorver, por certo tempo, certa quantidade de energia das sobretensões sustentadas sem afetar as suas características.

- Curva “Tensão de frequência industrial x tempo”

Deve-se garantir que:

(1) MCOV seja igual ou superior à máxima tensão operativa do sistema no ponto de aplicação do para-raios e,

(2) para sobretensões sustentadas, a curva tensão de frequência industrial X tempo do para-raios deve exceder a curva sobretensão X duração do sistema.

ESPECIFICAÇÃO DE PARA - RAIOS

1. Modelo do Fabricante:		
a) Tensão nominal do sistema (fase-fase; kVef)	230	
Frequência nominal (Hz):	60	
Tensão máxima de operação contínua (fase-fase, kVef):	242	
Tensão máxima de operação contínua (fase - neutro, kVef):	160	
Tensão nominal do para-raios (kVef):	228	

ESPECIFICAÇÃO DE PARA - RAIOS

Tensão residual para frente de onda (máxima) (kVcr): Tensão residual para impulso atmosférico (máxima) (kVcr): Tensão residual (máx.) para impulso manobra (03 kA, kVcr): Tensão residual a corrente de descarga nominal (kVcr): Corrente de descarga nominal (A crista): Classe de descarga de longa duração (Norma IEC 99-4) KA Corrente suportável de impulso de alta intensidade (kA crista): Corrente suportável de alívio de pressão: 1) Componente CA da corrente de alta intensidade (kAef): 2) Primeira meia onda maior da corrente alta intensidade (kAcr): 3) Corrente de baixa intensidade (Aef) Tensão de referência (kV eficaz) : Valores máximo e mínimo	590 ___? 480 600 20.000A 4 kA 100 kAcr ----- 40 kAef 100 kAcr 800 Aef -----	
Corrente de referência (mA)		
Mínima sobretensão temporária suportável pós-descarga por: (kVef): para 10 s -----1 s -----0,1s	216 kV por 10 s	
Corrente de fuga a tensão e frequência. nominais (mA):		

ESPECIFICAÇÃO DE PARA - RAIOS

Proteção para manobra diária – tensão máxima para corrente de 100 A (kVcr):	400 kVcr
Especificações para a porcelana como feito para seccionadores	
Distancia mínima de escoamento	20 mm / kV
Valores máximos de tensão residual para ondas de correntes de manobra de 50 a 2000 A	kVcr
Capacidade de absorção de energia	8 kJ / kV

EXEMPLO PARA 3 SISTEMAS (220 / 132 / 66 KV RMS)

Normal system voltage	220 / 132 / 66 KV
Highest system voltage	245 / 145 / 72.5 KV
System frequency	50 Hz $\pm$ 1.5
Number of phases	3 (Three)
Prospective symmetrical faults current.	40KA rms
Neutral earthing	Effectively earth
Max. Duration of earth faults.	3 Sec.

Equipamento a proteger

220 / 132 / 66 KV Transformers

- | | |
|------------------------------|-----------------------|
| a) Lightning impulse | 1050 / 650 / 350 KVp |
| b) Power frequency withstand | 460 / 275 / 140 KVrms |

ESPECIFICAÇÃO DE PARA - RAIOS

	Particulars	220 KV LA	132 KV LA	66 KV
1	Type of Arrestors	Station Class, heavy duty, gapless metal oxide surge arrestor.		
2	Installation	Out door		
3	Application standard	IEC : 60099-4 on metal oxide surge arrestors for AC system		
4	Rated Voltage KV	220	132	66
5	Highest System Voltage KV	245	145	72.5
6	Corona Extn. Voltage	198 KV rms	120 KV rms	60 KV rms
7	Nominal discharge current (for 8/20 microsecond wave)	10 KA		
8	Long duration discharge class (line discharge class)	Class - III		Class -II
7	Anticipated voltage level of Temporary over voltage with stand capability (KV rms) - Voltage - Duration	- 1.3 times rated voltage of arrester - 1 to 10 Seconds		
8	Pressure Relief Class	A , 40 KA rms		
9	One minute dry power frequency withstand voltage of arrester housing KV rms	460	275	140
10	Impulse withstand voltage of arrester housing with 1.2/50 micro second wave. KVP	1050	650	350

ESPECIFICAÇÃO DE PARA - RAIOS

		220 KV	132 KV	66 KV
11	Creepage distance of porcelain housing	<u>-6125 mm for LAs to be supplied at stations other than KLTPS (25mm/KV)</u> <u>- 7595 mm for LAs to be supplied at KLTPS (31 mm/KV)</u>	<u>4495 mm for LAs to be supplied at Sikka TPS (31 mm/KV)</u>	<u>2248 mm for LAs to be supplied at Sikka TPS (31 mm/KV)</u>
12	Ratio of switching impulse residual voltage to rated voltage of arrester	Not more than two		
13	Max RIV when energized at MCOV	1000 micro volts		
14	Partial discharge value	50 pc (max)		
15	Bimetallic compression type Terminal connector	As per site requirement		
16	Type of Mounting	Pedestal (On structure)		

Testes nos blocos de ZnO

- Steep Current Impulse Residual Voltage test
- Lightning impulse Residual voltage test
- Switching impulse Residual voltage test
- Long duration current impulse withstand
- Operating duty test
 - High Current Impulse operating duty test
 - Switching Surge Operating Duty test
- P. F. voltage x time characteristic
- Reference voltage test
- Accelerated ageing test

ENSAIOS

Testes no para-raios

- Artificial pollution test
- Seismic test
- High current pressure relief test
- Low current pressure relief test

Testes no involucro

- Impulse voltage withstand test on insulator
- P.F. (Dry) voltage withstand test on insulator
- P.F. (Wet) voltage withstand test on insulator
- Bending test on assembly

Geral

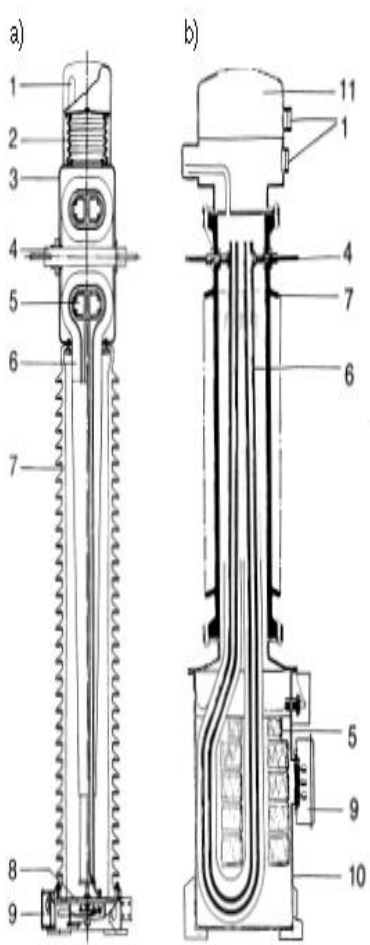
- STC on Terminal connector (40 kA for 3 sec)
- Degree of Protection test on counter/surge monitor
- Uniformity of Zinc coating

PRINCIPAIS ENSAIOS

1. Tensão suportável no invólucro sem a parte interna ativa
2. Tensão residual
 - impulso de corrente íngreme;
 - impulso atmosférico;
 - impulso de manobra;
3. Corrente suportável de impulso:
 - Corrente de impulso retangular de longa duração
 - Descarga de linhas de transmissão
4. Ciclo de operação (impulso de corrente elevada e de manobra)
5. Característica "tensão de frequência industrial x tempo"
6. Alívio de sobrepressão interna, quando aplicável
7. Tensão de radio-interferência e de ionização interna (ANSI)
8. Ensaio do desligador automático, quando aplicável
9. Poluição artificial (ANSI)
10. Estanqueidade
11. Medição das descargas parciais (IEC)
12. Distribuição de corrente, em para-raios multi-colunas;

TRANSFORMADORES DE CORRENTE

Relações de transformação		
• secundários de proteção	300/400/600 – 5-5-5-5A	
• secundários de medição	300/400/600 – 5-5 A	
Fator térmico	1,3	
Quantidade de enrolamentos secundários	6	
Secundários de medição	2	
Secundários de proteção	4	
Características do núcleo de medição:		
• Domínio nominal de utilização, para frequências variando entre	58 a 61	Hz
• Limites de erros	0,3%(Iprimária=1,0xIn ; FtxIn) ; 0,6%(Iprim= e item 2.2.4	
• Cargas	Vide item 2.2.4	
• as cargas e classe de exatidão devem ser mantidas na variação de:	5% a 100% da carga nominal, para a r relação de transformação, e as características conforme norma NBR- (inclusive figuras 1,2 e 3 do anexo B)	
• Com carga secundária de 75 a 100% da carga de exatidão nominal máxima e com corrente primária de 50 kAef, a corrente secundária nos núcleos de medição deve ser	50 A ef	



núcleos de proteção: Domínio nominal de utilização, para frequências variando entre	55 a 65	
as cargas e classe de exatidão devem ser mantidas na variação de:	5% a 100% da carga nominal, relação de transformação, características conforme norma N	
Limite de Erro	10% (vide item 2.2.4	
Cargas	Vide item 2.2.4	
Fator limite de Exatidão	Núcleos de proteção	83,3 x In

- Ensayo De Arco Interno

A fin de verificar, ya sea la capacidad del transformador de resistir las sollicitaciones producidas a consecuencia de un arco interno, ya sea el correcto funcionamiento del dispositivo de seguridad contra las sobrepresiones, se debe realizar un ensayo produciendo en el interior del transformador un arco de potencia por la aplicación de la corriente de cortocircuito durante 300 ms.

El arco se debe iniciar en la zona(1) en la cual el gradiente del campo eléctrico es el presumiblemente más elevado ó sostenido más significativo, mediante un hilo conductor de pequeña sección que deberá fundirse casi instantaneamente.

El ensayo puede efectuarse con una tensión sensiblemente inferior a la tensión nominal procurando que la corriente de arco sea prácticamente sinusoidal y el arco no se extinga antes del tiempo establecido.

Los parámetros del circuito y la sincronización del interruptor de cierre deben ser tales que, el valor de cresta del primer pico de la corriente sea igual a $1,7 \pm 2,5$ veces el valor eficaz de la corriente permanente.

Durante el curso de la prueba se debe registrar el valor de los parámetros eléctricos y el tiempo de actuación de la válvula de sobrepresión.

El ensayo se debe realizar a la presión nominal de funcionamiento.

La prueba se considera un éxito si no se observa rotura externa sobre el transformador además de la actuación del dispositivo de seguridad contra la sobrepresión.

La ejecución de la prueba no es necesaria si ya fue realizada sobre otro aparato perteneciente a la misma serie proyectada, en tal caso el Fabricante debe demostrar el cumplimiento del ensayo mediante certificación del resultado de la verificación ya efectuada.

TRANSFORMADORES DE POTENCIA E REATORES

Certificados dos ensaios de tipo e especiais.

Memória de cálculo de curto-circuito, indicando:

- cálculo da corrente máxima de curto-circuito por enrolamento;
- cálculo da capacidade térmica de suportar curtos-circuitos conforme NBR 5356;
- cálculo da capacidade dinâmica de suportar curtos-circuitos.
- indicação dos métodos dos cálculos dos esforços radiais e axiais;
- dados de entrada e saída dos cálculos de esforços radiais e axiais;
- máximas solicitações admissíveis dos esforços

Tensão operativa nominal	$230 \pm 5\%$	kV
Frequência normal do sistema	$60 \pm 0,1$	Hz
Nível de isolamento na tensão de 230 kV		
• a impulso atmosférico (BIL)	950	kV
• a impulso de manobra (BSL)	750	kV
Níveis de curto-circuito na barra 230 KV		
Curto monofásico (nível mínimo)	8,8	kA
Curto trifásico (nível mínimo)	6,3	kA
Curto monofásico (nível máximo)	21	kA
Curto trifásico (nível máximo)	15	kA

SOBRETENSÃO	SUPORTABILIDADE [1]
1,8 pu	50 ms
1,4 pu	200 ms
1,3 pu	1 segundo
1,2 pu	10 segundos
1,1 pu	3 horas

[1] Características a serem definidas pelo fabricante

Alguns requisitos

DESCRIÇÃO		Un
Resfriamento:	óleo mineral, naftênico	
Número de fases	1	
Frequência nominal	60	Hz
Tensão nominal	$242/\sqrt{3}$	kV_{ef}
Potência nominal	x	MVA _r
Ligação dos enrolamentos	x	
Método de resfriamento	x	
Limites de elevação de temperatura dos enrolamentos (ponto mais quente)	65	K
Nível de ruído – Decibéis abaixo da tabela 12, NBR 5119 (item 14.16)	x	dB
Tensão de radio-interferência, conforme item 14.17, NBR 5119	x	μV

DESCRIÇÃO			Un	OBS
Níveis de isolamento dos enrolamentos	Linha	Neutro		
Tensão sup. nom. impulso atmosférico pleno	950	x	kV _p	[1]
Tensão sup. I impulso atmosférico cortado	1045	-	kV _p	[1]
Tensão sup. nom de impulso de manobra	750	-	kV _p	[1]
Tensão sup. nom à frequência industrial	395	x	kV _{ef}	[1]
Níveis de isolamento das buchas				
Tensão sup .nom impulso atmosférico pleno	1050	x	kV _p	[1]
Tensão sup. nom impulso atmosférico cortado- 3 s		x	kV _p	[1]
Tensão sup. nom de impulso de manobra	850	-	kV _p	[1]
Tensão suportável nominal à frequência industrial, a seco	460	x	kV _{ef}	[1]
Tensão sup. frequência industrial, sob chuva		185	kV _{ef}	
Distância mínima de escoamento	25	25	mm/kV	

[1] Características a serem definidas pelo fabricante

Alguns requisitos

.Corrente de excitação:

.O joelho da curva de saturação deverá estar no valor de 125 % da tensão nominal de 242 kV ou acima deste.

.O fornecedor deverá apresentar a curva de saturação, levantada em ensaio

.Suportabilidade a sobretensões dinâmicas

.O equipamento deverá ser capaz de suportar níveis de sobretensão de 4.2

.Requisitos de sobrecarga:

.Além do exposto na NBR 5416, o transformador e acessórios deverão suportar sobrecargas diárias de curta duração (período inferior a meia hora), de 1,35 vezes a potência nominal do transformador e sobrecargas diárias de longa duração (período inferior a quatro horas), de 1,25 vezes a potência nominal do transformador.

Alguns requisitos

• Seguindo prescrições das NBR 5356 e NBR 5380

• **Ensaio de Rotina:** os na NBR 5356 e verificação do esquema de pintura

• **Ensaio de Tipo:** elevação de temperatura e nível de ruído

• **Ensaio Especiais**

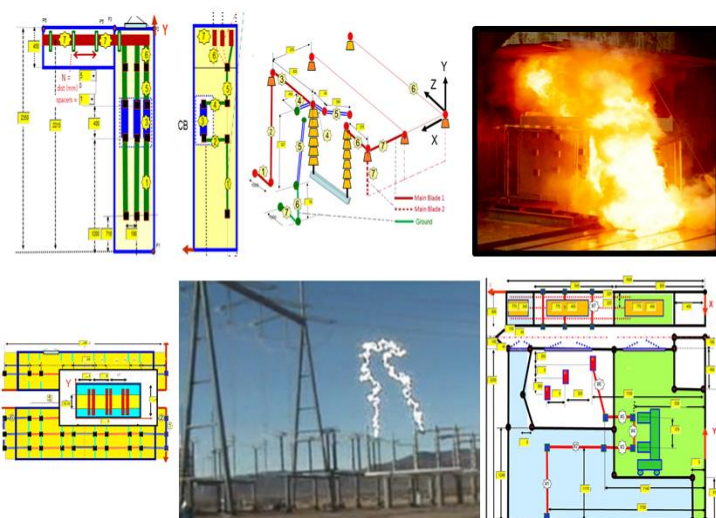
- medição da impedância de seqüência zero
- medição dos harmônicos da corrente de excitação
- análise cromatográfica dos gases dissolvidos no óleo isolante;
- fator de potência do isolamento;
- vácuo interno;
- levantamento da curva de saturação;
- ensaio de grau de polimerização.
- levantamento da curva de saturação para mostrar que o joelho da curva está no valor especificado, ou acima deste.

FIM DO MÓDULO 5

PAINÉIS, BARRAMENTOS E SECCIONADORES

E

EQUIPAMENTOS DE SUBESTAÇÕES DE TRANSMISSÃO e DISTRIBUIÇÃO



MÓDULO 6:

NORMAS de PAINEIS

MÉDIA TENSÃO (IEC_62271-200)

BAIXA TENSÃO (IEC_61439)

Norma NBR IEC 62271-200

Conjunto de manobra e controle de alta tensão – Parte 200: Conjunto de manobra e controle de alta tensão em invólucro metálico para tensões acima de 1 kV até e inclusive 52 kV

- Conjunto de manobra e controle em invólucro metálico, CA, $> 1\text{kV}$ e $\leq 52\text{ kV}$, para instalação abrigada e ao tempo
- Invólucros com componentes fixos e removíveis e que podem ser preenchidos com fluido (líquido ou gás) de isolamento.
- Para gás pressão relativa de projeto é $\leq 300\text{ kPa}$. ($\sim 3\text{ atm}$)
- Para uso em atmosferas inflamáveis, em minas ou a bordo de navios, pode estar sujeito a requisitos adicionais.
- Categoria de perda de continuidade de serviço (LSC): define possibilidade de manter outros compartimentos e unidades energizadas se um compartimento de circuito principal for aberto.

Norma NBR IEC 62271-200

Conjunto classificado como arco interno (IAC):

Se critérios para proteção de pessoas são atendidos no caso de um arco interno, como demonstrado por ensaios apropriados

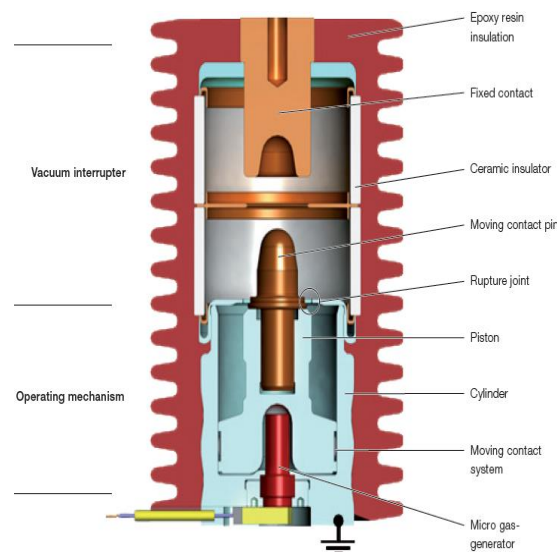
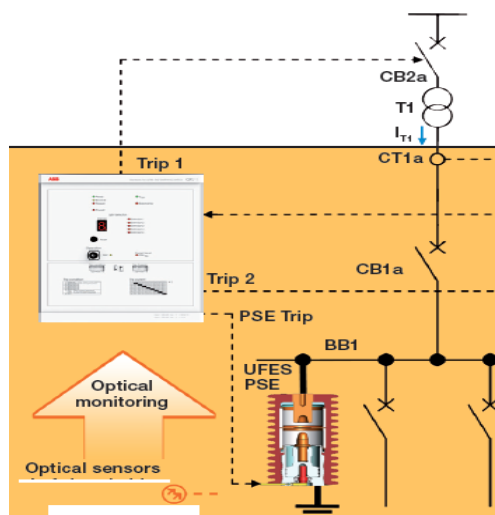
- Conjunto que atende Norma é projetado e fabricado, em princípio, para evitar a ocorrência de falhas internas.
- Se instalado, operado e mantido adequadamente há pequena probabilidade de arco interno . **mas ele não pode ser desconsiderado.**
- Falhas no invólucro devido a qualquer defeito, condição excepcional de serviço ou má operação, **podem iniciar arco interno que constitui um risco a pessoas.**

MEDIDAS PARA EVITAR ARCOS INTERNOS:

Eliminação de falta por detectores sensíveis à luz, à pressão ou calor

Fusível limitador de corrente

Eliminação rápida de arco desviando-o para curto-circuito metálico



Comando remoto;

Inserção ou extração da parte extraível somente com porta fechada.

- a) Nível de isolamento do equipamento
 - Ensaios de tensão à frequência industrial
 - Ensaios de tensão de impulso atmosférico (NBI)
 - Ensaios de descargas parciais
- b) Elevação de temperatura
- c) Corrente de crista nominal e corrente suportável nominal de curta duração
- d) Estabelecimento e interrupção dos dispositivos de manobra
- j) Efeitos de um arco devido a uma falha interna (para dispositivos de manobra e controle classe IAC)
- k) Compatibilidade eletromagnética

CLASSIFICAÇÃO DE ARCO INTERNO IAC

- Tipos de acessibilidade: **A, B ou C**

+

- **Corrente** de ensaio em kA e **duração** (s).

+

F Frontal

L Lateral

R Posterior

a) CONJUNTO NÃO MONTADO EM POSTE

Acessibilidade A: pessoal autorizado.

Acessibilidade B: público em geral.

b) CONJUNTO MONTADO EM POSTE

Acessibilidade C: restrita por instalação fora de alcance

CLASSIFICAÇÃO DE ARCO INTERNO IAC

Exemplo 1: 12,5 kAef - 0,5 s, acessibilidade pública e ensaiado com indicadores colocados na frente, lateral e posterior:

Classificação IAC BFLR

Arco interno: 12,5 kA 0,5 s

Exemplo 2:

16 kA - 1 s, instalado como:

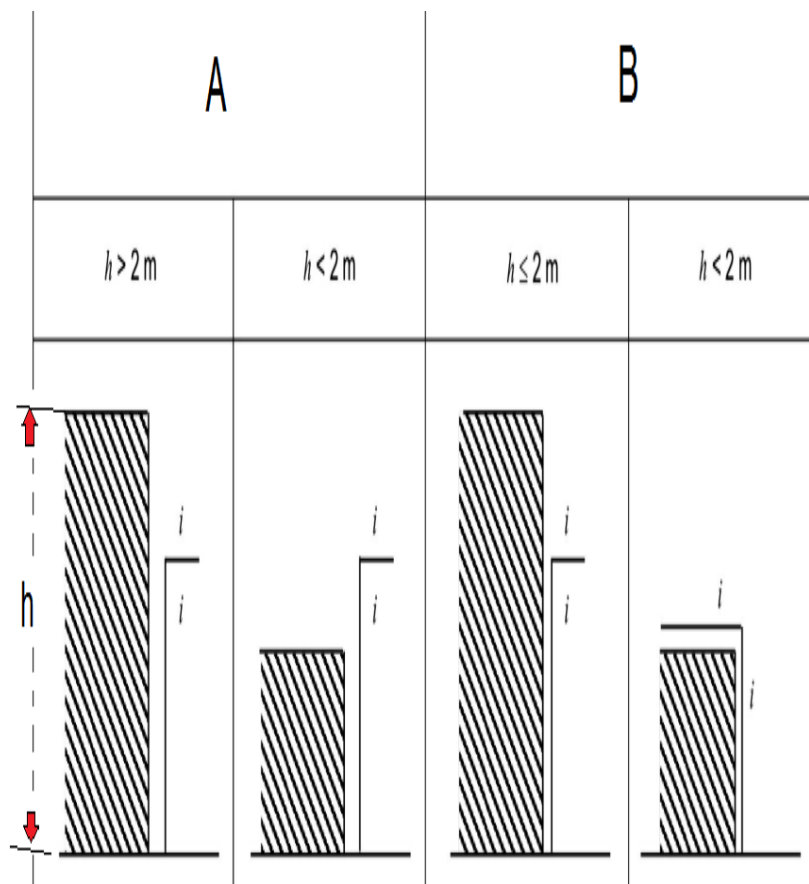
frente: acessibilidade pública

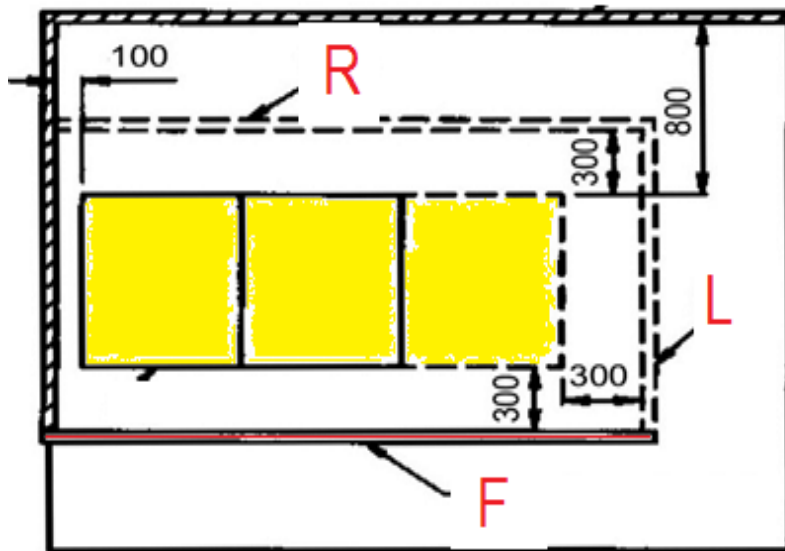
posterior: restrito aos operadores

lateral: não acessível

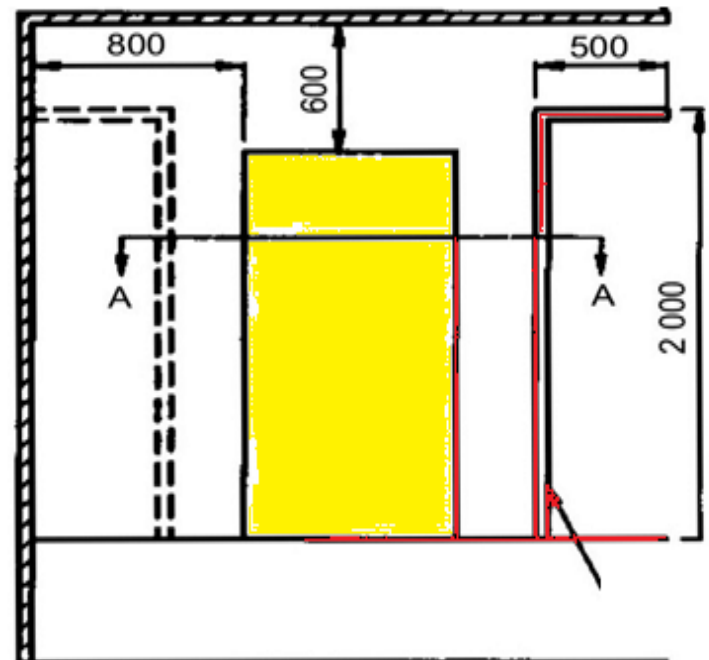
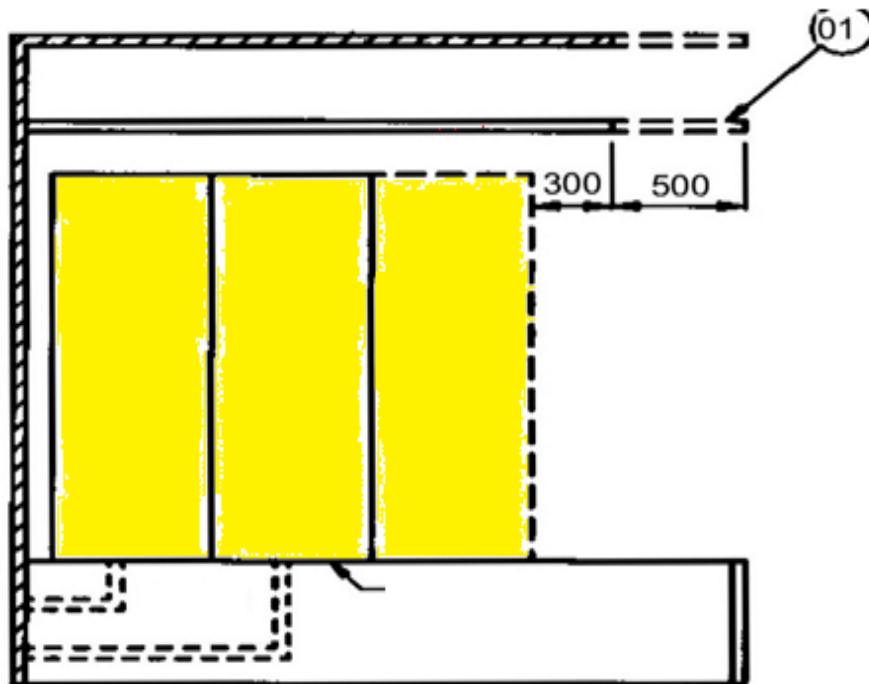
Classificação IAC BF-AR

Arco interno 16 kA 1 s.



Simulação da sala e indicadores - acessibilidade A ($h > 1,5$ m)

A - A



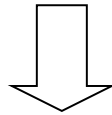
NORMAS TÉCNICAS DE PAINÉIS DE BAIXA TENSÃO

IEC 60439-1 (1999)

Low Voltage Switchgear and Controlgear
Part1 – Type tested and partially tested assemblies

NBR / IEC 60439-1 (2003)

Conjuntos de manobra e controle de baixa tensão
Parte 1: Conjuntos com ensaio de tipo totalmente testados (TTA) e conjuntos com ensaios de tipo parcialmente testados (PTTA)



Série de normas

Janeiro – 2009

IEC 61439 - Low-voltage switchgear and controlgear assemblies

*Há mudanças importantes de conceito
com as REGRAS DE PROJETOS !*

A “nova” série de normas NBR - IEC 61439

A norma IEC foi publicada em 2009

61439-1: General rules

61439-2: Power switchgear and controlgear ASSEMBLIES

(equivalente à anterior 60439-1)

61439-3: Distribution boards (substitui IEC 60439-3)

61439-4: ASSEMBLIES for construction sites (substitui IEC 60439-4)

61439-5: ASSEMBLIES for power distribution (substitui IEC 60439-5)

61439-6: Busbar trunking systems (substitui IEC 60439-2).

IEC 61439-1 / 2009 - CONCEITOS

- Discriminação entre “TTA” e “PTTA” acaba pelo enfoque “verificação”
- A verificação do projeto pode ser feita aplicando-se uma ou mais dos seguintes equivalentes e alternativos métodos
 - Ensaios
 - Cálculos, medição física
 - Validação de regras de projeto .

Regras de projeto na IEC 61439

Item	RÉGRAS DE PROJETO (T = temperaturas F = Forças eletrodinâmicas P = sobrepressão)	T	F	P
1	Corrente suportável de curta duração , menor ou igual a do projeto de referência testado ?		X	X
2	Seção transversal do barramento maiores ou iguais aos do projeto de referência?	X		
3	Espaçamento dos barramentos, maiores ou iguais aos do projeto de referência?	X	X	
4	Suportes de barramentos são do mesmo tipo, forma e material e espaçamentos do barramento são iguais ou menores que o do projeto de referência?		X	
5	Materiais, propriedades dos materiais e montagem iguais aos do projeto de referência?	X	X	X
6	Dispositivos de proteção de curto circuito.....são equivalentes, aos da mesma marca e série.. ?			
7	Comprimento do condutor vivo desprotegido..... Inferior ou igual aos do projeto de referência?			
8	Se o conjunto tem compartimento, no ensaio do projeto de referência este foi incluído ?	X	X	X
9	Compartimento a ser verificado do mesmo modelo, tipo e pelo menos mesmas dimensões ?	X		X
10	Compartimentos de mesma concepção mecânica e dimensões $\geq$ do projeto de referência?	X		X
“SIM” ; a todos os requisitos - sem necessidade de ensaiar. “NÃO” ; a qualquer dos requisitos - verificação adicional por cálculos e simulações é necessária				

IEC 61439 DESIGN RULES

**Table 13 – Short-circuit verification by design rules:
check list**

Item No.	Requirements to be considered	YES	NO
1	Is the short-circuit withstand rating of each circuit of the ASSEMBLY to be assessed, less than or equal to, that of the reference design?		
2	Is the cross sectional dimensions of the busbars and connections of each circuit of the ASSEMBLY to be assessed, greater than or equal to, those of the reference design?		
3	Is the spacing of the busbars and connections of each circuit of the ASSEMBLY to be assessed, greater than or equal to, those of the reference design?		
4	Are the busbar supports of each circuit of the ASSEMBLY to be assessed of the same type, shape and material and have, the same or smaller spacing, along the length of the busbar as the reference design?		
5	Are the material and the material properties of the conductors of each circuit of the ASSEMBLY to be assessed the same as those of the reference design?		
6	Are the short-circuit protective devices of each circuit of the ASSEMBLY to be assessed equivalent, that is of the same make and series ^{a)} with the same or better limitation characteristics (I^2t , I_{pk}) based on the device manufacturer's data, and with the same arrangement as the reference design?		
7	Is the length of unprotected live conductors, in accordance with 8.6.4, of each non-protected circuit of the ASSEMBLY to be assessed less than or equal to those of the reference design?		
8	If the ASSEMBLY to be assessed includes an enclosure, did the reference design include an enclosure when verified by test?		
9	Is the enclosure of the ASSEMBLY to be assessed of the same design, type and have at least the same dimensions to that of the reference design?		
10	Are the compartments of each circuit of the ASSEMBLY to be assessed of the same mechanical design and at least the same dimensions as those of the reference design?		
'YES' to all requirements – no further verification required.			
'NO' to any one requirement – further verification is required, see 10.11.4 and 10.11.5.			

Futura IEC 62271-307 (Media / Alta Tensão)

HIGH-VOLTAGE SWITCHGEAR AND CONTROLGEAR :

Part 307 Guidance for the extension of validity of type tests

- This guide refers to ...enclosed switchgear and controlgear assemblies for AC - > 1 kV and ≤ 52 kV as specified in [62271-200](#) and [62271-201](#)
- Can be used for the extension of the validity of type tests performed on one sample with a defined set of ratings to another switchgear assembly of the same family with different set of ratings or different arrangements.
- It supports the selection of representative test samples composed of functional units of a family of switchgear aimed at the optimization of type tests in order to conformity assessment.
- Use sound technical and physical principles, industry experience and calculations to establish rules for various design and rating aspects.

10.1 - IEC 61439-1 (VERIFICAÇÃO DO PROJETO)

Se os testes foram feitos pela IEC 60439, antes da publicação da norma de produto da IEC 61439 e os resultados atenderam aos requisitos da IEC 61439 os testes não precisam ser repetidos.

Conjunto verificado pelo fabricante original e fabricado ou montado por outro fabricante não requer que as verificações sejam repetidas (se requisitos e instruções do fabricante original foram seguidos).

Verificação de rotina: em todos os conjuntos

10.1 - IEC 61439-1 (VERIFICAÇÃO DO PROJETO)

CONSTRUÇÃO: (alguns requisitos)

- Verificação da resistência dos materiais e peças ;
- Grau de proteção do invólucro ;
- Verificação da distância de escoamento e seccionamento
- Proteção contra choques elétricos
- Circuitos elétricos internos e conexões ;
- Terminais para condutores externos.

DESEMPENHO:

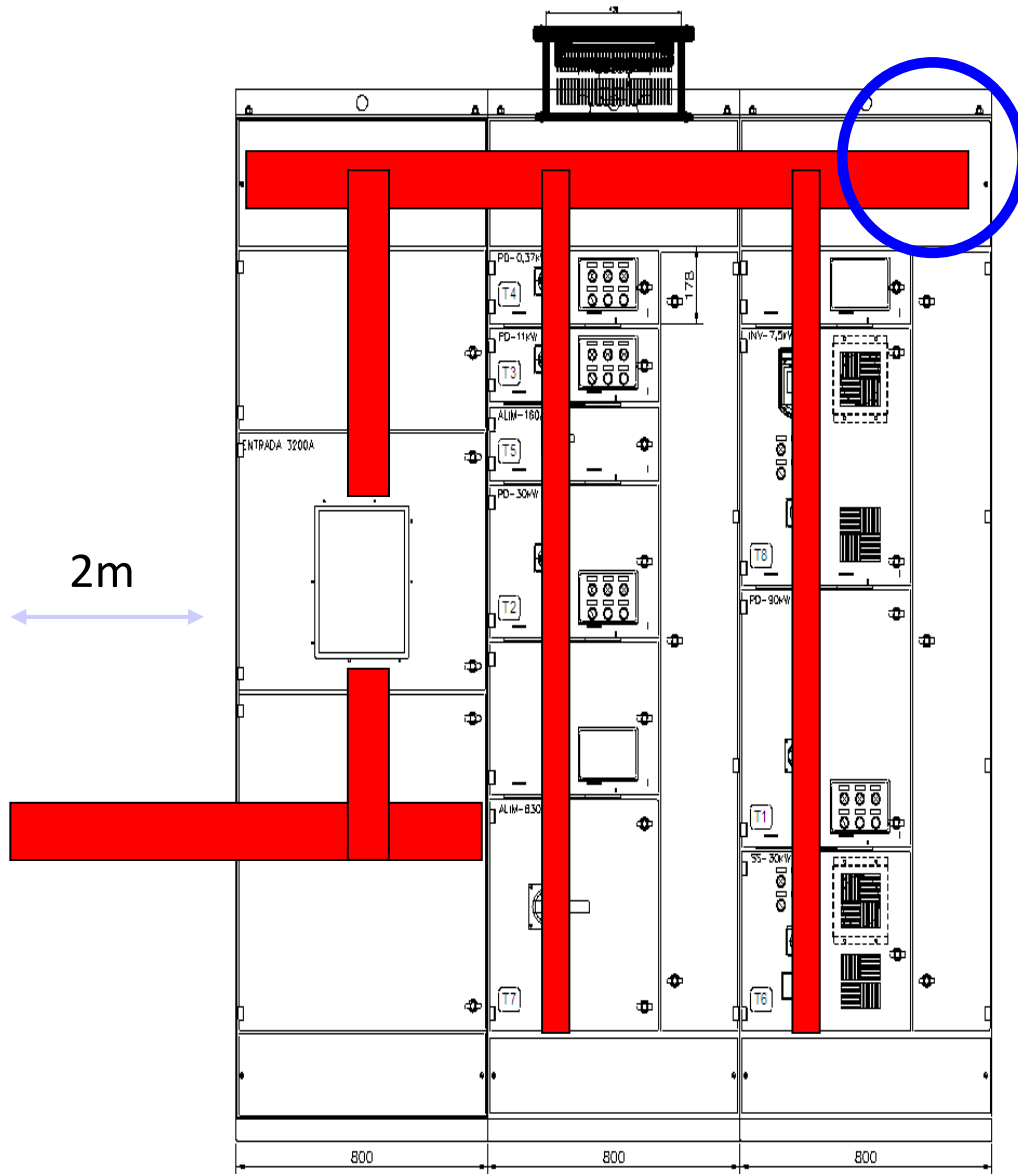
- Propriedades dielétricas;
- **Verificação dos limites de elevação de temperatura ;**
- **Verificação da corrente suportável de curto-circuito ;**
- Compatibilidade eletromagnética;
- Operação mecânica .



Quem pode emitir
para ser bem aceito ?

Dados usados, cálculos e comparações realizadas para verificação devem ser registrados no
RELATÓRIO DE VERIFICAÇÃO.

ENSAIO DE ELEVAÇÃO DE TEMPERATURA



Ponto de fechamento do curto-circuito

Potências dissipadas são simuladas por resistores



IEC 62208 - Empty enclosures for low-voltage switchgear and controlgear assemblies - General requirement

6.3.1 General

The manufacturer's documentation shall include all relevant constructional, mechanical characteristics, the enclosure classification (see Clause 4) and any instruction necessary for the correct handling, assembling, mounting and service conditions of the enclosure as well as reference to this standard:

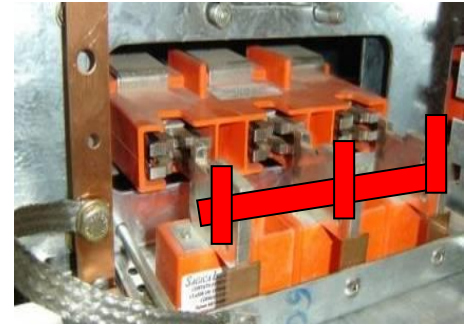
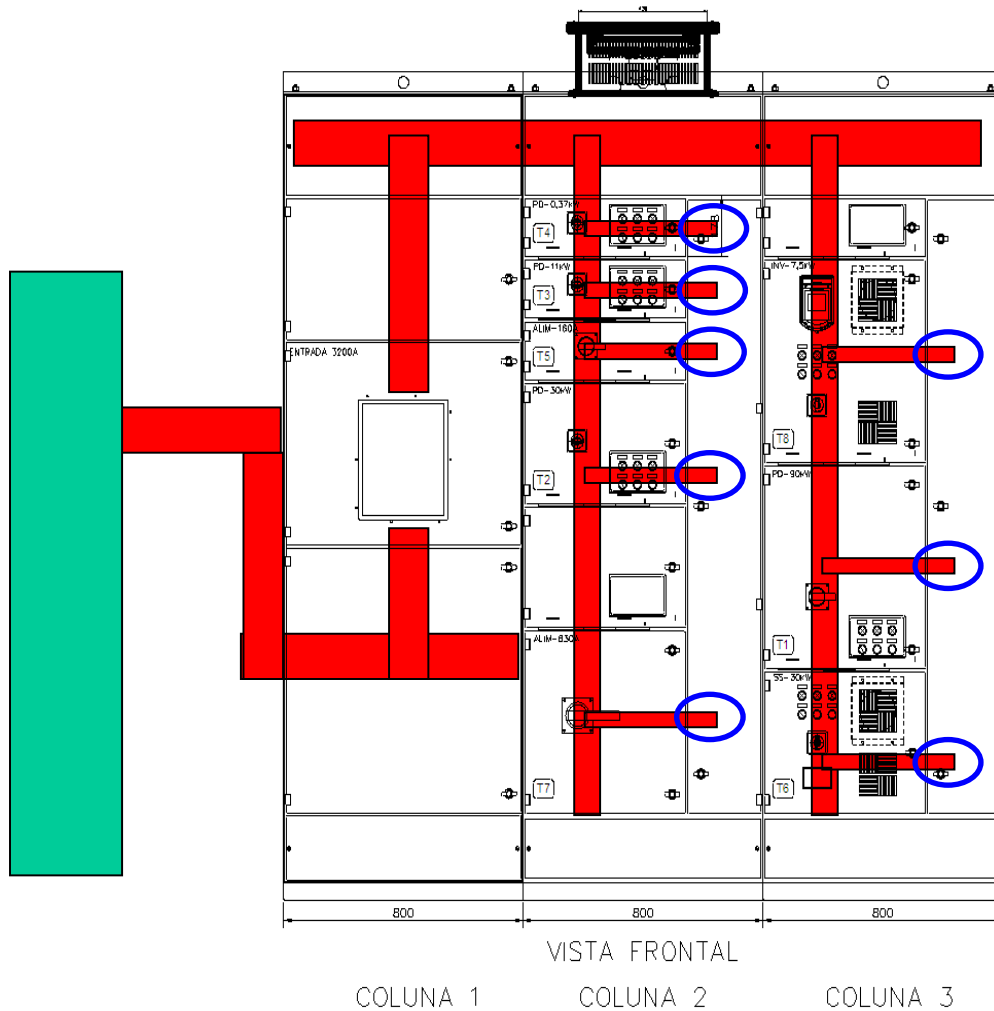
- dimensions (see 6.3.2);
- mounting arrangements (see 6.3.3);
- permissible loads (see 6.3.4);
- lifting devices, if necessary (see 6.3.5);
- provisions for protection against electric shock (see 6.3.6);
- applicable service conditions (see Clause 7);
- location and size of protected space;
- data of thermal power dissipation capability;
- rated insulation voltage of enclosures constructed of an insulating material;
- degree of protection (IK and IP codes, see 8.7 and 8.8).

The data for the thermal power dissipation capability are a function of the admissible temperature inside the enclosure. They shall be provided for the different installation methods (e.g. flush mounting, surface mounting) of the enclosure and of the design of the enclosure, i.e. with or without ventilation openings and number of horizontal partitions. They shall include at least temperature rise inside the enclosure, at the top, and external surfaces temperature rise, for a given power loss inside the enclosure. This will provide the user with the correct data for the selection of the enclosure according to electrical equipment to be installed. For the purpose of the calculation, it is assumed that the heat generated by the selected equipment is distributed uniformly inside the protected space.

9.14 Thermal power dissipation capability

The thermal power dissipation data provided by the manufacturer (see 6.3.1) shall be determined by test in accordance with 10.10.4.2.2 of IEC 61439-1:2011, or by a calculation method, e.g. according to IEC/TR 60890.]

ENSAIO DE CORRENTE SUPORTÁVEL DE CURTO-CIRCUITO



Ponto de curto circuit 65kA – 380V – 60Hz



ARCO INTERNO EM BAIXA TENSÃO

IEC TR 61641

- Mesmo conceito dos ensaios de média tensão
- A ser informado pelo fabricante:
 - corrente permissível e duração do arco (0,1....0,5 s)
 - ou
 - corrente condicional de curto circuito sob arco
- Tensão de ensaio 105% Vn
- Indicadores de queima a 300 mm
- Critérios de aprovação
- Segundo a IEC quem decide o numero de aplicações a realizar no ensaio é o interessado e não o laboratório (p.ex. de 1 a 5)

CLASSIFICAÇÕES E VERIFICAÇÕES

(a) Proteção às pessoas

- Não abrir portas
- Não pode arremessar partes e peças
- Não fazer furos nas partes externas
- Não queimar indicadores verticais
- Circuito protetivo de partes acessíveis efetivo

(b) Proteção a pessoas e ao próprio equipamento

- Arco confinado à área de ignição e não propagação a outras .

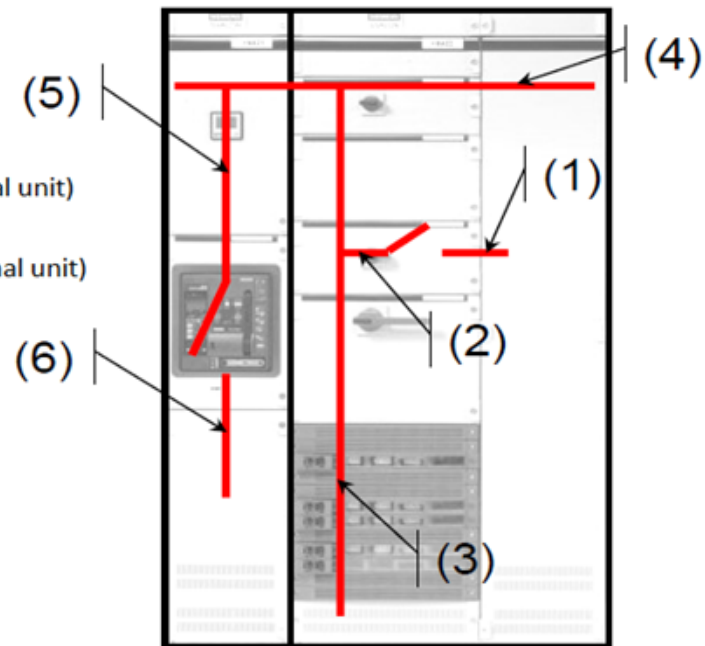
(c) Capaz de, após um arco interno, operar de forma limitada.

- Passa em teste a 1,5 V x 1 min

Test implementation – ignition points

The following ignition points have to be considered in the test:

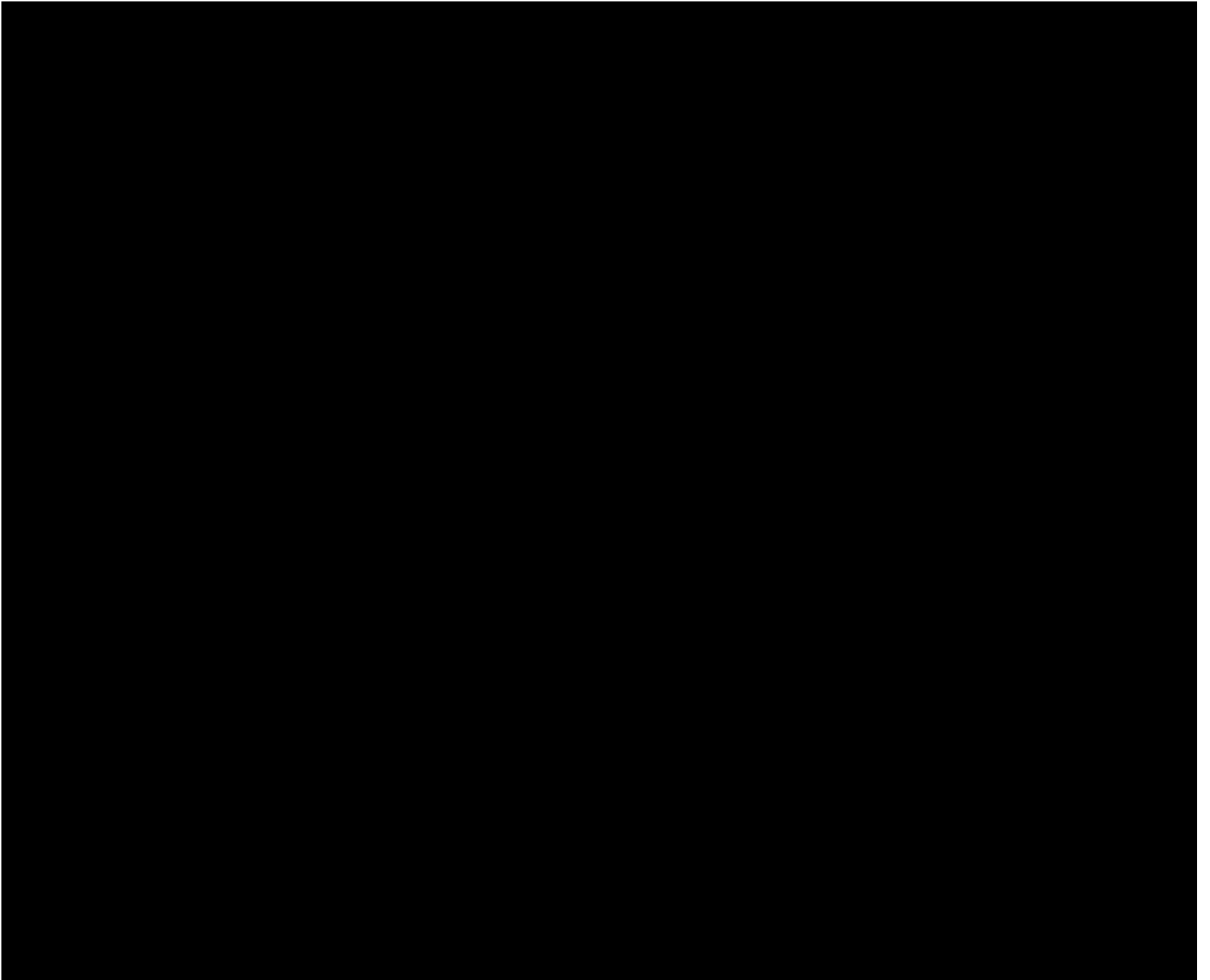
- (1) Load side of a feeder (outgoing functional unit)
- (2) supply side of a feeder (outgoing functional unit)
- (3) Along distribution busbars
- (4) Along main busbars
- (5) Load side of an 'incoming functional unit'
- (6) supply side of an 'incoming functional unit'



No test is required if these ignition points fulfill the criteria of an arcing-free zone. Insulation material must not be destroyed, removed or punctured during attachment of the ignition wire.

OBSERVAÇÕES SOBRE PONTOS DE APLICAÇÃO:

- É opcional deixar ou não os disjuntores operantes habilitados. A situação mais utilizada é:
- ----- Disjuntor de entrada não habilitado – entre 5 e 4 (para que realmente haja arco. Há clientes que exigem mesmo não sendo o que aconteceria de fato)
- ----- Disjuntor na gaveta – entre 1 e 2 - habilitado possivelmente abrirá e não haverá arco. Para utilizar este recurso é preciso fazer uma calibração com 10 ciclos e correspondente esforço eletrodinâmico naquele ponto também e não apenas na parte externa do painel.
- Costumam ser mais severas as aplicações 2 e 5 dependendo dos volumes

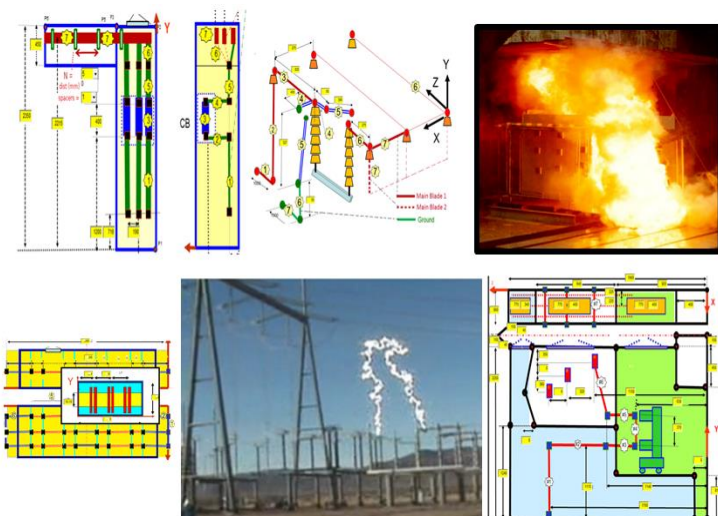


FIM DO MODULO 6

PAINÉIS, BARRAMENTOS E SECCIONADORES

E

EQUIPAMENTOS DE SUBESTAÇÕES DE TRANSMISSÃO e DISTRIBUIÇÃO



MÓDULO 7:

SIMULAÇÃO DE ENSAIOS DE
ALTA POTENCIA
E

USO DO SOFTWARE

SwitchgearDesign_307

Autor do software SwitchgearDesign_307

Sérgio Feitoza Costa

Cognitor - Consultoria , Pesquisa Tecnológica e Treinamento Ltda

Telefone: (55) (21) 2465 3689 -- 3393 4600 – 8887 4600

E-mail: sergiofeitoza@cognitor.com.br

Site www.cognitor.com.br

- Projetos de laboratórios de ensaios de alta potencia e alta tensão, engenheiro de ensaios e gerente dos laboratórios de ensaios do CEPEL.
- Chairman IEC -International Electro technical Commission –TC 32 - Fuses (1990-1994)
- Membro WG A3.24 do CIGRE International: – Simulation Tools .
- Membro do WG IEC SC 17 C / WG31: Guidance for the extension of validity of type tests of ac metal-enclosed switchgear and controlgear
- Serviços de simulações e treinamento com software para projetos de equipamentos de alta, média e baixa tensões.

Software *SwitchgearDesign_307*

O software foi desenvolvido por Sergio Feitoza Costa para ajudar no desenvolvimento de equipamentos para subestações de media e baixa tensões, principalmente Painéis, Cubículos, Barramentos, Secionadores, CCMs e assemelhados inclusive os antes denominados TTA / PTTA.

Tem foco nos equipamentos das normas IEC 62271-200, serie de normas IEC 61439 e correspondentes normas nacionais como ANSI, ABNT etc...

O SOFTWARE PERMITE A SIMULAÇÃO DOS SEGUINTES ENSAIOS E MEDIÇÕES:

- Ensaio de correntes suportáveis de curta duração e de crista (calculo de esforços eletrodinâmicos e tensões mecânicas).
- Ensaio de elevação de temperatura.
- Ensaio de arco interno (calculo de sobrepressões, burnthrough e suportabilidade)
- Mapeamento de campos elétricos e magnéticos (em breve)

Software *SwitchgearDesign_307*

É uma ferramenta rara (tente achar um na Internet) e não foi desenvolvida com fins comerciais. O objetivo é permitir que empresas, com dificuldade de acesso a laboratórios de ensaios, realizem ensaios virtuais para desenvolver seus produtos antes de ir aos laboratórios para realizar os onerosos ensaios e obter os relatórios de ensaios de tipo necessários à comercialização..

Projetistas que passam pelo treinamento aprendem, além de usar o software, a melhor entender os conceitos de projeto e os requisitos das normas técnicas. A ferramenta reduz muito o tempo e custo de desenvolvimento de produtos.

O software foi feito para ser o mais simples possível, com base na experiência de Sergio Feitoza de mais de 25 anos na realização de ensaios e projetos de equipamentos e laboratórios de altas potencias e tensões além da coordenação e participação permanente em grupos na IEC e na ABNT (ver CV ao final).

Através das simulações destes ensaios pode-se desenvolver equipamento usando menos cobre e alumínio, menos isoladores e outros itens.

Software *SwitchgearDesign_307*

VERSÕES

O software esta disponível nas três versões mostradas na Tabela 1. O ideal é que o usuário utilize a “Versão Distribuída no Curso” que é recebida pelos participantes do treinamento.

A “Versão Envio pela Internet” foi desenvolvida como uma opção para quem quer usar o software , por sua conta e risco, sem antes participar do treinamento

É esperado, mas não garantido, que, seja possível a um projetista com alguma experiência utilizar a maior parte de seus recursos desta versão sem o treinamento.

Há ainda a “Versão Demo Gratuita” para permitir que o interessado avalie se seria capaz de utilizar, sozinho e antes de um treinamento, a “Versão Envio pela internet”.

VERSÕES

Recursos da versão do software	Versão “Demo” gratuita	Versão “ Envio pela Internet”	Versão “Distribuída no Curso”
Simulação de ensaio de elevação de temperatura	Sim	Sim	Sim
Simulação de esforços eletrodinâmicos (correntes de curta duração e crista)	Sim	Sim	Sim
Simulação de ensaio de arco interno	Sim	Sim	Sim
Visualização da geometria em 3D	Sim	Não	Sim
Mapeamento de campo magnético	Não	Não	Sim
Modulo MVSW1 (painel de media tensão)	Sim	Sim	Sim
Módulos LVSW1 e LVSW2 (painéis de baixa tensão)	Sim	Sim	Sim
Modulo DUCT_1 (barramentos blindados)	Sim	Sim	Sim
Modulo SWITCH (seccionadores)	Sim	Sim	Sim
Modulo FUSE_1 (fusíveis tipo expulsão)	Não	Não	Não
Banco de dados e possibilidades de modificar, salvar e criar novos casos.	Apenas 1 caso para cada módulo / tipo e que não pode ser modificado.	Até 10 casos para cada tipo ou modulo. Pode-se alterar e salvar as modificações em cada um dos 10 casos, mas não criar casos adicionais, p.ex. para ficar com 15 casos ao invés dos mencionados 10	Vem com alguns casos para cada modulo e o usuário pode criar tantos mais quanto deseje. Em geral, no uso diário de um projetista, não é necessário criar muito mais que uns 10 casos por modulo
TREINAMENTO DE 2 DIAS EM CURSO ABERTO: ver programa em www.cognitor.com.br	Não	Não	Sim
Software sob medida incluindo outros casos e arranjos físicos não incluídos nestas versões.	Consulte	Consulte	Consulte

PROGRAMA DO TREINAMENTO

O programa pode ser lido em http://www.cognitor.com.br/Cursos_Paineis.htm

MATERIAL DIDÁTICO DO CURSO

O material didático da versão em Inglês do curso pode ser comprado no site BookeSS <http://www.bookess.com/read/15214-reference-text-for-the-courses-switchgear-busways-isolators-substations-equipment/> .

As versões em Português ou Espanhol são distribuídas apenas aos participantes do curso

O material didático deste livro consta dos seguintes capítulos ou módulos

- 1 Os Estudos Que Fazem A Base Das Especificações
- 2 Sobretensões E Coordenação De Isolamento
- 3 Curtos Circuitos, Ampacidades, Sobrecargas E Contatos Elétricos.
Elevação De Temperatura
Forças E Tensões Eletrodinâmicas No Curto Circuito.
Tensões Transitórias De Restabelecimento E Processos De Interrupção
- 4 Arcos De Potencia E Segurança De Pessoas E Instalações
- 5 Especificações Técnicas De Compra De Equipamentos De Subestações (Concessionarias)
- 6 Normas de Painéis De Média Tensão (lec_62271-200) / Baixa Tensão (lec_61439)
Simulação De Ensaios De Alta Potencia E
- 7 Uso Do Software Switchgeardesign_307

INSTRUÇÕES PARA O USO DO SOFTWARE:
ver Modulo 7 do livro.

CONDIÇÕES DE USO E VALIDAÇÃO DO SOFTWARE

Devido a complexidade dos cálculos e numero de variáveis envolvidas a situação ideal é que o usuário tenha participado do curso especifico para melhor poder interpretar os resultados e como estes resultados se relacionam com as especificações das normas técnicas. A Cognitor aplica treinamentos especificos como curso aberto ou "In Company" para uso do software. Podem ser aplicados em Português ou Inglês ou Espanhol e os programas estão no site www.cognitor.com.br

RESPONSABILIDADE PELOS RESULTADOS: o programa pode ser usado por conta e risco do usuário e nem a COGNITOR nem o autor do programa se responsabilizam por quaisquer resultados ou usos que possam ser dados aos resultados obtidos.

No que diz respeito à VALIDAÇÃO DOS RESULTADOS alguns dos casos que vem junto com o software dizem respeito a ensaios efetivamente realizados em laboratório. Estes casos “validados” são mostrados em diversos artigos publicados pelo autor do software e que podem ser baixados no site <http://www.cognitor.com.br>.

As dificuldades de obtenção de mais informações para validação de resultados são devidas principalmente a certas deficiências das atuais normas técnicas nacionais e internacionais no que diz respeito a informações que deveriam constar em relatórios de ensaios emitidos por laboratórios reconhecidos porem não o são.

O artigo VALIDAÇÃO DE RELATÓRIOS DE ENSAIOS EMITIDOS POR LABORATÓRIOS RECONHECIDOS publicado na Revista SETOR ELETRICO - Edição 82 - Novembro 2012 e disponível aqui em http://www.cognitor.com.br/ValidatingReports_Por.pdf mostra detalhes destes aspectos

SIMULATIONS OF HIGH POWER TESTS AND USE OF SOFTWARE

- State of the art of the use of simulations to replace some laboratory tests
- Screens and how to use the software *SwitchgearDesign_307*
- Simulation of short-time withstand current and peak tests (calculation of electrodynamical forces, mechanical stresses and how to optimize a design)
- Simulation of temperature rise / heating tests (calculations and how to optimize the design)
- Simulation of internal arc tests (overpressures, burn-through and supportability)
- Case studies with the software.

O ESTADO DA ARTE INTERNACIONAL DO USO DE SIMULAÇÕES PARA SUBSTITUIR ENSAIOS DE LABORATORIO.

- Técnicas de simulação e cálculo podem ser usadas para prever resultados dos testes a baixo custo
- Exemplos de aplicações são os ensaios de arco interno (sobrepensões), de correntes de curta duração e de pico (efeitos eletrodinâmicos e térmicos) e testes de elevação de temperatura
- Isso não era fácil de fazer há 25 anos atrás, mas agora é fácil e muitos fabricantes o fazem
- Dentro de certos limites, a simulação de ensaios pode ser utilizada para extrapolar ou mesmo para substituir os resultados de um teste laboratorial feito de outros equipamentos parecidos mas não iguais.

O ESTADO DA ARTE INTERNACIONAL DO USO DE SIMULAÇÕES PARA SUBSTITUIR ENSAIOS DE LABORATORIO.

- Há normas técnicas que utilizam cálculos e simulações há décadas
 - IEC 60076 - Transformadores de Potência (ensaios de curto-circuito)
 - IEC - 61439 e 60439 (cálculos / simulações e regras de projeto)
 - Regras de projeto são ainda mais impactantes que simulações: painéis de baixa tensão similares a outros já testados não precisam passar por ensaios e nem cálculos, se atenderem a certas condições (tamanho, volume , seção das barras, ...)
 - Trabalho do WG 31 / 17C: extensão da validade de ensaios para painéis de média tensão (regras de projeto e cálculos).
- Evitar realizar ensaios quando é possível fazê-lo economiza recursos da sociedade e leva a produtos de menor custo.

IEC 61439 (baixa tensão) e nova IEC 62271-307 (media tensão)

Item	RÉGRAS DE PROJETO IEC 61439 (T = temperaturas F = Forças eletrodinâmicas P = sobrepressão)	T	F	P
1	Corrente suportável de curta duração , menor ou igual a do projeto de referência testado ?		X	X
2	Seção transversal do barramento maiores ou iguais aos do projeto de referência?	X		
3	Espaçamento dos barramentos, maiores ou iguais aos do projeto de referência?	X	X	
4	Suportes de barramentos são do mesmo tipo, forma e material e espaçamentos do barramento são iguais ou menores que o do projeto de referência?		X	
5	Materiais, propriedades dos materiais e montagem iguais aos do projeto de referência?	X	X	X
6	Dispositivos de proteção de curto circuito.....são equivalentes, aos da mesma marca e série.. ?			
7	Comprimento do condutor vivo desprotegido..... Inferior ou igual aos do projeto de referência?			
8	Se o conjunto tem compartimento, no ensaio do projeto de referência este foi incluído ?	X	X	X
9	Compartimento a ser verificado do mesmo modelo, tipo e pelo menos mesmas dimensões ?	X		X
10	Compartimentos de mesma concepção mecânica e dimensões < = às do projeto de referência?	X		X
“SIM” ; a todos os requisitos - sem necessidade de ensaiar. “NÃO” ; a qualquer dos requisitos - verificação adicional por cálculos e simulações é necessária				

O ESTADO DA ARTE INTERNACIONAL DO USO DE SIMULAÇÕES PARA SUBSTITUIR ENSAIOS DE LABORATORIO.

- The working group [CIGRE WG A3. 24 - Tools for Simulating Internal Arc and Current Withstand Testing](#) is working with this theme.
- Recognizing an increasing role of commercial modelling software in the power industry, SCA3 decided to evaluate existing simulation tools to determine to which extent they can be used as verification tools.
- WG A3.20 concluded that simulation is an excellent and instructive tool in particular in the development process.
- Good prediction of performance can often be possible in cases where performance is proven by tests on similar designs (interpolation).
- Extrapolation of test results and performance prediction of "new" equipment designs seems to be possible in some cases.
- ["Brochure Internal Arcs" group CIGRE WG A3-24 - 2013](#)

CIGRÈ WG A3. 24 : TOOLS FOR SIMULATING INTERNAL ARC AND CURRENT WITHSTAND TESTING

- Simulations to predict the results of internal arc tests on SF6 equipment if SF6 is replaced with air.
- Reason: environmental reasons, tests release SF6 to the environment
- Use of simulations to reduce the number of internal arc tests



CIGRÉ WG A3. 24 : Brochure TOOLS FOR SIMULATION OF PRESSURE RISE DUE TO INTERNAL ARC IN MV AND HV SWITCHGEAR

Name	First Name	Country	Company
del Rio	Luis	Spain	ORMAZABAL CORPORATE 1
Douchin	Jerome	France	Schneider Electric
Dullni	Edgar	Germany	ABB
Feitoza Costa	Sergio	Brazil	Cognitor
Fjeld	Elin	Norway	Telemark University
Glinkowski	Mietek	USA	ABB
Kim	Hong-Kyu	Korea	KERI
Kriegel	Martin	Switzerland	Axpo
Lopez-Roldan	Jose	Australia	Powerlink
Pater	Ryszard	Canada	Hydro-Québec
Pietsch	Gerhard	Germany	RWTH Aachen
Reiher	Thomas	Germany	Siemens
Robin-Jouan	Phillipe	France	Areva
Schoonenberg	Gerard	Netherlands	Eaton
Smeets	Rene	Netherlands	KEMA
Uchii	Toshiyuki (Tc	Japan	Toshiba
Uzelac	Nenad	USA	G&W
Van der Sluis	Lou	Netherlands	TU Delft
Vinson	Paul	France	Areva
Yoshida	Daisuke	Japan	Mitsubishi Electric Corportion

Paper presented in the CIGRE / Paris August 2008



21, rue d'Artois, F-75008 PARIS
<http://www.cigre.org>

A3-210

CIGRE 2008

SIMULATIONS AND CALCULATIONS AS VERIFICATION TOOLS FOR DESIGN AND PERFORMANCE OF HIGH-VOLTAGE EQUIPMENT

M. KRIEGLER, X. ZHU, H. DIGARD, S. FEITOZA, M. GLINKOWSKI, A. GRUND,
H.K. KIM, J. LOPEZ-ROLDAN, P. ROBIN-JOUAN, L. VAN DER SLUIS,
R.P.P. SMEETS, T. UCHII, D. YOSHIDA

Cigré WG A3-20

Paper presented in the CIGRE / Rio de Janeiro – Brazil 2007



CFD, IEC STANDARDS AND TESTING LABORATORIES: JOINING THE PIECES FOR HIGHER QUALITY HV EQUIPMENT.

Author name:

Affiliation:

Sergio Feitoza Costa

Cognitor – Consultancy, Research and Training Ltd.

C_I_G_R_E__P_o_s_t_CIGRE POST 2012e_Paris__2012

TOOLS FOR THE SIMULATION OF PRESSURE RISE DUE TO INTERNAL ARC IN MV AND HV SWITCHGEAR

N. Uzelac, Convenor (US) M. Glinkowski, Secretary, (US), L. del Rio (ES), J. Douchin (FR), E. Dullni (DE), S. Feitoza Costa (BR), E. Fjeld (FI), M. Glinkovski (US), K. Hong-Kyu (KR), M. Kriegel (CH), J. Lopez-Roldan (AU), R. Pater (CA), G. Pietsch (DE), T. Reiher (DE), G. Schoonenberg (NL), S. Singh (FR), R. Smeets (NL), T. Uchii (JP), L. Van der Sluis (NL), P. Vinson (FR), Y. Daisuke (JP)

Some articles here

http://www.cognitor.com.br/en_download.htm

http://www.cognitor.com.br/Pos_Ter_2012.pdf



CIGRE Technical Seminar

Modelling and Testing of Transmission and Distribution Switchgear



March 24, 2010 BRISBANE - AUSTRALIA

VALIDATION OF SIMULATIONS OF ELECTRODYNAMICAL FORCES, TEMPERATURE-RISE AND INTERNAL ARC TESTS IN SWITCHGEAR

(and main parts of a code to do them)

Author name:
Sergio Feitoza Costa

Affiliation:
COGNITOR – Consultancy, Research and Training Ltd.

Email: sergiofeitoza@cognitor.com.br Site : www.cognitor.com.br

**International
Electrotechnical
Commission**

FAQs | Sitemap | Contact us |  Feeds/Alerts

International Standards and Conformity Assessment
for all electrical, electronic and related technologies

You & the IEC | About the IEC | News & views | Standards development | Conformity assessment | Members & Experts |  Webstore | | Advanced Search | 

Standards development > How we work > Technical Committees & Subcommittees > TC 17 > SC 17C > **WG 31**

SC 17C High-voltage switchgear and controlgear assemblies

Scope | Structure | **Projects / Publications** | Documents | Votes | Meetings | Collaboration Tools

Working Groups > **TC 17/SC 17C/WG 31**

WG 31 Convenor & Members

Convenor	National Committee
Mr Edgar Dullni	DE
Member	National Committee
Mr Michael Adams	GB
Mr Marc Arens	BE
Mr Eldridge Byron	US
Mr Sergio Feitoza Costa	BR
Mr Didier Fulchiron	FR
Mr Samuel Griot	FR
Mr Martin Grote	DE
Mr José Manuel Inchausti	ES
Mr Neil Keeler	GB
Mr Matthias Kluge	DE
Mr M. Lusing	NL
Mr Rafael Muñoz LópezVillalta	ES
Mr Osvaldo Prestini	IT
Mr Alberto Sironi	IT
Mr David T Stone	US
Mr R. Salt Sulluoglu	TR

Title & Task

WG 31

IEC/TS 62271-307: Guidance for the extension of validity of type tests

To develop a guide which is applicable to factory-assembled metal-enclosed switchgear and controlgear for alternating current of rated voltages above 1 kV and ≤ 52 kV and equipment included in the same enclosure with any possible mutual influence.

USO DE SIMULAÇÕES EM NORMAS TECNICAS

- Dificuldade de validar métodos de simulação ocorre só porque certas medições (fáceis) , realizáveis nos ensaios de laboratório não são especificadas nas normas técnicas IEC / ABNT
- Há poucas informações confiáveis para comparação entre resultados de ensaios e resultados de simulações.
- Preparada proposta completa de Guia para sistematizar o uso de simulações e cálculos, no âmbito das normas IEC e ABNT.
- Circulada pelo meio técnico nacional e internacional em 2010
 - http://www.cognitor.com.br/GUIDE_Simulations_v0_October2010.pdf (em Inglês)
 - <http://www.cognitor.com.br/guiaSimulacoes.pdf> (em Português)

PROPOSTA COMPLETA ENVIADA AO COBEI / ABNT EM ABRIL DE 2011.

Ler em

http://www.cognitor.com.br/Proposta_Guia_ABNT.htm

Mais de 20 empresas interessadas em participar da reuniões de comissão de estudos

RE-ENVIADA EM OUTUBRO AO CB-3 / ABNT

GUIA

ORIENTAÇÕES PARA O USO DE SIMULAÇÕES PARA EXTRAPOLAR RESULTADOS OU MESMO SUBSTITUIR ALGUNS ENSAIOS DE ALTA POTÊNCIA ESPECIFICADOS NAS NORMAS ABNT.

CONTEÚDO

Prefácio

1 Escopo

2 Referências normativas

3 Definições

4 Procedimentos de trabalho

5 Exemplos de resultados de ensaios e dados de entrada que podem ser usados como calibração ou exemplo de referência para validar um modelo de simulação.

O QUE É DESCRITO NO “GUIA PARA USO DE SIMULAÇÕES”

O objetivo do GUIA é fornecer orientações para a sistematização do uso de simulações e cálculos, nas normas ABNT, utilizáveis para substituir alguns ensaios de laboratório em situações em que o senso comum mostra ser razoável fazê-lo.

Indica os principais parâmetros que devem ser registrados nos ensaios de laboratório para permitir uma futura utilização de simulações na extrapolação dos resultados dos ensaios.

Indica valores típicos de tolerâncias aceitáveis para os valores calculados quando comparados com resultados do ensaio em laboratório.

O QUE É DESCRITO NO “GUIA PARA USO DE SIMULAÇÕES”

TOLERÂNCIAS DE CÁLCULO ACEITÁVEIS

Tipo de ensaio	Parâmetro a comparar	Valores típicos de tolerâncias aceitáveis
Ensaio de elevação de temperatura	Elevações de temperaturas nas partes sólidas e fluidos	1% a 5%
Ensaio de arco interno	Sobrepresão no invólucro acima da pressão atmosférica (crista e duração)	5% a 10%
Ensaio de correntes suportáveis de curta duração e de crista	Forças eletrodinâmicas e tensões mecânicas	5% a 15%

O QUE É DESCRITO NO “GUIA PARA USO DE SIMULAÇÕES”

Informações a registrar nos relatórios de ensaios de elevação de temperatura.

- Corrente elétrica,
- Dissipação total de potência no interior do compartimento
- Materiais utilizados nos condutores e partes isolantes
- Resistências de contato (total por fase e a de disjuntores,)
- Tipos de revestimentos de contatos e condutores inclusive pintura.
- Fluido que envolve os equipamentos e sua temperatura ,
- Velocidade de circulação do fluido
- Posição e geometria espacial dos condutores
- Volume do fluido no interior dos compartimentos
- Áreas de entrada e saída para ventilação e dispositivos que as fechem no momento de um arco interno
- Número de partições horizontais no interior do compartimento.
- Posição relativa dos equipamentos (IEC 60890)

O QUE É DESCRITO NO “GUIA PARA USO DE SIMULAÇÕES”

Informações a registrar nos relatórios de ensaios de arco interno.

- Corrente elétrica,
 - Materiais utilizados nos condutores e partes isolantes
 - Fluido que envolve os equipamentos dentro de um compartimento.
 - Posição e geometria espacial dos condutores
 - Volume do fluido no interior dos compartimentos
 - Área de dispositivos de alívio de sobrepressão.
 - Áreas de entrada e saída para ventilação e existência de dispositivos que as fechem no momento de um arco interno
 - Posição relativa dos equipamentos em relação às paredes e teto.
- Medição da sobrepressão deve ser feita e registrada

O QUE É DESCRITO NO “GUIA PARA USO DE SIMULAÇÕES”

Informações a registrar nos relatórios de ensaios de correntes suportáveis de curta duração e de crista.

- Corrente elétrica
- Materiais utilizados nos condutores e partes isolantes
- Resistência mecânica a esforços de tração, compressão e flexão dos isoladores suporte e similares
- Posição e geometria espacial dos condutores
- Resistência total por fase e a resistências principais como contatos de disjuntores e seccionadores
- Se houver deformações permanentes de barramentos, ... registrar por fotos e registrar dimensões aproximadas.

EXPLICAÇÃO SOBRE O SOFTWARE

SwitchgearDesign_307

- Tela para entrada de dados e geometria
- Tela para apresentação de resultados

APLICAÇÕES ESPECIFICAS PARA:

- Barramentos
- Paineis de baixa e media tensões
- Secionadores
- Fusíveis de alta tensão (não incluídos no curso)
- Transformadores de potencia (não incluídos no curso)

INSTALAÇÃO, BUGS E OUTROS

- Depois de baixar ou copiar o arquivo de instalação (tamanho da ordem de 4MB) salve-o em algum diretório de seu computador.
- Para instalar o SwitchgearDesign_307 descompacte o arquivo e depois clique com o botão direito do mouse sobre o arquivo descompactado e depois clique com o esquerdo sobre “Executar como Administrador” ou “Run as Administrator”.
- Dar OK em tudo e quando for solicitada a senha, ao longo da instalação digite **parakalo13**
- Depois da instalação será criado um ícone SwitchgearDesign no “desktop” e também na lista de programas do botão iniciar.

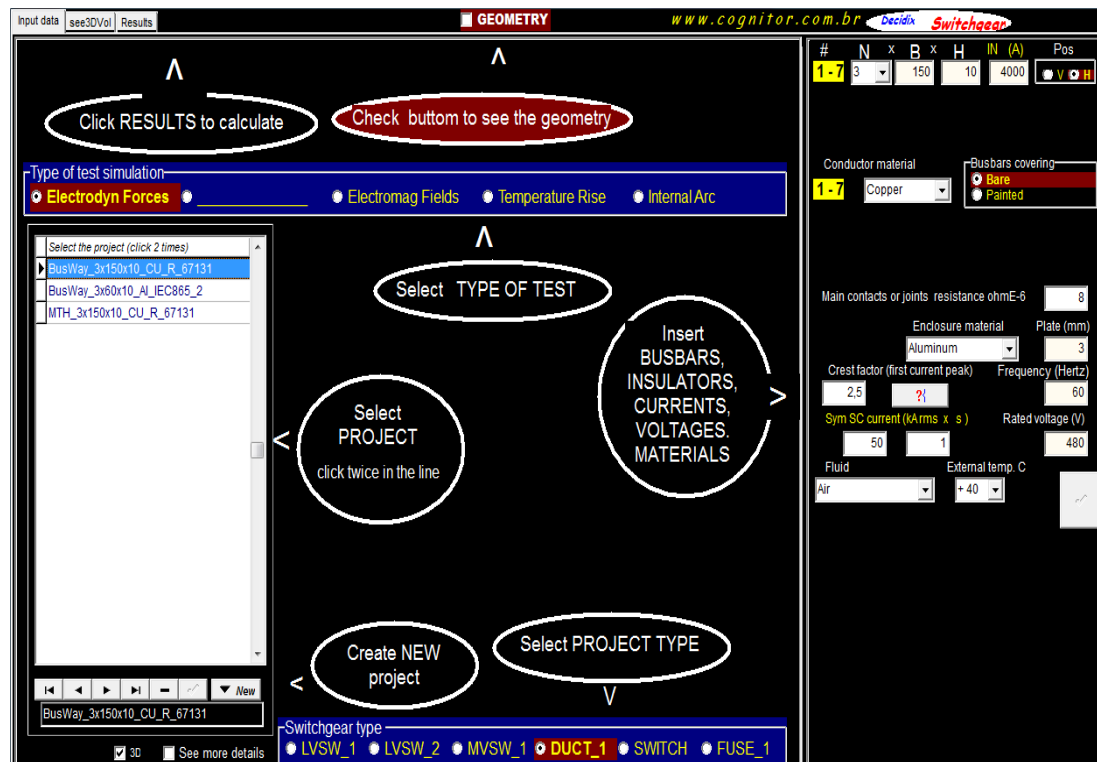
EXPLICAÇÃO SOBRE O SOFTWARE SwitchgearDesign_307

INSTALAÇÃO, BUGS E OUTROS

- Em seu computador será criado um único diretório c://SergioFeitoza onde estarão os arquivos necessários.
- Caso não tenha sido criado automaticamente , crie um atalho no desktop para o arquivo C:\SergioFeitoza\SwitchgearDesign.exe
- O arquivo SwitchgearDesign.exe, as tabelas do banco de dados e todos os demais arquivos serão instalados neste diretório e seus subdiretórios. Nada mais será instalado fora deste diretório
- Se tiver problema com a instalação envie um email para sergiofeitoza@cognitor.com.br anexando a mensagem de erro obtida.

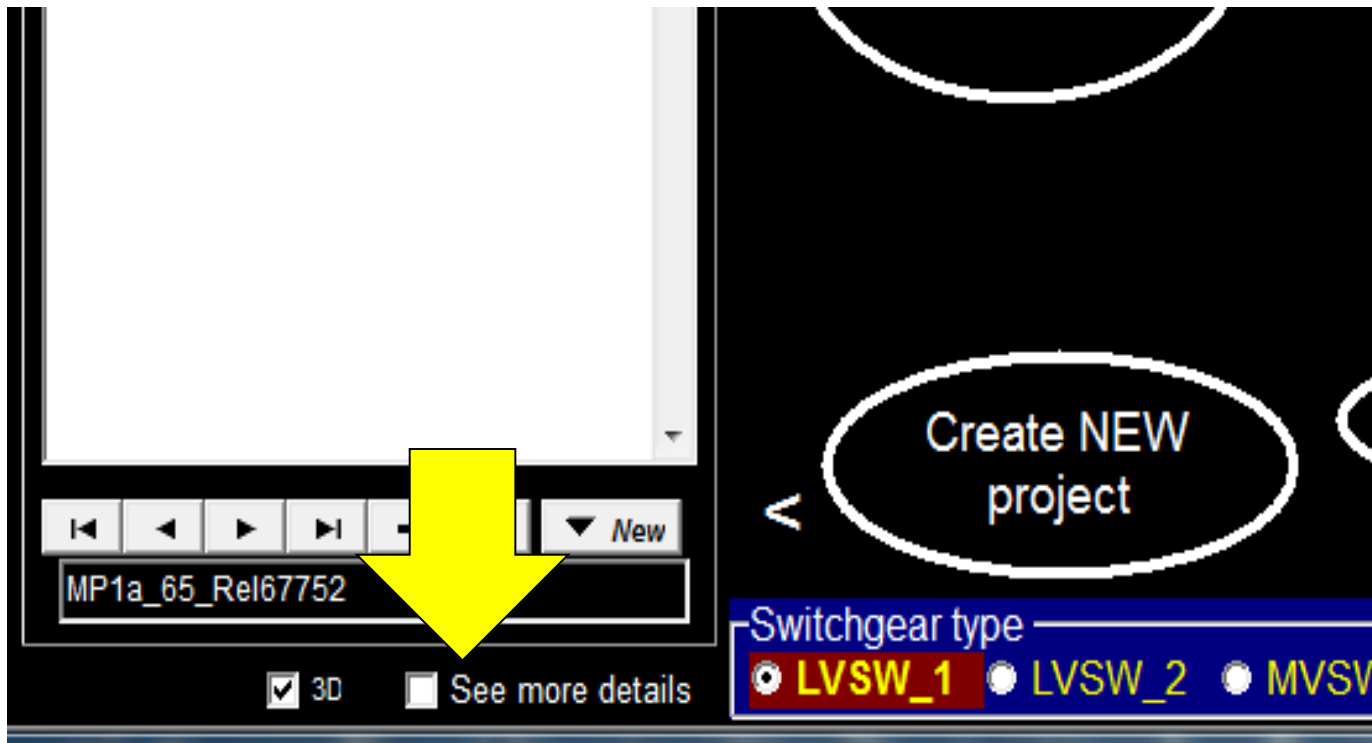
COMEÇANDO A USAR O SOFTWARE

- Depois que o software estiver instalado, clique no ícone e a pagina abaixo aparecerá
- Em primeiro lugar, antes de começar a clicar em tudo, vamos compreender as possibilidades de seleções na página aberta.
- Se você fizer isso e seguir o passo a passo que vai ser fácil



Começando a usar o SwitchgearDesign_307

- No momento inicial, não marque a caixa "Veja mais detalhes" no canto inferior esquerdo.
- Ela só serve para acrescentar alguns detalhamentos que serão desnecessários no momento inicial



Projeto
selecionado

Tipo de teste
simulado

Clique para ver a
geometria referente
ao TIPO DE
PROJETO

Dados do projeto
selecionado
(linha azul da
esquerda)

Clique
ENTRADA DE
DADOS ou
RESULTADOS

Clique botão
NEW para
criar um novo
caso igual ao
que está na
tela (menos o
título)

Click RESULTS to calculate

Check button to see the geometry

Select TYPE OF TEST

Select PROJECT
click twice in the line

Create NEW project

Select PROJECT TYPE

Insert BUSBARS, INSULATORS, CURRENTS, VOLTAGES, MATERIALS

Conductor material: Copper

Busbars covering: Bare

Main contacts or joints resistance ohmE-6: 8

Enclosure material: Aluminum

Plate (mm): 3

Crest factor (first current peak): 2.5

Frequency (Hertz): 60

Sym SC current (kArms x s): 50

Rated voltage (V): 480

Fluid: Air

External temp. C: +40

Switchgear type: LVSW_1, LVSW_2, MVSU_1, DUCT_1, SWITCH, FUSE_1

Tipo de projeto (LVSW 1 & 2 = painel de baixa tensão, MVSU1 – painel de media tensão DUCT_1 = barramento, SWITCH = seccionador)

Começando a usar o SwitchgearDesign_307

- A primeira possibilidade de seleção é a caixa SWITCHGEAR TYPE que representa o tipo de equipamento a simular e esta na parte de baixo da pagina.
- Selecione a opção LVSW1 e depois clique (check) a caixa GEOMETRY no topo da página



- Aparecera uma figura mostrando a coluna de entrada de um painel de baixa tensão com um DISJUNTOR. Você podera ver e mudar as dimensões e outros dados.
- Desmarque a caixa GEOMETRY e a figura desaparecerá aparecendo novamente a tela original.
- Faça o mesmo com as demais opções LVSW2, MVSW1, DUCT1, SWITCH e FUSE_1..

Começando a usar o SwitchgearDesign_307



- **LVSW1:** Painel de baixa tensão – coluna do disjuntor.
- **LVSW2:** Painel de baixa tensão – coluna de gavetas e barras verticais
- **MVSW1:** Painel de media tensão com compartimentos de barras, cabos e disjuntor.
- **DUCT_1:** Barramento blindado de baixas a altas tensões
- **SWITCH:** Secionador
- **FUSE_1:** Fusível tipo expulsão

Começando a usar o SwitchgearDesign_307



- Tornando-se mais acostumado com os dados de entrada você vai ver que você pode criar qualquer projeto desejado.
- Depois de algum tempo de uso que você vai ver há aspectos do projeto que têm impacto muito pequeno no resultado geral. Exemplos são, se os cantos das barras são arredondados ou não, e a cor da pintura do barramento.
- Por outro lado, há aspectos do projeto que influenciam muito nos resultados e as normas técnicas não os contemplam com a importância devida. Exemplos são a área de ventilação e a resistência por fase dos disjuntores, chaves e fusíveis
- Simulações permitem ao projetista ver rapidamente o que só seria possível com dezenas de ensaios caros.

Projeto
selecionado

Tipo de teste
simulado

Clique para ver a
geometria referente
ao TIPO DE
PROJETO

Dados do projeto
selecionado
(linha azul da
esquerda)

Clique
ENTRADA DE
DADOS ou
RESULTADOS

Clique botão
NEW para
criar um novo
caso igual ao
que está na
tela (menos o
título)

Click RESULTS to calculate

Check button to see the geometry

Type of test simulation

☒ Electrodyn Forces ☐ Electromag Fields ☐ Temperature Rise ☐ Internal Arc

Select the project (click 2 times)

- BusWay_3x150x10_CU_R_67131
- BusWay_3x60x10_AI_IEC865_2
- MTH_3x150x10_CU_R_67131

Select PROJECT
click twice in the line

Create NEW project

Select PROJECT TYPE

Insert BUSBARS, INSULATORS, CURRENTS, VOLTAGES, MATERIALS

GEOMETRY

www.cognitor.com.br

#	N	B	x	H	IN (A)	Pos
1-7	3	150	10	4000	V H	

Conductor material: Copper

Busbars covering: ☒ Bare ☐ Painted

Main contacts or joints resistance ohmE-6: 8

Enclosure material: Aluminum

Plate (mm): 3

Crest factor (first current peak): 2.5

Frequency (Hertz): 60

Sym SC current (kArms x s): 50

Rated voltage (V): 480

Fluid: Air

External temp. C: +40

Switchgear type

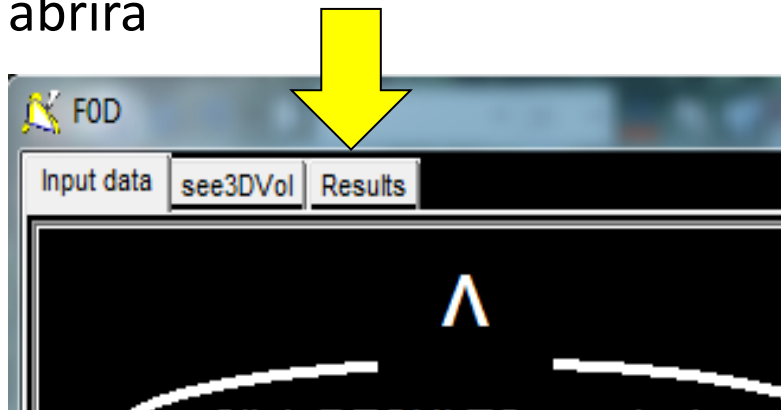
☒ LVSW_1 ☐ LVSW_2 ☐ MVSW_1 ☒ DUCT_1 ☐ SWITCH ☐ FUSE_1

Tipo de projeto (LVSW 1 & 2 = painel de baixa tensão, MVSW1 – painel de media tensão DUCT_1 = barramento, SWITCH = seccionador)

- A segunda possibilidade de seleção é o tipo de simulação de teste (**TYPE OF TEST SIMULATION**)



- Quando você seleciona a opção augele tipo de calculo será feito quando clicar na caixinha **RESULTADOS** . Neste momento uma nova tela se abrirá



- A opção **Eletromagnetic Fields** (campo elétrico e magnético) será concluída em futuro próximo

Projeto
selecionado

Tipo de teste
simulado

Clique para ver a
geometria referente
ao TIPO DE
PROJETO

Dados do projeto
selecionado
(linha azul da
esquerda)

Clique
ENTRADA DE
DADOS ou
RESULTADOS

Clique botão
NEW para
criar um novo
caso igual ao
que está na
tela (menos o
titulo)

Click RESULTS to calculate

Check button to see the geometry

Select TYPE OF TEST

Insert BUSBARS, INSULATORS, CURRENTS, VOLTAGES, MATERIALS

Select PROJECT click twice in the line

Create NEW project

Select PROJECT TYPE

Click ENTRADA DE DADOS ou RESULTADOS

Clique para ver a geometria referente ao TIPO DE PROJETO

Dados do projeto selecionado (linha azul da esquerda)

Projeto selecionado

Tipo de teste simulado

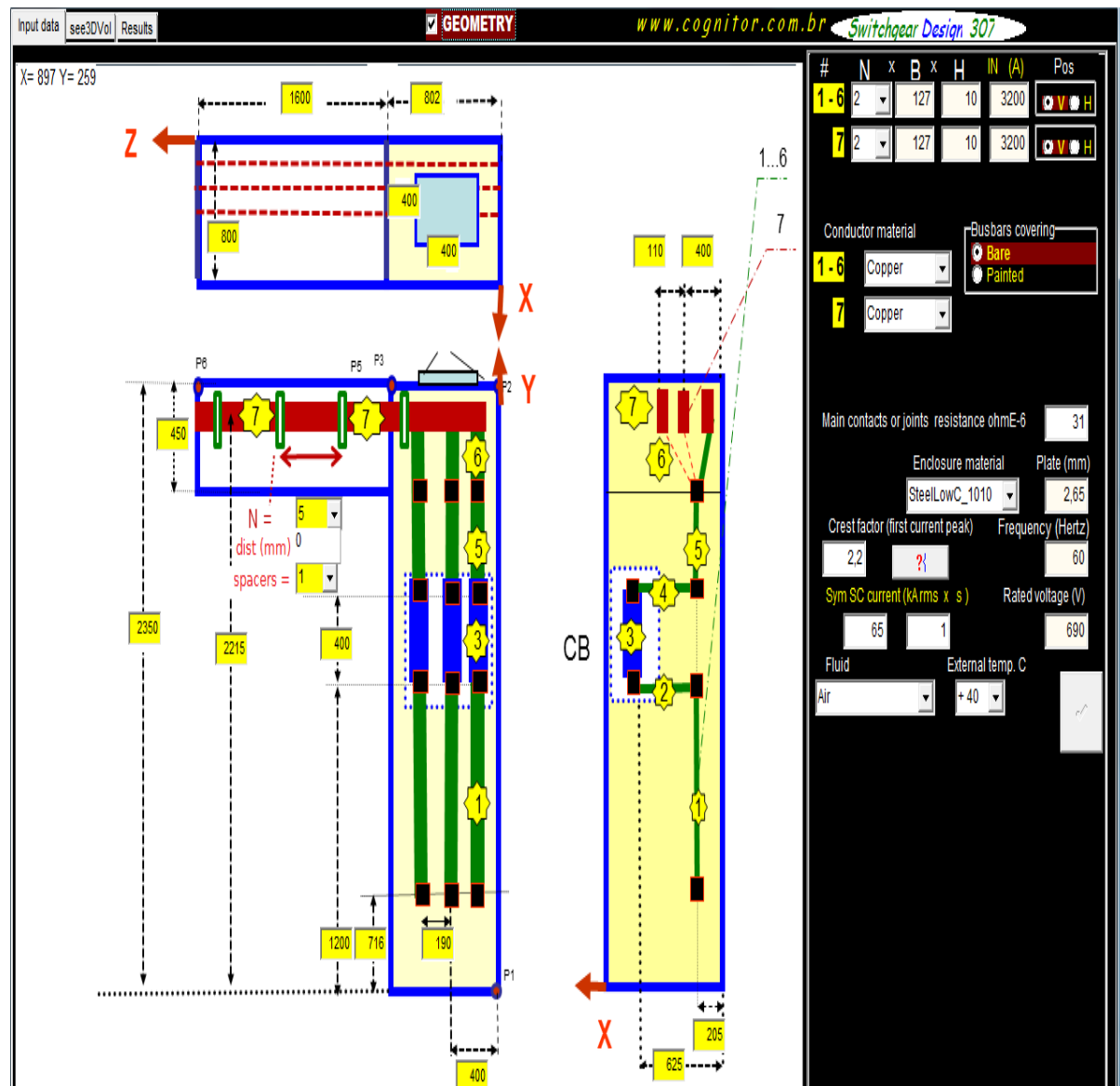
305

COGNITOR

Tipo de projeto (LVSW 1 & 2 = painel de baixa tensão, MVSW1 – painel de media tensão DUCT_1 = barramento, SWITCH = seccionador)

As próximas caixas são as mostradas no lado direito³⁰⁶ e a GEOMETRIA . Selecione LVSW1 na parte de baixo e a caixa GEOMETRY no topo

- Dependendo do tipo de projeto os itens da parte direita serão um pouco diferentes
- Por exemplo se selecionar LVSW1 você verá os condutores 1 a 6 na primeira linha e o 7 na segunda linha
- Isto permitira usar diferentes materiais , dimensões e correntes para cada grupo de condutores
- Se selecionar barramentos (DUCT_1) verá 1 a 7 apenas pois todos os condutores são iguais



- Nas próximas páginas há, para cada tipo de equipamento, a explicação do que você deve escrever em cada caixa
- Ter em mente que eu tentei usar o número mínimo de variáveis possível
- Se depois de ler todos eles você não entender como preencher as caixas escreva para sergiofeitoza@cognitor.com.br com uma descrição detalhada de sua dúvida
- Vou responde-lo e com base nas perguntas vamos melhorando
- O número de variáveis de entrada de dados é grande e pode-se criar combinações erradas de números que levem a resultados sem significado ou mensagens de erro.
- O software é focado em pessoas que têm alguma experiência em projeto de equipamentos sendo capazes de perceber que um determinado resultado está muito longe do esperado.
- Com muitas pessoas usando o software e tendo dúvidas em pouco tempo estes aspectos serão melhorados

Number assigned to each conductor (#1 to # 7) to visualize results

Geometry and dimensions (mm)

Conductors # 1 to 7 formed by 3 bars per phase 150x10 mm

Number of subdivisions in conductors # 3 e 5 and corresponding distance between supports

Current applied in the temperature rise test (A)

Bar in the Horizontal or Vertical position

Material: copper, aluminum

Bar coating: bare, painted

Joints resistance ($\mu\Omega$)
Conductors #2,4 e 6

Rated voltage (V)
Enclosure material
Fluid (air, SF6, oil ...)
Frequency
Short circuit current (kA_{rms}), duration (s) and crest factor

Ventilation openings area (IEC 60890)

Input data | see3DVol | Results | Calculator | Insulators | Materials | **GEOMETRY** | Coords | Thermal | www.cognitor.com.br | Decidix | Switchgear

1-7 | N x B x H | IN (A) | Pos

3 | 150 | 10 | 4000 | [V] [H]

Conductor material: Copper

Busbars covering: Bare (selected), Painted

Main contacts or joints resistance ohmE-6: 8

Enclosure material: Aluminum | Plate (mm): 3

Crest factor (first current peak): 2,5 | Frequency (Hertz): 60

Sym SC current (kA_{rms} x s): 50 | 1 | Rated voltage (V): 480

Fluid: Air | External temp. C: +40

Ventilation opening: [Y] [N] (N selected)

Additional Watts in the compartment (except busbars, contacts): 0

Dimensions mm

N = 5
dist (mm) 530
spacers = 1

Legend:
[Red line] conductor
[Blue line] joint

Number assigned to each conductor (#1 to # 7) to visualize results

Geometry and dimensions (mm)

The upper line is for conductors # 1 to # 6, in this example 2 bars per phase 127 x 10 mm
The second line is for conductor #7 which in this example 2 bars per phase 127 x 10 mm

Number of subdivisions in conductor # 7 and corresponding distance between supports (in # 1 to 6 is 1)

Input data see3 Vol Results Calculator Insulators Materials **GEOMETRY** Coords Thermol www.cognitor.com.br Decidix Switchgear

X= 893 Y= 24

Z ←

1600 802 400 400 800

P8 P5 P3

450

N = 5
dist (mm)
spacers = 1

2350 2215 400

1200 716 190

P1

400

CB

110 600

7

1...6

205 625

#	N	x	B	y	H	IN (A)	Pos
1-6	2	127	10	3200	☒ V ☐ H		
7	2	127	10	3200	☒ V ☐ H		

Conductor material
1-6 Copper
7 Copper

Busbars covering
☒ Bare ☐ Painted

Main contacts or joints resistance ohmE-6 31

Enclosure material SteelLowC_1010 Plate (mm) 2,65

Crest factor (first current peak) 2,2 ? Frequency (Hertz) 60

Sym SC current (kA_{rms} x s) 65 1 Rated voltage (V) 690

Fluid Air External temp. C +40

Rated voltage (V)
Enclosure material
Fluid (air, SF6, oil ...)
Frequency
Short circuit current (kA_{rms}), duration (s) and crest factor

Ventilation opening ☒ Y ☐ N Fluid speed (m/s) 0 Vent area (cm2) 168

Additional Watts in the compartment (except busbars, contacts) 0

Ventilation area, additional power dissipation (IEC 60890)

Number assigned to each conductor (#1 to # 7) to visualize results

Geometry and dimensions (mm)

The upper line is for conductors # 1 to # 6, in this example 1 bar per phase 100 x 10 mm
The second line is for conductor #7 in this example 2 bars per phase 127 x 10 mm

Number of subdivisions in conductor # 7 and corresponding distance between supports (in # 1 to 6 is 1)

Input data | 3DView | Results | Calculator | Insulators | Materials | **GEOMETRY** | Coords | Thermal | www.cognitor.com.br | Decidix | Switchgear

#	N	x	B	x	H	IN (A)	Pos
1-6	1		100		10	1600	☒ V ☐ H
7	2		127		10	3200	☒ V ☐ H

Conductor material
1-6 Copper
7 Copper

Busbars covering
☒ Bare ☐ Painted

Enclosure material SteelLowC_1010 Plate (mm) 2,65

Crest factor (first current peak) 2,2 Frequency (Hertz) 60

Sym SC current (kA_{rms} x s) 65 1 Rated voltage (V) 690

Fluid Air External temp. C +40

Rated voltage (V)
Enclosure material
Fluid (air, SF6, oil ...)
Frequency
Short circuit current (kA_{rms}), duration (s) and crest factor

Ventilation opening ☒ Y ☐ N Fluid speed (m/s) 0 Vent area (cm2) 168

Additional Watts in the compartment (except busbars, contacts) 0

Ventilation area, additional power dissipation (IEC 60890)

Number assigned to each conductor (#1 to # 7) to visualize results

Geometry and dimensions (mm)

The upper line refers to conductors # 1 to # 6 , in this example 2 bars of 63,6 x 10 mm. The second line refers to conductor #7 (here 1x100x10 mm)

Current applied in the temperature rise test (A)

Bar in the Horizontal position

Bar coating: bare, painted

Material: copper, aluminum

Circuit breaker (CB) resistance ($\mu\Omega$) CB represented by conductors #4, 5 and 6

Rated voltage (V)
Enclosure material
Fluid (air, SF6, oil ...)
Frequency
Short circuit current (kA_{rms}), duration (s) and crest factor

Ventilation area (IEC 60890)

Input data see3DV Results Calculator Insulators Materials

GEOMETRY Coords Thermol www.cognitor.com.br Decidix Switchgear

N x B x H IN (A) Pos

1-6 2 63,5 10 1250 V H

7 1 100 10 1250 V H

Conductor material

1-6 Copper

7 Copper

Busbars covering

Bare

Painted

Main contacts or joints resistance ohmE-6 80

Enclosure material Plate (mm)

SteelLowC_1010 2,65

Crest factor (first current peak) Frequency (Hertz)

2,5 ? 50

Sym SC current (kA_{rms} x s) Rated voltage (V)

31,5 1 13800

Fluid External temp. C

Air +40

Ventilation opening

Y N

Additional Watts in the compartment (except busbars, contacts) 50

Considere-se que existem dois compartimentos V1 e V2. O arco ocorre no compartimento V1 (compartimento de manobra). Os gases quentes são esgotados para V2 compartimento que tem um volume muito maior (10.000m³ neste exemplo)

Pressão inicial em compartimentos V1 e V2, em kPa (antes de arco)

Type of test simulation

☐ Electrodyn Forces ☐ Electromag Fields ☐ Temperature Rise ☒ Internal Arc

V1 volume é auto-calculado a partir da geometria, mais um factor de ocupação atribuído nos resultados. **Volume V2**

A pressão de ruptura (dispositivo de alívio começa a abrir)

Duração do ensaio com arco mantido

Considere ou não a indutancia do circuito que reduz a corrente de ensaio

Distancia entre parafusos da placa ou fixações

Uso de absorvedores (indicação de efeitos apenas)

#	N	x	B	x	H	IN (A)	Pos
1-6	2		63.5		10	1250	☒ V ☐ H
7							

Conductor material

1-6 Copper
7 Copper

Busbars covering

☒ Bare
☐ Painted

Main contacts or joints resistance ohmE-6

80

Enclosure material Plate (mm)

SteelLowC_1010 2,65

Crest factor (first current peak) Frequency (Hertz)

2,5 ? 50

Arm SC current (kArms x s) Rated voltage (V)

31,5 1 13800

Fluid External temp. C

Air +40

Initial pressure at V1 (kPa)

101,3

Initial pressure at V2 (kPa)

101,3

Exhaust volume V2 (m³)

100000

Burst press. (kPa)

127

Test duration (ms)

100

Dist. bolts (mm)

200

☒ Consider SW inductance

Absorber Effect (Grid)

☒ No area ☐ area 5X ☐ 10X

Grid material

SteelLowC_1010

Switchgear type

☐ LVSW_1 ☐ LVSW_2 ☒ MVSW_1 ☐ DUCT_1 ☐ SWITCH ☐ FUSE_1

Sens_Arc_MP1_CB31_Rel65111

☒ 3D ☒ +

Numero atribuído a cada condutor #1 a #7 para mostrar os resultados

Geometria com dimensões (mm)

A linha superior corresponde aos condutores #1 a #3 (neste exemplo 1 x 40 x 12 mm. A segunda linha corresponde a condutores 4 a 7 (2 x 50 x 6 mm)

Corrente do ensaio de elevação de temperatura (A)

Barra no posição vertical ou horizontal

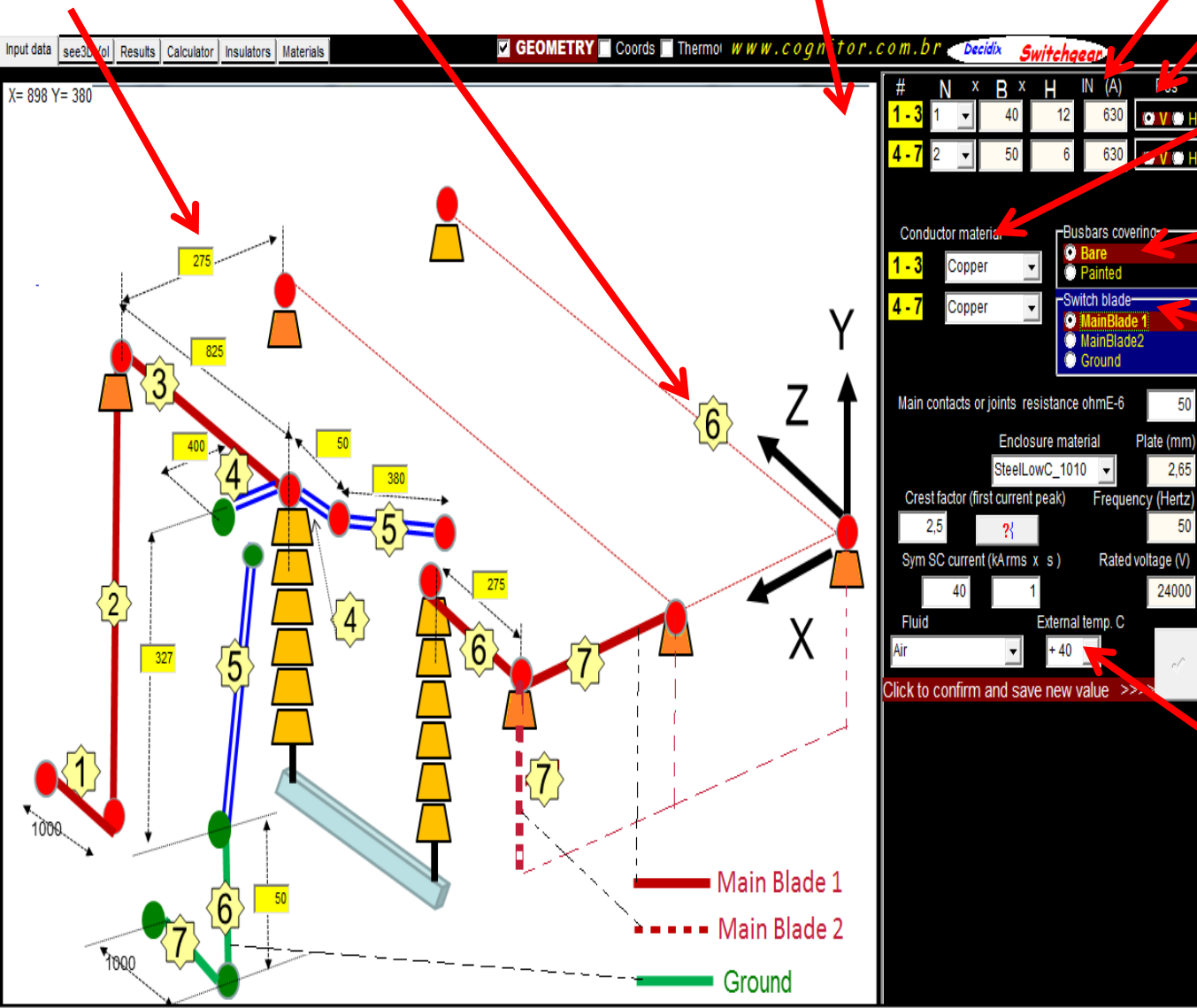
Material: cobre, alumínio,

Barra nua ou pintada

Selecione lamina a calcular

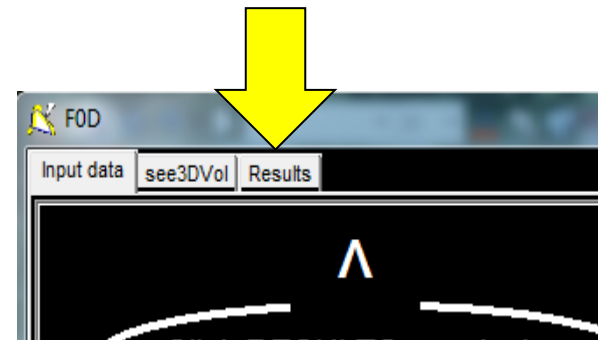
Resistencia vista dos terminais por fase ($\mu\Omega$)
Condutor #5

Tensão nominal (V)
Material do involucro
Fluido (ar, SF6, óleo ...)
Frequência
Corrente de curto (kA_{ef}),
duração (s) e fator de crista



VISUALIZAÇÃO DE RESULTADOS

- Depois de inserir todos os dados de entrada, se você clicar na aba de RESULTADOS o cálculo será feito



- Nas próximas páginas, para cada tipo de teste, você pode ver os resultados típicos. Alguns dos casos são validados por testes reais feitos em laboratórios de ensaio. Para mais detalhes ler os artigos em

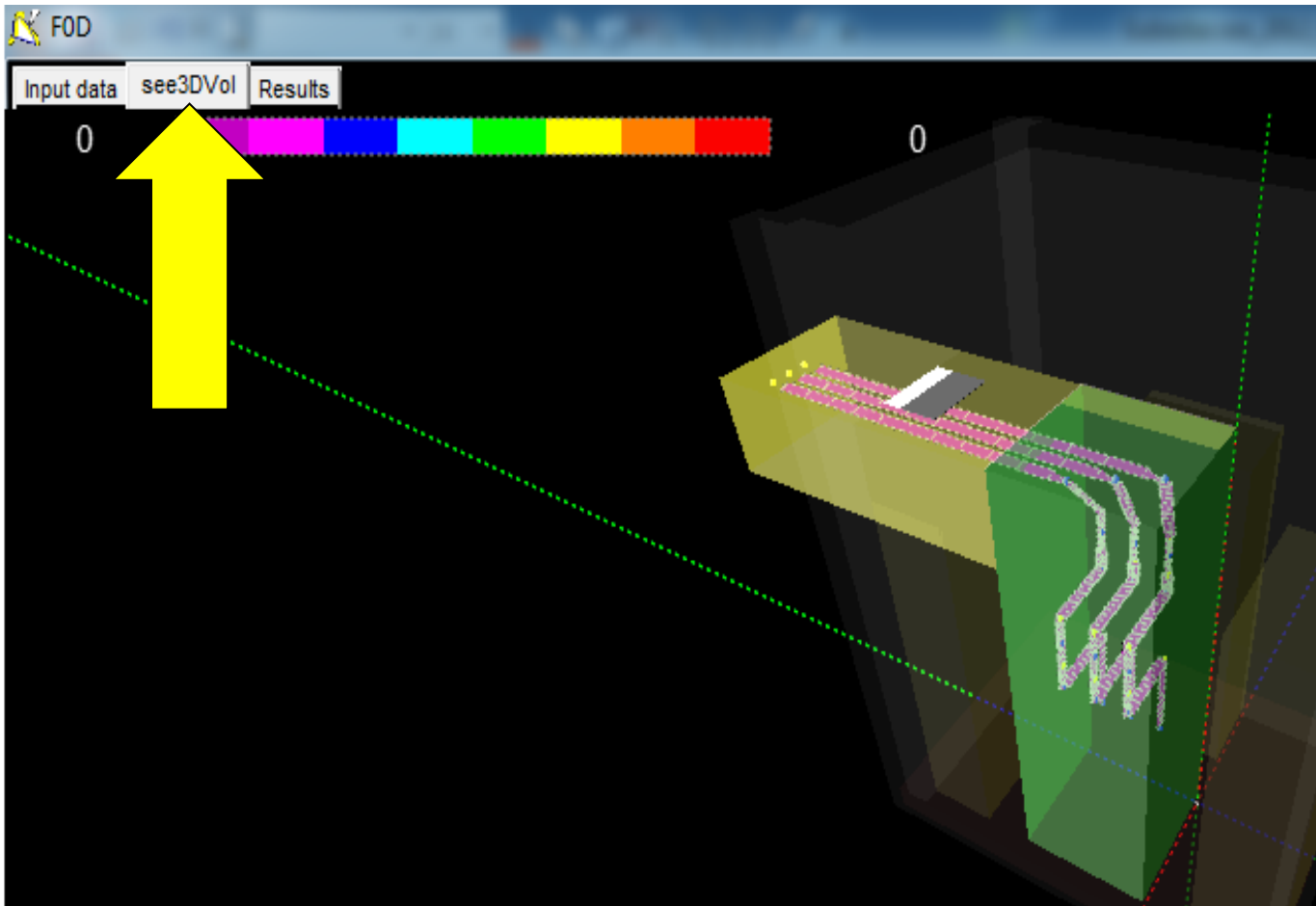
http://www.cognitor.com.br/en_download.htm

com especial atenção em

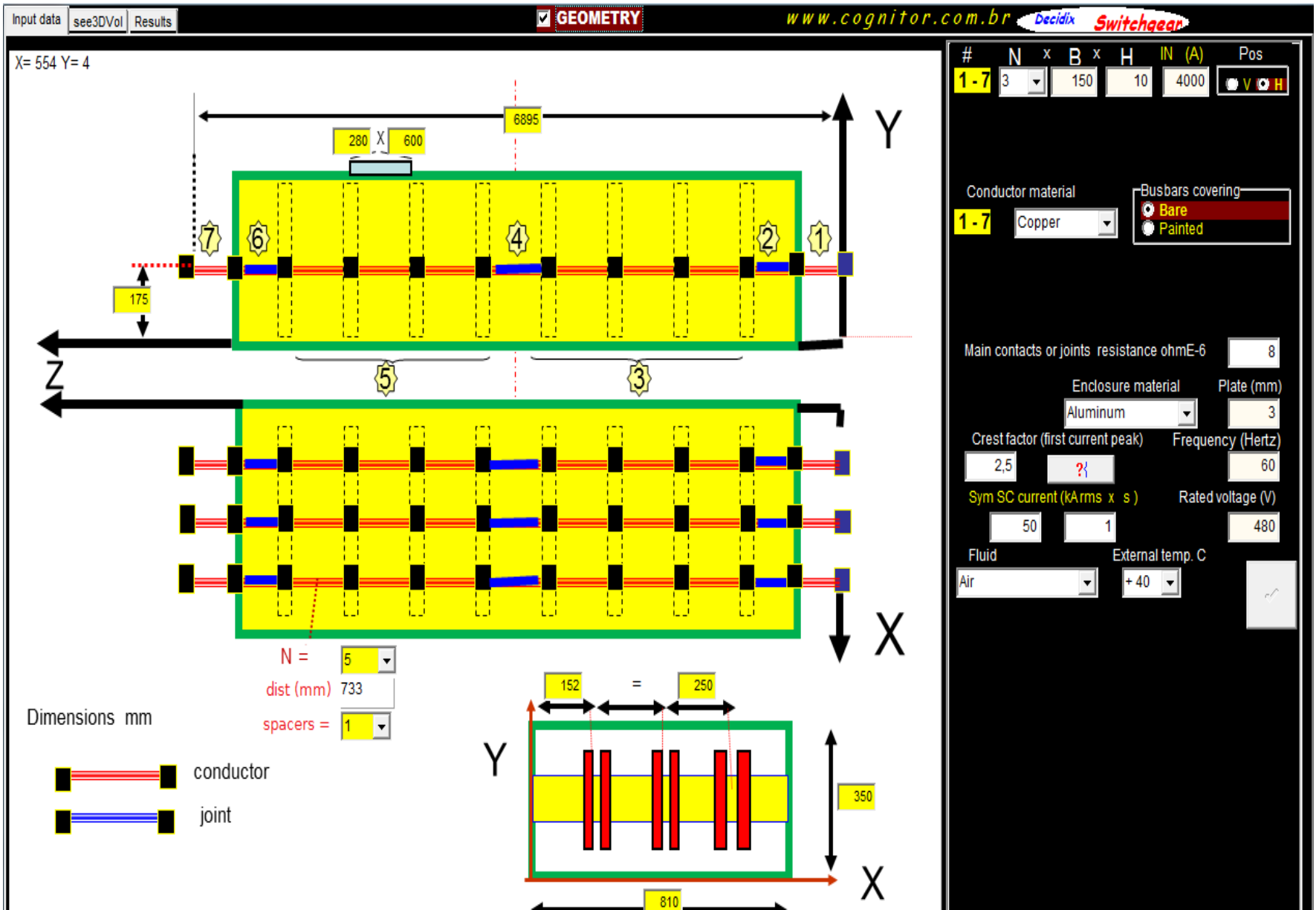
http://www.cognitor.com.br/Validation_Simulations_English.pdf

VISUALIZAÇÃO DE RESULTADOS

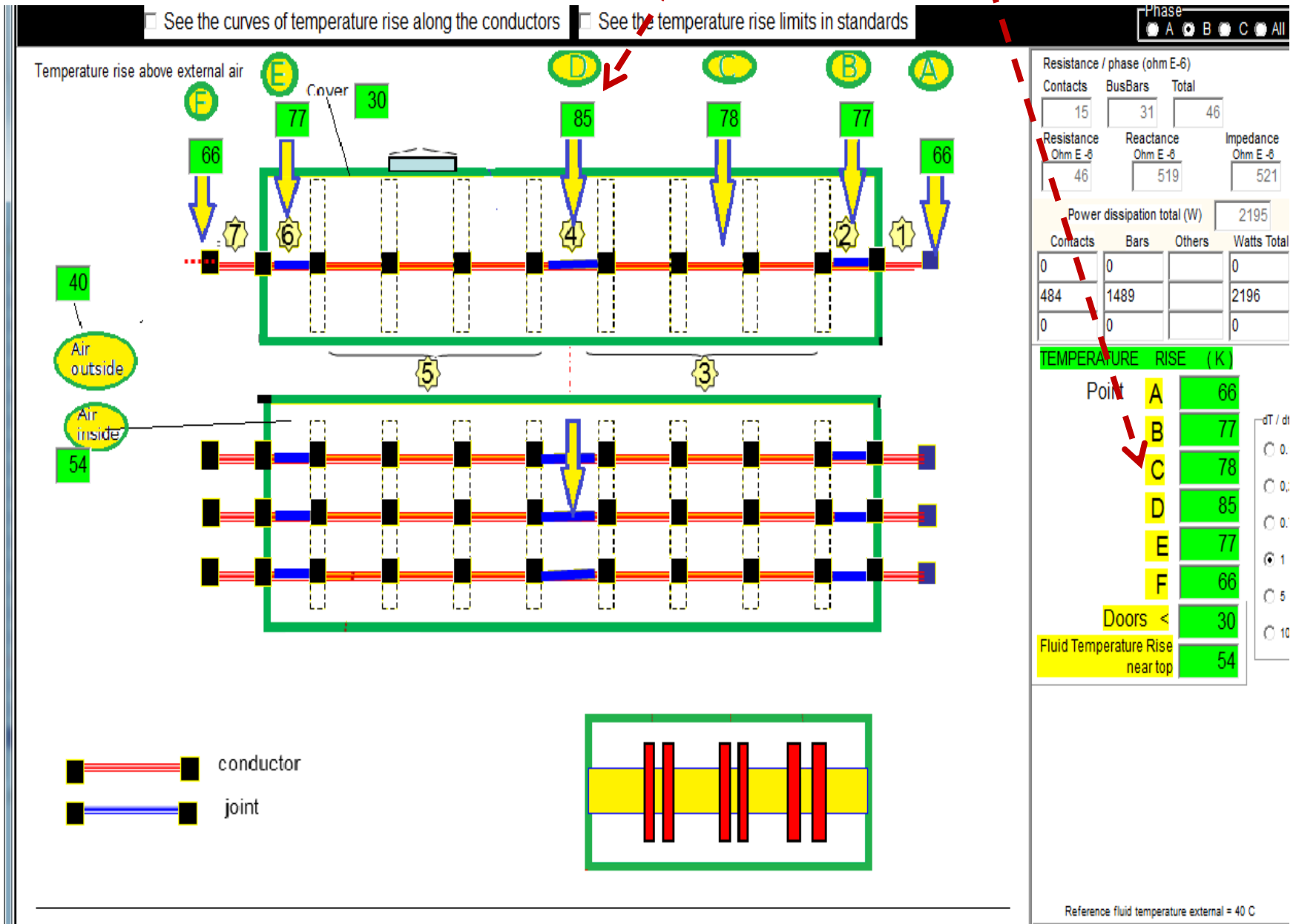
- Um erro comum é entrar com dimensões na GEOMETRIA que não são coerentes. Para isto foi criado a caixa **See 3Dvol**.
- Se clicar lá aparecerá a visualização 3D
- Se a figura estiver “estranha” verificar as dimensões. Se uma mensagem de erro surgir devido às dimensões inconsistentes ir novamente para a tela de geometria e acerta-las.



Barramentos (caso validado _3x150x10_CU_R_67131)



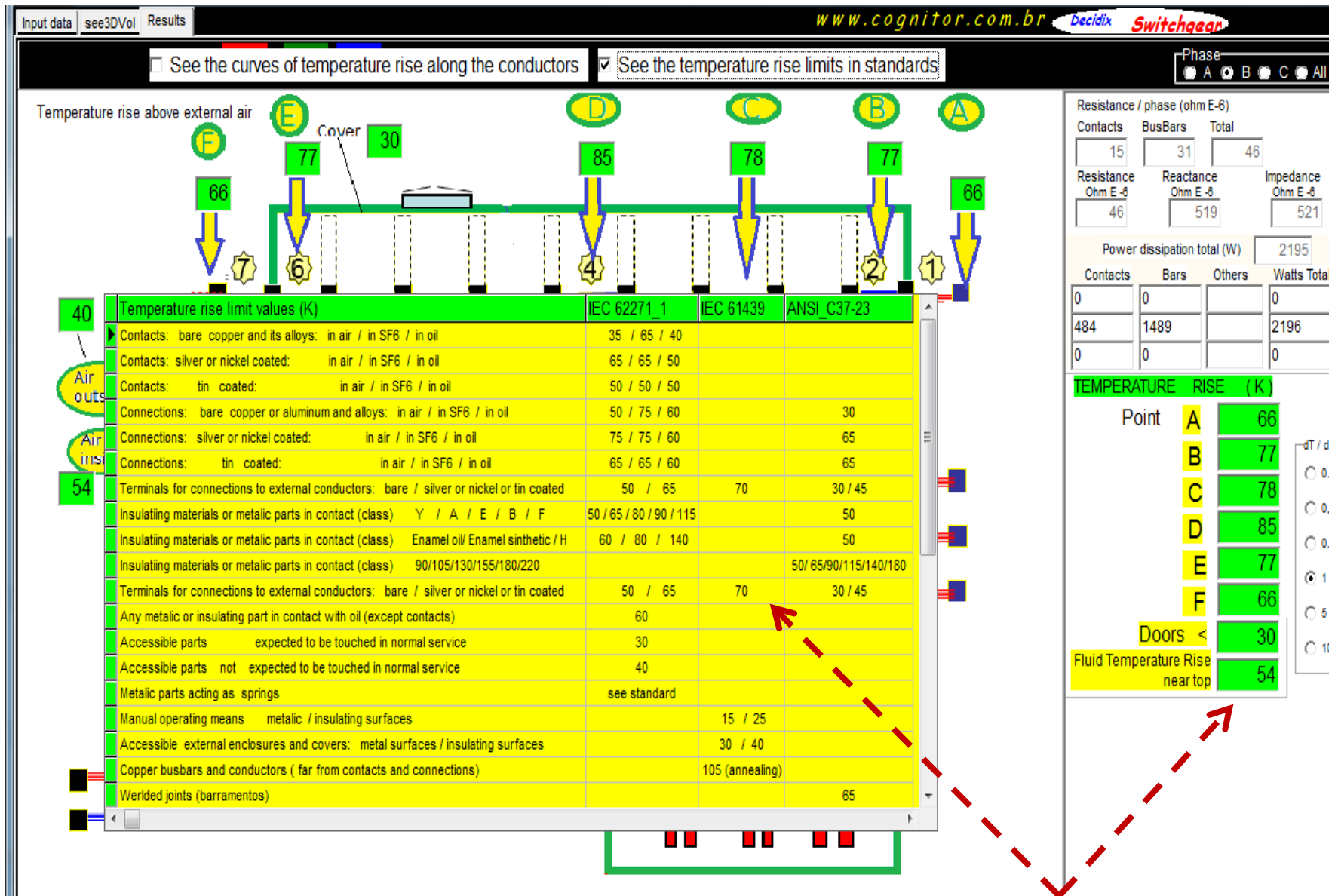
Barramentos (caso validado _3x150x10_CU_R_67131)

Elevação de temperatura (K) acima da temperatura do ar ambiente externo

RESULTADOS – ENSAIO DE ELEVAÇÃO DE TEMPERATURA

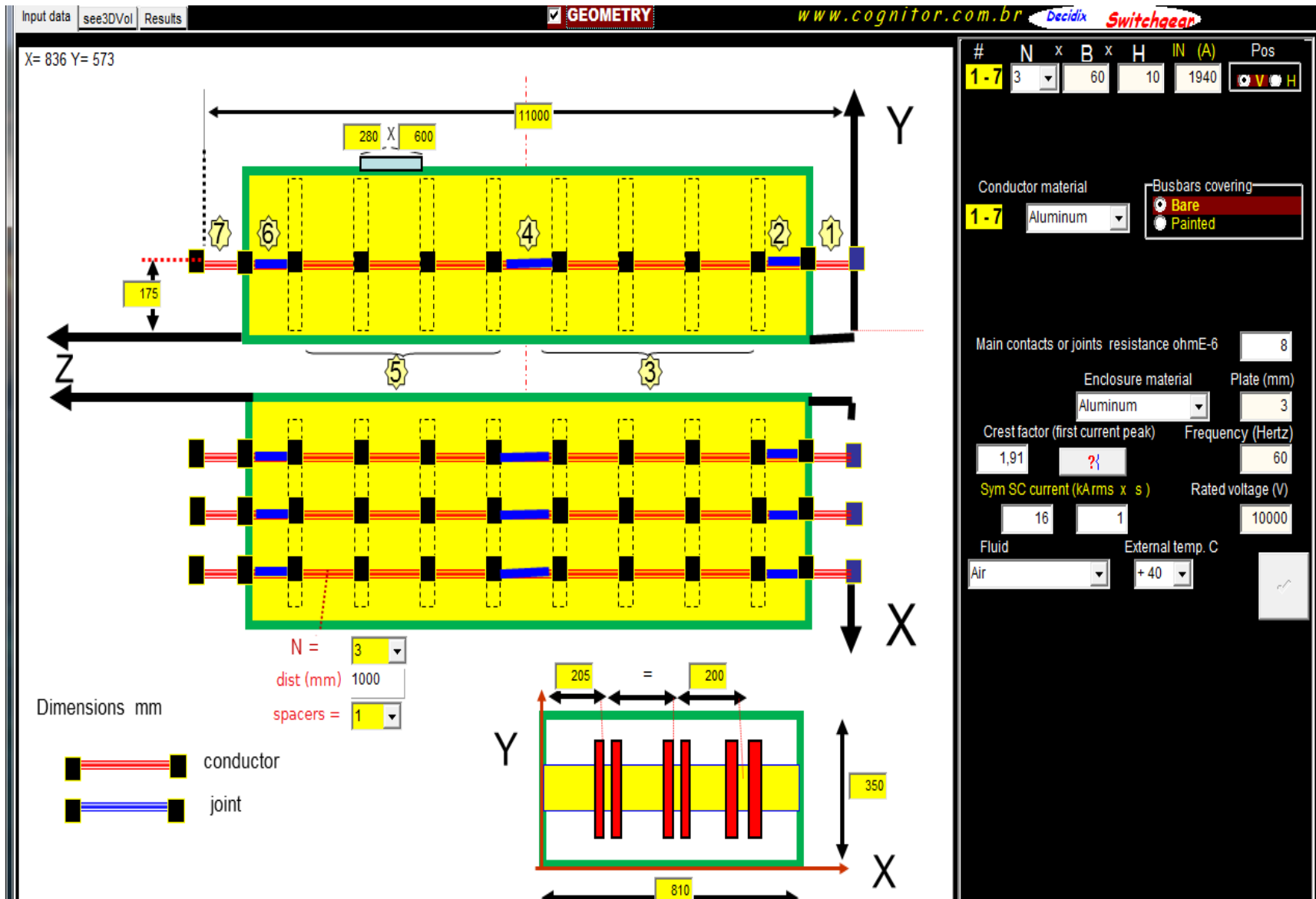
Barramentos (caso validado _3x150x10_CU_R_67131)

Ponto de medição na fase central B	Ensaio (K)	Resultado simulação (K)
Conexão no inicio do condutor # 2	72,4	73 a 77 (*)
Barra no condutor # 3	84,0	78
Conexão no centro do condutor # 4	83,5	85
Conexão no centro do condutor # 7 (ponto de curto circuito)	66,6	66
Lateral do involucro a 50% da altura	30,2	30
Fluido interno no topo	Não medido	54
Resistencia total por fase= juntas + barras ($\mu\Omega$)	Não indicado	15 + 31 = 46
Resistencia das juntas ($\mu\Omega$)	Não indicado	8
Ventlação	Não	
Barramento	Cobre 3 x (150x10) mm Horizontal	

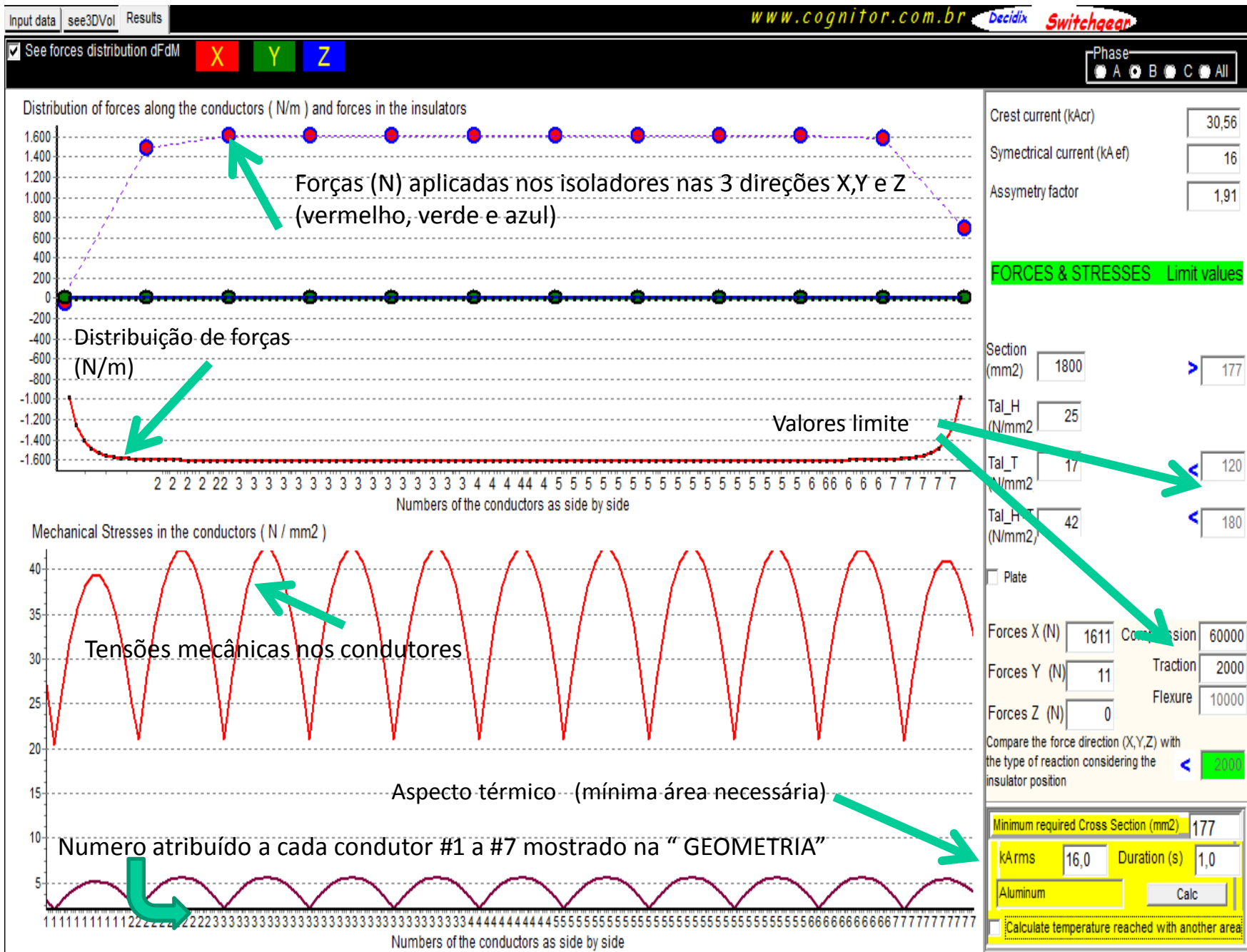


Compare os valores calculados com os limites de elevação de temperatura especificados nas normas técnicas

Barramentos (caso validado _3x60x10_Al_IEC865_2)



Barramentos (caso validado _3x60x10_AI_IEC865_2)



BUSWAY (validated case BusWay_3x60x10_AI_IEC865_2)

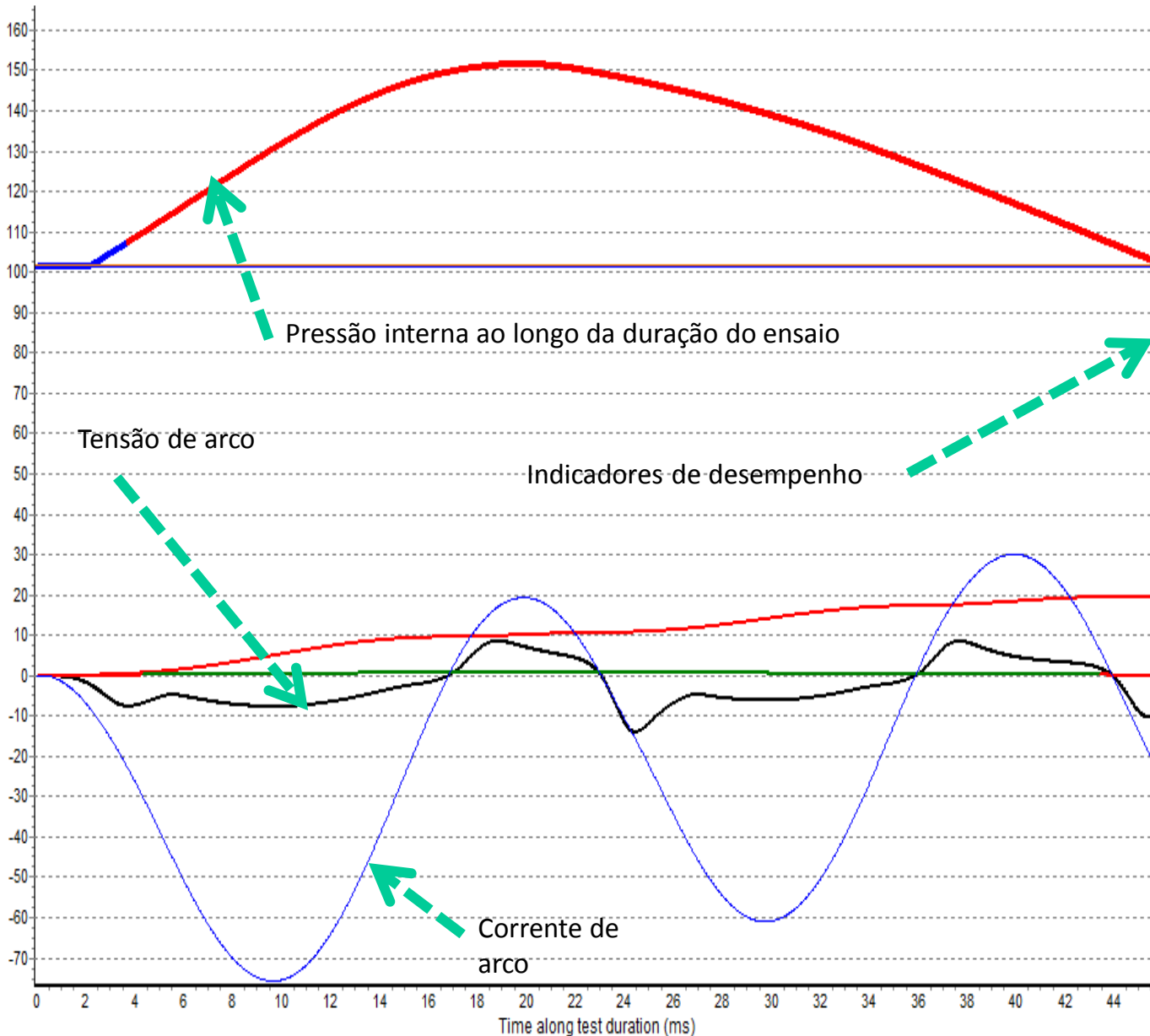
O “ resultado do teste” é o calculo apresentado na . IEC 60865-2 (1994) – pag 19-27

Parametro	Ensaio	Simulação
Max. Tensão mecanica σ_H (N/mm ²)	24,7	25
Max. Tensão mecanica σ_T (N/mm ²)	16,1	17
Max. Tensão mecanica TOTAL $\sigma_H + \sigma_T$ (N/mm ²)	40,8	42
Max. Força no isolador em compressão ou tração (N)	-	11
Max. Força no isolador em flexão (N)	1606	1611

RESULTADOS – ENSAIO DE ARCO INTERNO

Painel de media tensão (caso validado - MP1_CB31IArc_valid_ROZV050U

Internal pressure during internal arc (kPa)



RESULTS

	Calculated	Limit
Pressure peak (%)	50	80
	kPa	152
Overpressure duration	46	
Integral $\Delta P \cdot dT \cdot E+3$	26	30
Time 100% peak pressure (ms)	20	
Time 50% after peak pressure (ms)	36	
Minimum plate no burnthrough (mm)	1,14	
Burnthrough % of plate thickness	43	☐
Mx. deflection / deformation (mm)	0,71	
Arc current - pressurized (A rms)	38300	
☒ Checked if switchgear inductance considered		
Arcing time (ms)	44	
Arc voltage (V)	585	
Arc Speed (m/s)	39	
RELIEF AREA (m2): this area is calculated as the product of the dimensions showed in the geometry. If there are grids reducing the area consider it in the geometry	0,248	
Vol each column	1,026	
x occupation %	0,53	
= net m3	0,53	0,544

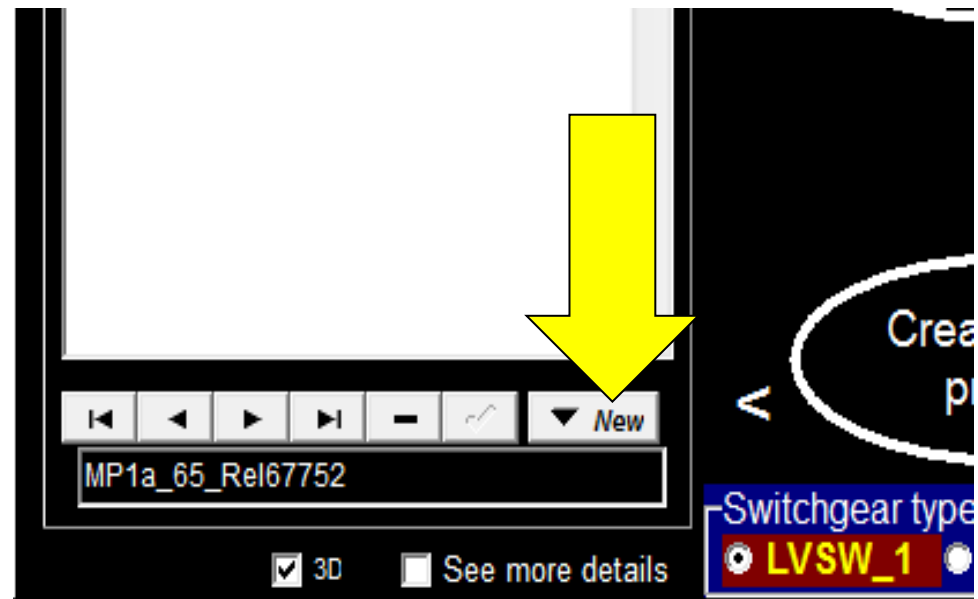
MP1_CB31IArc_valid_ROZV050U

RESULTADOS – ENSAIO DE ARCO INTERNO

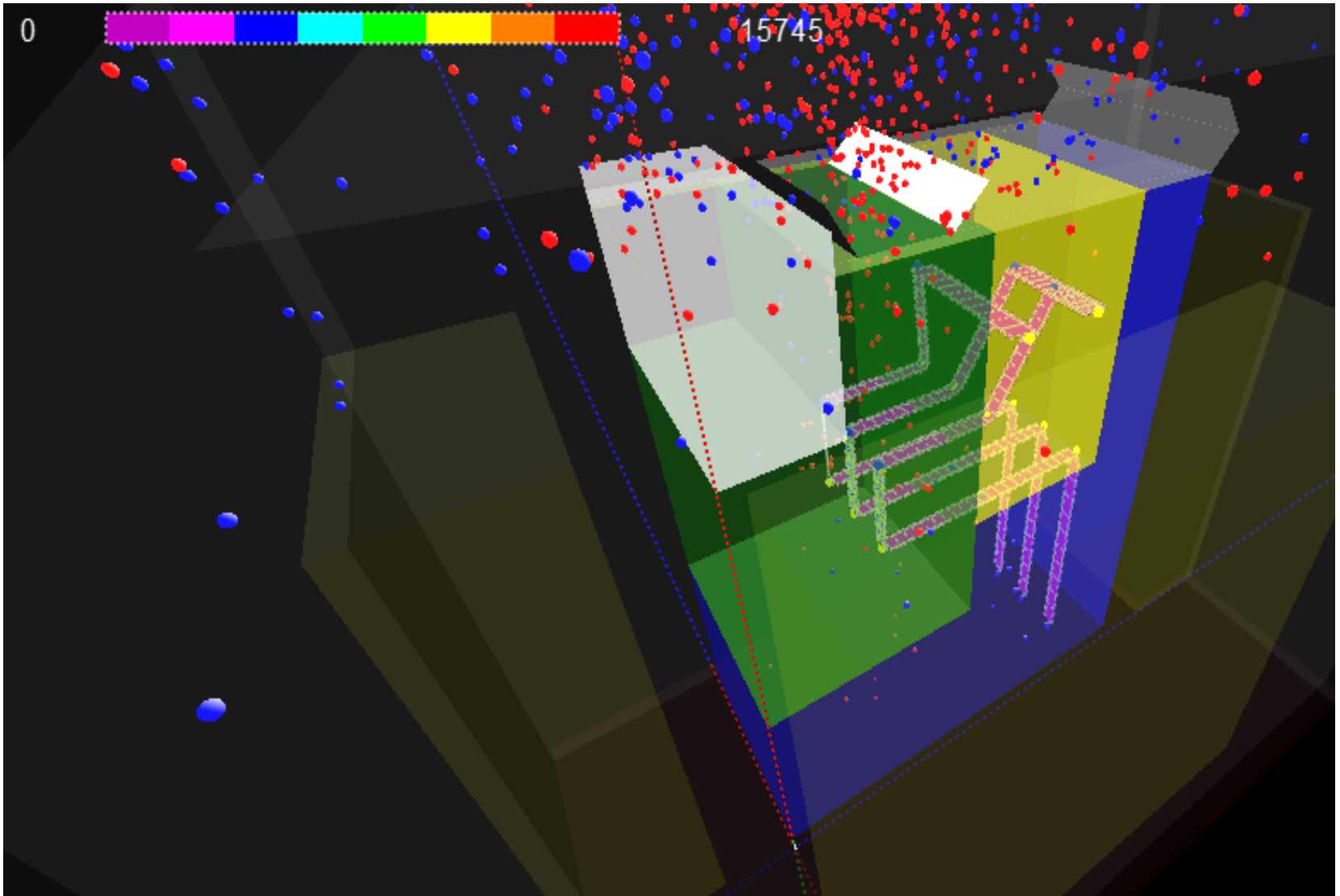
Painel de media tensão (caso validado - MP1_CB31IArc_valid_ROZV050U

Parametro	Ensaio	Simulação
Tensão nominal(KV)	13,8	
Corrente kA rms e duração (s) presumida	31,5 – 1s	
Assimetria da corrente	2,5 fator de crista	
Frequencia (Hz)	50	
Volume compartimento (m ³) x fator de ocupação	1,026 x 0,53 = 0,54	
Area de alivio de sobrepressão do compartimento (m ²) . Há uma grade que reduz a 80%	0,8 x 0,31 = 0,248	
Tensão de arco (V rms)	530	585
Maxima sobrepressão acima de 1 bar ΔP (%)	50 to 52	50
Duração da sobrepressão (ms)	42 to 46	46
Integral da curva de sobrepressão x tempo(bar*s*1000)	-	26
Tempo a 100% ΔP (ms)	18 to 20	21
Tempo a 50% ΔP (ms)	24 to 26	36
Ventilação	No	
Absorvedores e grades	Yes	

CRIAÇÃO DE NOVOS CASOS



- Isto só é possível com a versão "distribuído no curso"
- O fundamento é que, ao criar um novo caso é criada uma nova linha nas tabelas de base de dados exatamente igual ao caso que estava selecionado antes.
- A única diferença é o "nome" do novo caso.
- Você pode alterar o nome como quiser e alterar os dados de entrada e geometria como desejar



- Este recurso aqui está em desenvolvimento.
- É um método para detectar o impacto dos parâmetros de projecto na queima dos indicadores de algodão em testes de arco interno.
- A queima de indicadores horizontais é a maior causa de falha no ensaio de arco

CASE STUDIES WITH THE USE OF THE SOFTWARE

(PRESENTED IN THE COURSE USING THE SOFTWARE)

SHORT TIME AND CREST WITHSTAND CURRENT

(ELECTRODYNAMICAL STRESS, MECHANICAL STRESS)

- Normal use and explanation about performance indicators
- How to optimize the number of insulators
- How to optimize the type of bars considering also the temperature rise requirements

ESTUDOS DE CASO USANDO O SOFTWARE

ENSAIO DE ELEVAÇÃO DE TEMPERATURA

- O uso normal e explicação sobre os indicadores de desempenho
- Como otimizar a solução de ventilação
- Como otimizar o tipo de barras
- Como considerar a relação com os requisitos de ensaio de arco interno

ESTUDOS DE CASO USANDO O SOFTWARE

ENSAIO DE ARCO INTERNO

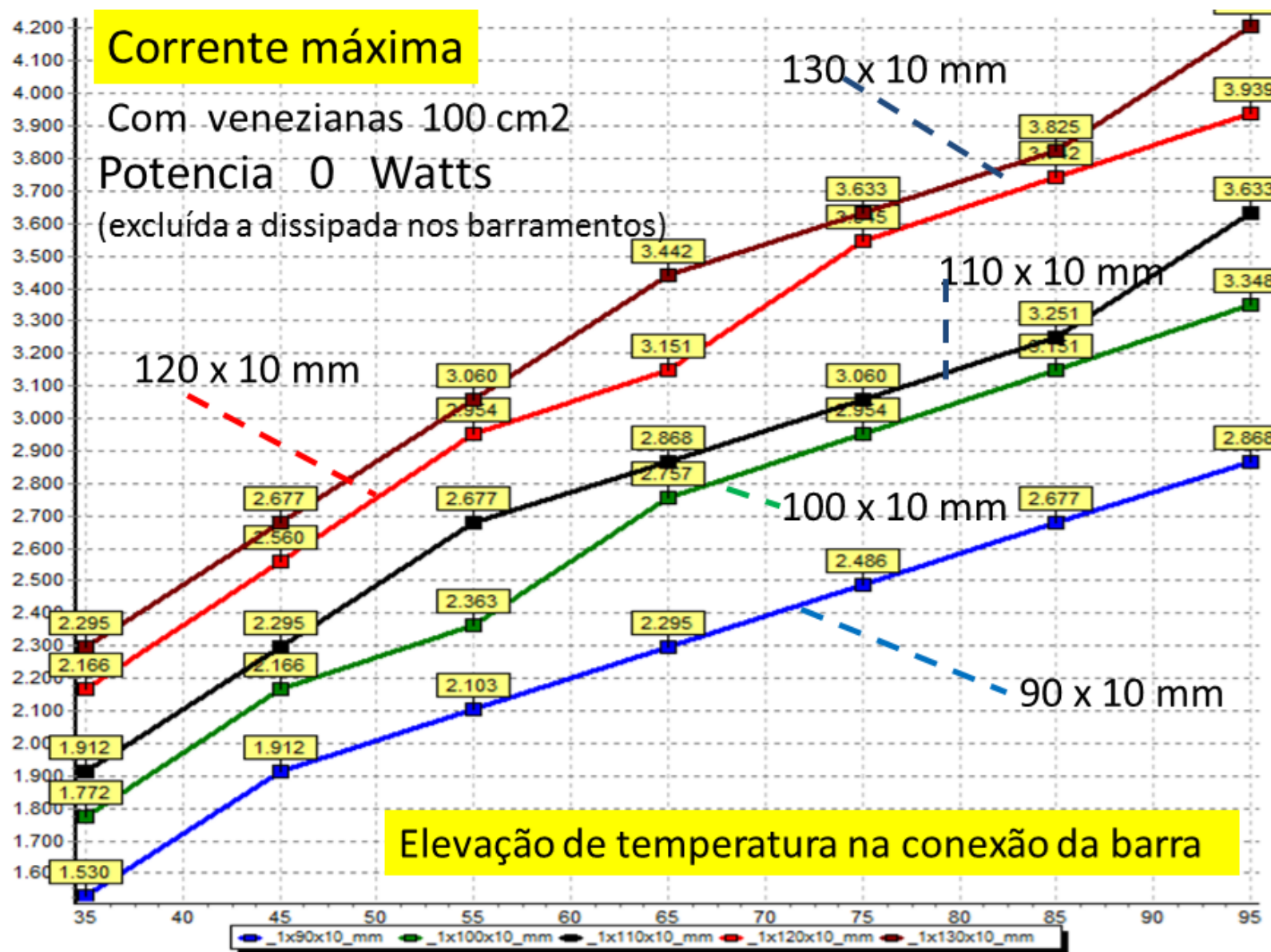
- O uso normal e explicação sobre os indicadores de desempenho
- Como otimizar o dispositivo de alívio de pressão
- Como otimizar a espessura da placa
- Como considerar o “burnthrough”
- Como considerar a relação com os requisitos de ensaio de elevação de temperatura

PROJETOS DE PAINEIS E BARRAMENTOS OTIMIZADOS

(desempenho ao mais baixo custo)

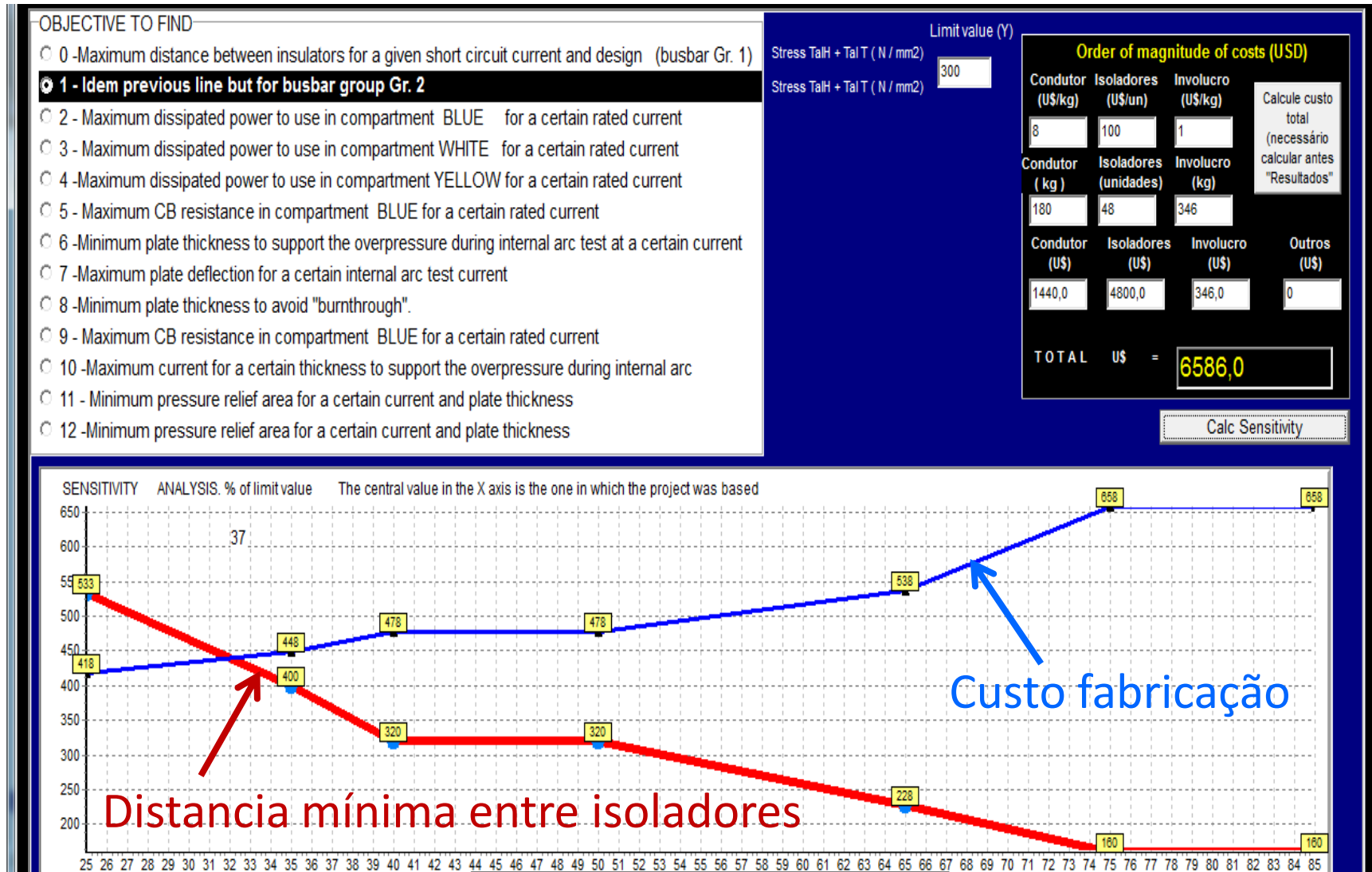
- ❑ Máxima distancia entre isoladores x tensão mecânica x corrente de curto
- ❑ Máxima corrente nominal x elevação de temperatura
 - ❑ No ar interno
 - ❑ Na conexão (hot spot)
 - ❑ Nas portas
 - ❑ Com ou sem venezianas de ventilação
 - ❑ Com ou sem potencia adicional (gavetas)
 - ❑ Com resistência de contatos de disjuntores, seccionadores, fusíveis
- ❑ Mínima espessura da chapa de aço para não romper com sobrepressão do arco interno
- ❑ Mínima espessura da chapa de aço para não furar chapa (“burn-through”) no arco interno
- ❑ Mínima área e rapidez de alívio de sobrepressão x corrente de arco

Apenas nas versões “customizadas”



Montar este gráfico usando resultados de ensaios de laboratorio
custaria no mínimo uns U\$ 100.000,00

Apenas nas versões "customizadas"



Corrente de curto circuito (kA)

Para sugestões e contatos:

Sergio Feitoza Costa

Cognitor - Consultoria, P&D e Treinamento

Tel (21) 2465 3689 ou (21) 3393 4600 ou cel: (21) 8887 4600

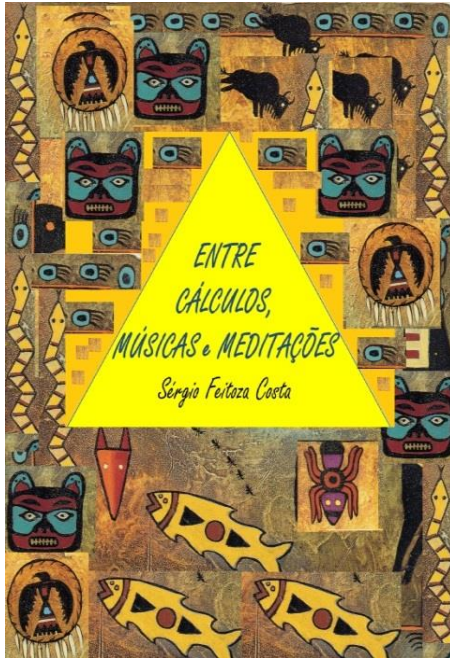
Email sergiofeitoza@cognitor.com.br

Site www.cognitor.com.br

Livro produzido pela
Câmara Brasileira de Jovens Escritores
Rio de Janeiro – RJ – Brasil
<http://www.camarabrasileira.com>
Email: cbje@globo.com

Livro “não técnico” do Sergio (siga o link)

<http://www.bookess.com/read/15211-entre-calculos-musicas-e-meditacoes/>



CD de músicas do Sergio

<http://www.gravadoravirtual.net/sergiofeitoza>

Por muito tempo eu estive preparando este texto usado como referência para dois treinamentos que tenho aplicado por muitos anos em todo o Mundo. Agora ele é feito e espero que este material possa ser útil para profissionais que não participaram dos cursos, em especial, para os professores e para os alunos de engenharia elétrica.

Estou também disponibilizando o software SwitchgearDesign_307 desenvolvido por mim para o projeto de alguns tipos de equipamentos para subestações (explicações na seção 7 deste livro). A explicação sobre a forma de obtê-lo está no site <http://www.cognitor.com.br>. Lá você também poderá ler como obter o livro "Entre cálculos, músicas e meditações" e um link para as músicas do meu terceiro CD de músicas. Tudo de bom ! Sergio Feitoza

ISBN 978 85 413 0239 5



9 788541 302395

Câmara Brasileira de Jovens Escritores
Rio de Janeiro