



GUIA PARA USO DE SIMULAÇÕES

EM COMPUTADOR DIGITAL

**PARA SUBSTITUIÇÃO DE ALGUNS
ENSAIOS ESPECIFICADOS NAS NORMAS
ABNT / NBR e IEC**



- **Anos atrás:** começo do uso de compras e transações bancárias em lojas virtuais pela Internet
- **Dizia-se:** isto não vai à frente (não se vê o produto, não é seguro,..)
- **Barreiras:** mudança de hábito e falta de conhecimento.
- **Hoje:** lojas virtuais muito usadas e produtos **mais baratos e rápidos.**
- **Problemas** sendo resolvidos por melhores procedimentos
- Muitos compram na loja “não virtual” após dar uma olhada na Internet..
- **Lojas reais “não virtuais” continuarão existindo** para público e produtos específicos (as eficientes sobreviverão)



- **2007** - “CIGRÉ International Technical Colloquium”:
- Artigo “Simulation, IEC Standards & Testing Laboratories: Joining the pieces for higher quality high voltage equipment”.
- Reações parecidas ao apresentar a ideia e caminhos para formalizar nas normas IEC-ABNT a substituição de **alguns** ensaios por simulações
- A ideia evolui rapidamente e ganha adeptos quando é entendida .
- Há quem entenda que demorará a avançar porque:
 - Mudança de hábitos antigos (simulações funcionam na pratica ?)
 - Temem perder vantagem conquistada por já terem produtos testados em laboratorio..



- Há normas técnicas que utilizam 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: 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).
 - Disjuntores 1100 KV excedendo capacidade do laboratório
- Evitar realizar ensaios quando é possível fazê-lo economiza recursos da sociedade e conduz a produtos de menor custo.



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 < = às do projeto de referência?	X		X
<p>“SIM”; a todos os requisitos - sem necessidade de ensaiar. “NÃO”; a qualquer dos requisitos - verificação adicional por cálculos e simulações é necessária</p>				



- Muitas normas IEC, base das normas ABNT, foram criadas há mais de **40 anos atrás** sob a visão de **“tudo deve ser testado”**.
- Os mais assíduos participantes das reuniões em que são elaboradas as normas IEC são os grandes fabricantes internacionais.
- Boa parte destes teve o mérito de construir no passado seus próprios laboratórios de ensaios para desenvolver seus produtos.
- **Pequenos e médios fabricantes**
 - Acesso aos laboratórios é barreira ao desenvolvimento e qualificação de produtos.
 - Simulações os tornam mais competitivos



- **Ensaio em laboratório** são a **melhor forma** de verificar se um produto atende à norma técnica.
- Ensaio de interrupção, elevação de temperatura, de correntes suportáveis de curta duração /crista e ensaio de arco interno **são onerosos e demandam longo tempo de preparação**.
- Técnicas de simulação de ensaio podem ser usadas para prever resultados de alguns ensaios para:
 - equipamento de características próximas a outro já testado.
 - processos de certificação quando são feitas pequenas modificações em produto já certificado.
 - substituir o SF6 por ar em ensaios de arco interno com benefícios ambientais (**WG A3-24 do CIGRE**).

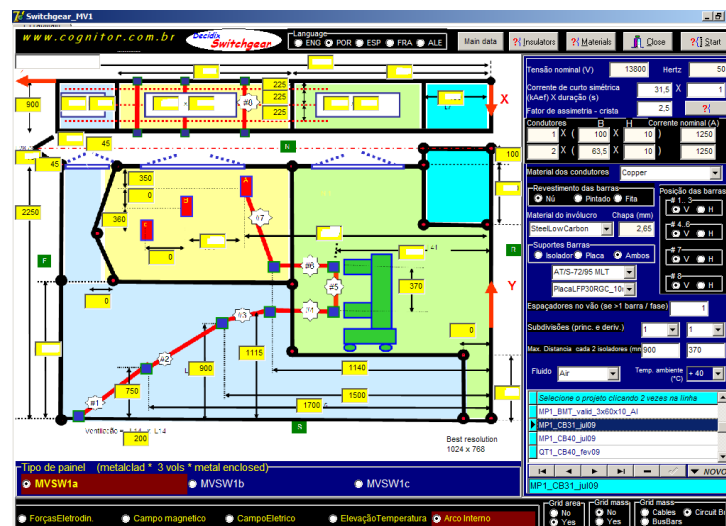


ENSAIOS DE ELEVAÇÃO DE TEMPERATURA

- Simulação relativamente simples de realizar e de validar.
- Comparar os resultados das elevações de temperatura da simulação e dos ensaios
- P.ex painéis: normas deviam pedir a medição da elevação de temperatura do ar interno e a resistência de contatos do disjuntor (não apenas resistência ôhmica total por fase)
- Normas deveriam sinalizar que relatórios de ensaios identifiquem o que testam e tenham uma “conclusão” (passou no ensaio ou não passou, ...)

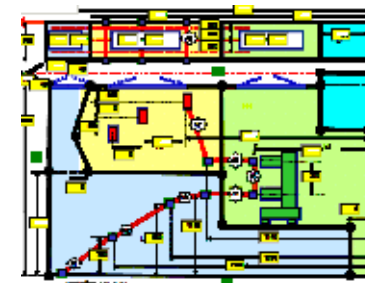
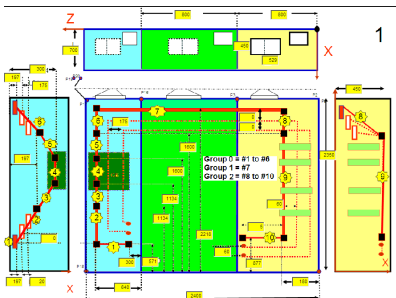
LIMITES DE ELEVAÇÃO DE TEMPERATURA				
● Se os limites mostrados nas normas são excedidos o equipamento na vida real terá envelhecimento prematuro ou será destruído em pouco tempo.				
Parte	Material do contato e meio onde será usado	Elevação de temperatura máx. (K) ambiente 20°C	Temperatura máx. (°C) 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 riquelado - no ar / SF6 - no óleo	75 (65 na IEC62271-1)	50	
	Para contadores em óleo		105	Deteriora óleo
CONTATO	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
APARAFUSADO	Prateado ou riquelado ar ou SF6	75	100	deteriora óleo
	Prateado ou riquelado no óleo		100	deteriora óleo
	Para contadores em óleo		105	deteriora óleo
PARTES METÁLICAS	Em contato com isolante de classe		90 / 105 / 120 130 / 155 / 180	Envelhecimento do isolamento
	Em posição de soldas		100	Quebra
SUPERFÍCIES	Podem ser tocadas (met / não metálico)		70 / 80	Não queimar pessoas
	Acessíveis mas não tocadas		80 / 90	

Terminals ao exterior: não revestidos (delta T= 60K e prateados 75 K)



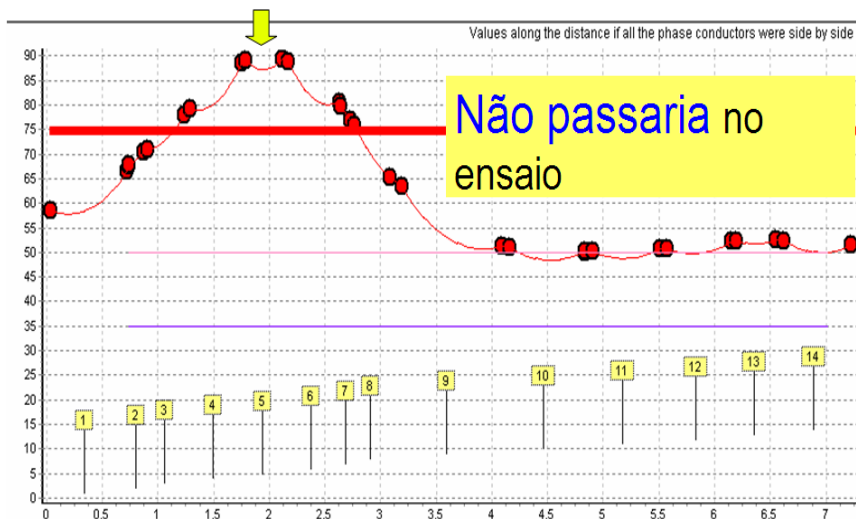


ELEVAÇÃO DE TEMPERATURA



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)

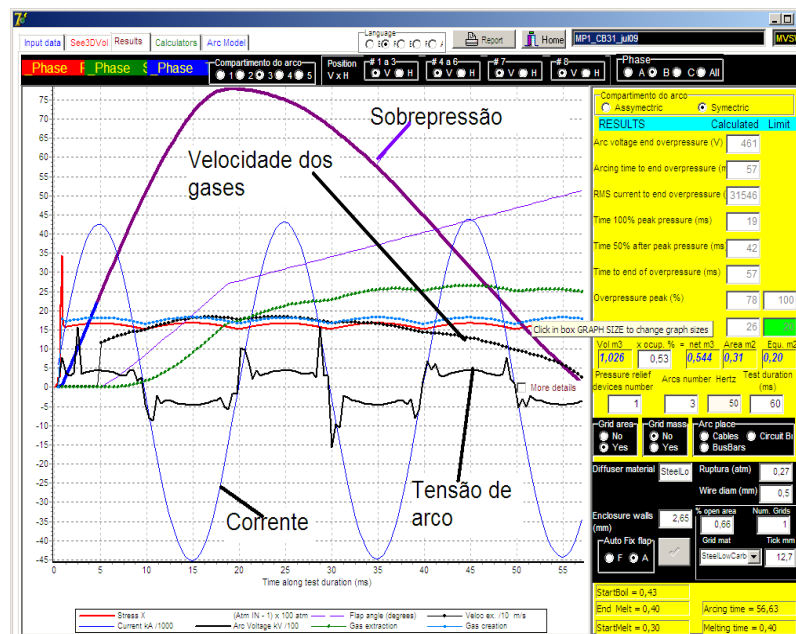
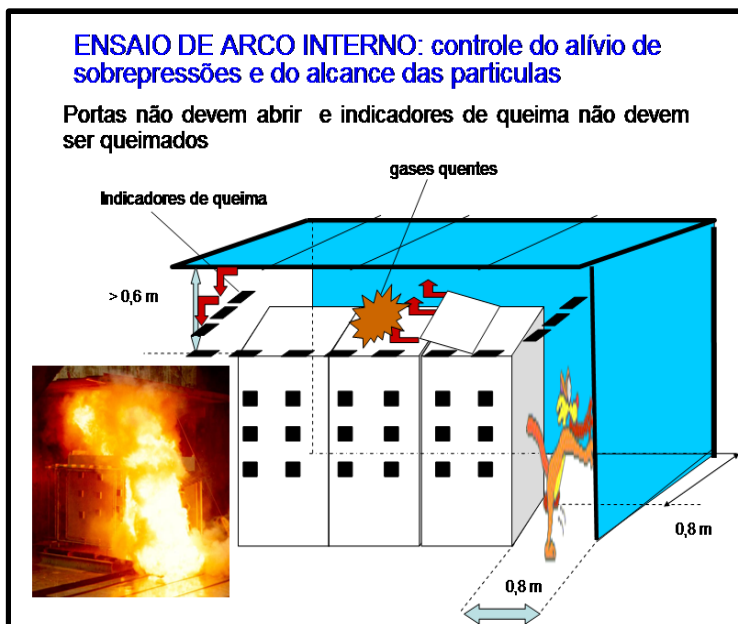
Resistência total por fase (disjuntor + barramentos + emendas) = **72 $\mu\Omega$**
Resistência do disjuntor = **18 $\mu\Omega$**





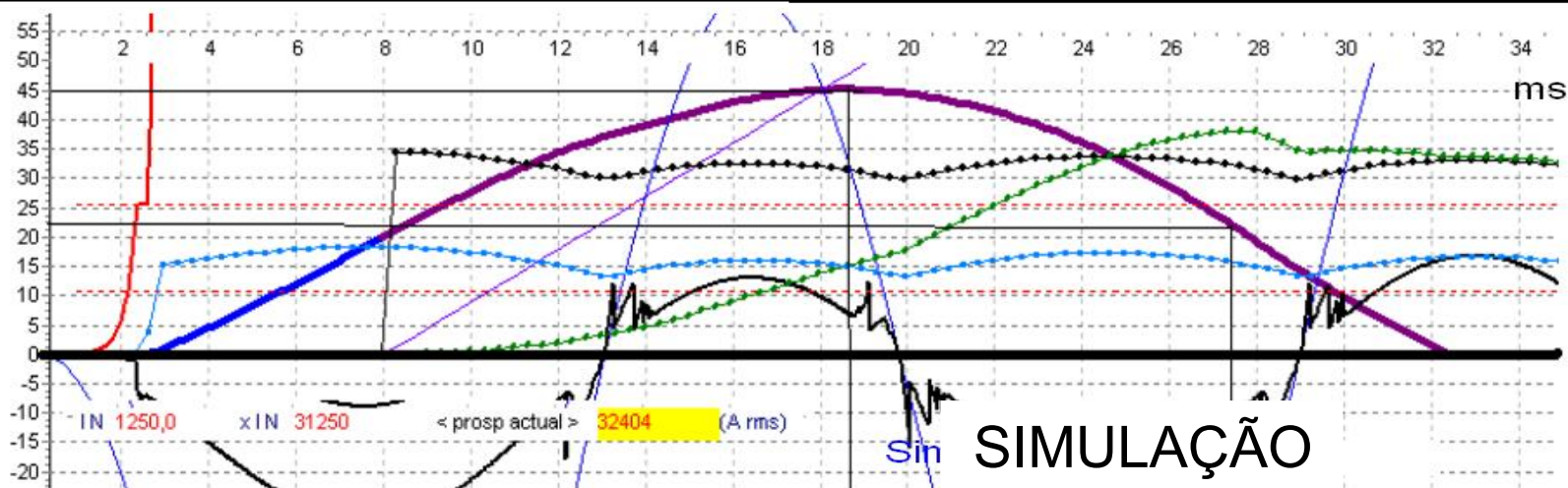
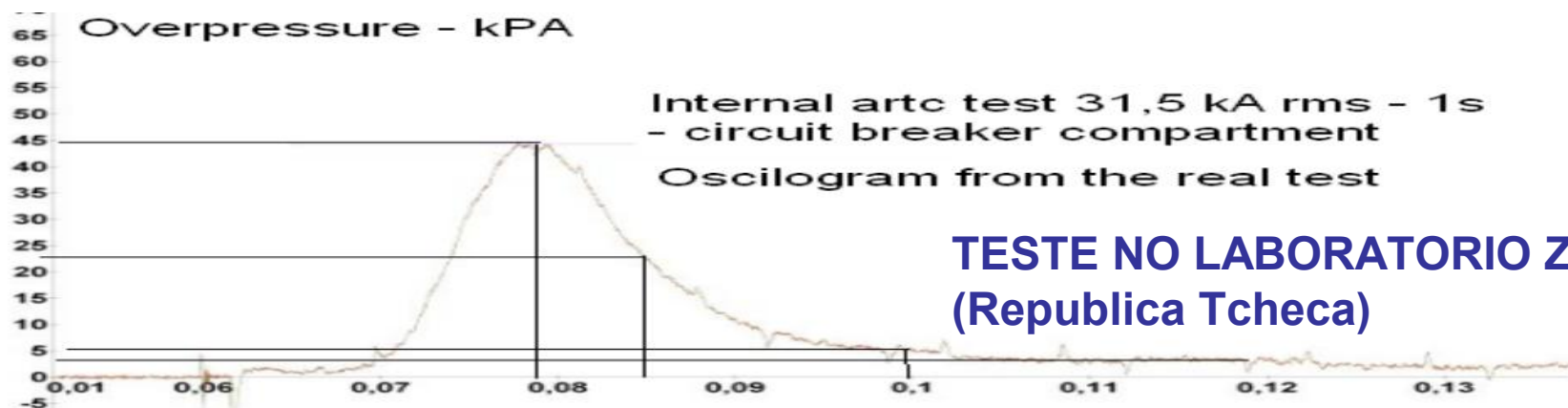
ENSAIOS DE ARCO INTERNO

- Simulação do ensaio é possível (trabalho do WG A3-24 do Cigré)
- Verificar efeitos das sobrepressões durante o arco e possibilidade de pessoas serem atingidas por gases quentes ou objetos / partículas sólidas.
- Curva sobrepressão x tempo é determinante para bom ou mau resultado mas as normas IEC / ABNT não pedem para medi-la (muitos lab's medem).





SOBREPRESSÃO x TEMPO (teste x simulação)





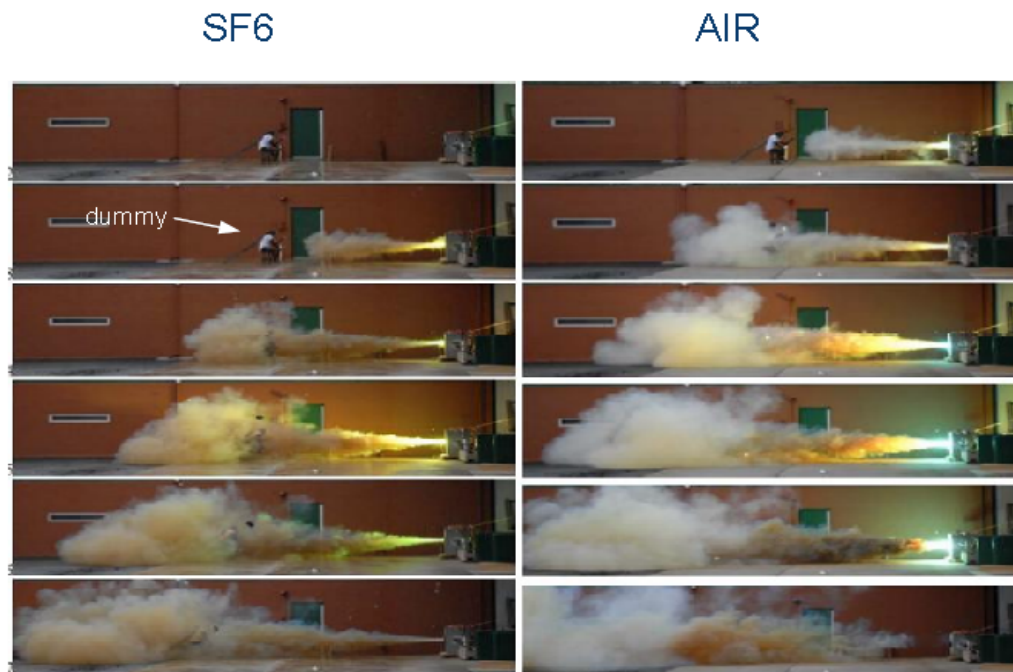
CIGRÉ WG A3. 24 :

Tools for Simulating Internal Arc and Current Withstand Testing

- Uso de simulações para prever os resultados de ensaios em equipamentos isolados a SF₆ a partir de ensaios feitos substituindo o SF₆ por ar.

- Motivo: banir, por razões ambientais, ensaios em que o SF₆ seja liberado para o ambiente

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



Será publicada uma “brochure” CIGRÉ em 2012



CIGRÉ WG A3. 24 : Tools for Simulating Internal Arc and Current Withstand Testing

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

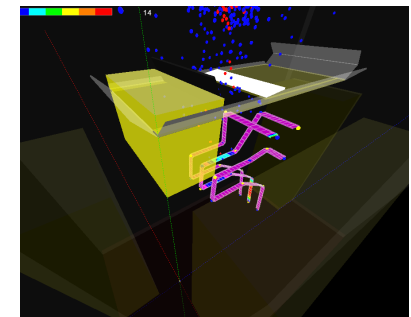
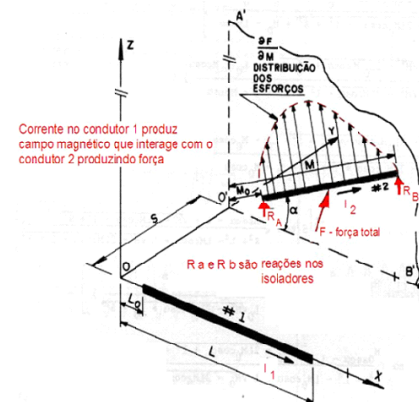
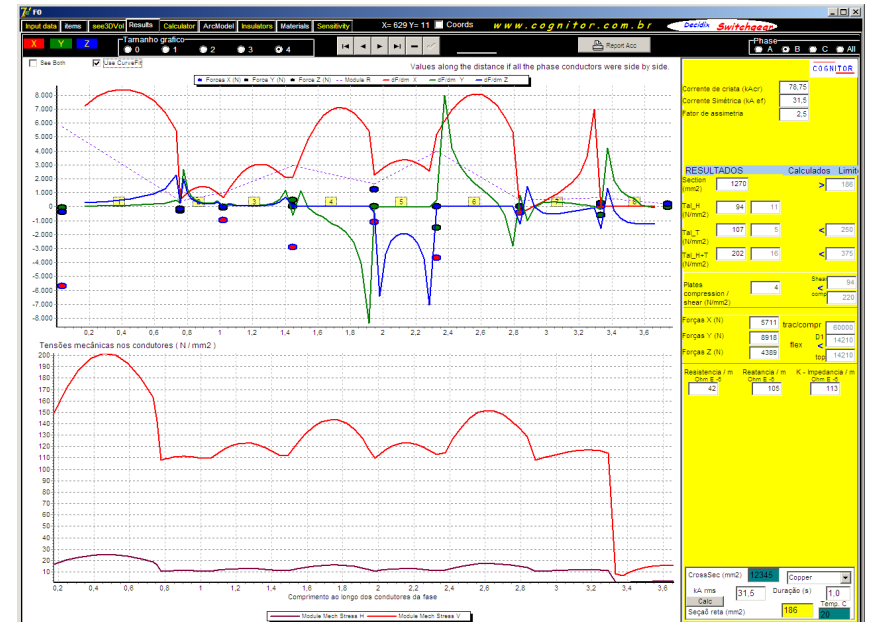
Montreal Maio 2011

Viena Setembro 2011



ENSAIOS DE CORRENTES SUPORTÁVEIS DE CURTA DURAÇÃO E DE CRISTA

- Verificar suportabilidade dos isoladores e condutores aos efeitos das forças eletrodinâmicas que ocorrem no curto-circuito.
- Calcular forças e tensões mecânicas não é tão difícil, mas medi-las é muito difícil e oneroso.
- Métodos de cálculo usados há muito tempo e bem aceitos no meio técnico.
- Método usado no projeto dos laboratórios do CEPEL 300 KA.





ENSAIOS DE INTERRUPÇÃO EM CURTO CIRCUITO

- Mais difíceis de simular para disjuntores
- Não fazem parte da ideia geral do “Guia”
- No caso de fusíveis expulsão e limitadores há boas possibilidades
- **Revisão NBR 7282 (abril 2011)** contempla todos os princípios aqui expostos sobre o que deve ser medido nos ensaios e registrado para a boa identificação do que foi testado.



USO DE SIMULAÇÕES EM NORMAS TÉCNICAS

- Dificuldades de validar métodos de simulação ocorrem porque certas medições (fáceis) , realizáveis durante os ensaios de laboratório não são especificadas nas normas IEC / ABNT
- Há falta de informações confiáveis para comparação entre resultados de ensaios e resultados de simulações.
- Preparada proposta completa de Guia para fornecer orientações para a sistematização do 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 ESTÁ SOB ANÁLISE

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

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

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.



Workshop – Superação de Disjuntores por Tensão de Restabelecimento Transitória (TRT)

03 e 04 de agosto de 2011 - Auditório do CEPTEL - Rio de Janeiro, RJ



PROPOSTA ENVIADA AO COBEI / ABNT EM ABRIL DE 2011

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.



PROPOSTA ENVIADA AO COBEI / ABNT EM ABRIL DE 2011

- Uso de simulações para substituir ensaios só é possível quando certas medições e registros são especificadas nas normas de produtos e estão disponíveis no relatório de ensaios.
- Guia descreve as medições mínimas e registros fotográficos, que devem ser feitos e registrados em relatórios de ensaios de laboratório.
- Estas medições e registros fazem com que o ensaio seja reproduzível e seu relatório útil para o posterior uso em simulações.
- Estas medições e registros também ajudam os usuários a identificar se um produto comercializado é semelhante ao que foi efetivamente ensaiado em laboratório.



PROPOSTA ENVIADA AO COBEI / ABNT EM ABRIL DE 2011

- Guia apresenta exemplos de dados de entrada e respectivos resultados utilizáveis como calibração para demonstrar que um certo modelo de simulação é aceitável para a extrapolação dos resultados do ensaio de laboratório.

- Não é objetivo deste Guia apresentar métodos de cálculo para a simulação do ensaio.

- Considera-se que método é aceitável quando ele produz resultados que podem ser validados dentro das tolerâncias aceitáveis e a validação pode ser demonstrada de forma objetiva e transparente.



PROPOSTA ENVIADA AO COBEI / ABNT EM ABRIL DE 2011

- Embora os conceitos apresentados sejam aplicáveis a qualquer equipamento elétrico, no estágio atual, as aplicações mais visíveis são nos seguintes equipamentos :

- Painéis e quadros, barramentos e dutos blindados, disjuntores, seccionadores, chaves, religadores automáticos, fusíveis e transformadores.



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%



Informações que devem ser registradas 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)



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



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.



Exemplos de resultados e dados de entrada utilizáveis como calibração ou referência para validar um modelo de simulação

Tabela 3 – Resultados do ensaio de arco interno e das simulações.

Parâmetros	Resultado do ensaio	Resultado da simulação
Corrente simétrica ou assimétrica	Assimétrica	
Tensão de arco (V ef)	530	567
Máxima sobrepressão acima de 1 bar ΔP (%)	52	52
Duração da sobrepressão (ms)	42	45
Integral da curva de sobrepressão no tempo (bar*s*1000)	(*)	13
Tempo para 100% do pico da sobrepressão ΔP (ms)	18	21
Tempo para 50% do pico da sobrepressão ΔP (ms)	24~26	36



Workshop – Superação de Disjuntores por Tensão de Restabelecimento Transitória (TRT)

03 e 04 de agosto de 2011 - Auditório do CEPEL - Rio de Janeiro, RJ



Artigos sobre o assunto em Português

Download em www.cognitor.com.br

1) *PAINÉIS , QUADROS E BARRAMENTOS: FALTA ALGO NAS NORMAS IEC E NAS ESPECIFICAÇÕES DE USUARIOS*

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

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

2) *VALIDAÇÃO DE SIMULAÇÕES DE ENSAIOS DE ARCO INTERNO, DE FORÇAS ELETRODINÂMICAS E DE ELEVAÇÃO DE TEMPERATURA (e partes do código-fonte) .*

Publicado na edição de junho 2010 da Revista ELETRICIDADE MODERNA - pag.194

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

Artigos em Inglês

3) *VALIDATION OF SIMULATIONS OF ELECTRODYNAMICAL FORCES, TEMPERATURE-RISE AND INTERNAL ARC TESTS IN SWITCHGEAR (and main parts of a code to do them)*

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

Presented at the CIGRE Technical Seminar "Modelling and Testing of T&D Switchgear" March 24, 2010 Brisbane - Australia

4) *SIMULATION, IEC STANDARDS AND TESTING LABORATORIES: JOINING PIECES*

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

5) *CFD, IEC STANDARDS AND TESTING LABORATORIES: JOINING THE PIECES FOR HIGHER QUALITY HV EQUIPMENT.* (.Paper PS1-06 in the Cigre International Technical Colloquium - Rio de Janeiro – Sept. 2007)

6) *SIMULATIONS AND CALCULATIONS AS VERIFICATION TOOLS FOR DESIGN & PERFORMANCE OF HV EQUIPMENT* Co-authors: M. Kriegel, X. Zhu, M. Glinkowski, A. Grund, H.K. Kim, P. Robin-Jouan, L. Van der Sluis, R.P.P. Smeets, T. Uchii, H. Digard, D. Yoshida, S. Feitoza Costa
CIGRE WG A3-20 publication A3-210 (2008) - Presented at the Congress Cigre - Paris 2008

Artigos em Espanhol

7) *CELDA, CUADROS, CANALIZACIONES Y OTROS EQUIPOS DE TRANSMISION Y DISTRIBUCION: FALTA ALGO EN LAS NORMAS IEC Y EN LAS ESPECIFICACIONES DE USUARIOS*

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

Publicado na Revista RBE Energia - Edição de Jan/Fev 2010 - pag 62 - http://www.cognitor.com.br/RBE_Energia.zip



- Aguardando análise da ABNT / COBEI
- Já há 30 empresas interessadas em participar de uma comissão de estudos (se vier a ser criada) principalmente fabricantes de pequeno e médio portes.
- Em outubro seminário para explicar melhor a ideia
- Artigo a ser publicado em outubro
- Divulgação também em organismos de normalização de países onde não há laboratórios (ideia evolui mais rápido pois percebem melhor a necessidade)



**Workshop – Superação de Disjuntores por Tensão de
Restabelecimento Transitória (TRT)**

03 e 04 de agosto de 2011 - Auditório do CEPEL - Rio de Janeiro, RJ



Muito obrigado pela atenção !

Para contatos:

Sérgio Feitoza Costa

Cognitor - Consultoria , Pesquisa Tecnológica e Treinamento Ltda

Telefone: (0xx-21) 2465 3689 -- 3393 4600 – 8887 4600

E-mail: sergiofeitoza@cognitor.com.br

Site <http://www.cognitor.com.br>