

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

Autor:  
**Sergio Feitoza Costa**

Empresa:  
COGNITOR – Consultoria, P&D e Treinamento Ltda.

Email: [sergiofeitoza@cognitor.com.br](mailto:sergiofeitoza@cognitor.com.br) Site : [www.cognitor.com.br](http://www.cognitor.com.br)

**Palavras chave:** Normas ABNT e IEC, Ensaios, Certificação, Simulações, Painéis, Quadros, Barramentos, Laboratório, Alta Potencia, Testes,, Arco Interno, Forças Eletrodinâmicas, Elevação de temperatura, Correntes de curta duração e de crista, IEC 61439

## 1) INTRODUÇÃO

O que é melhor para países que tem uma indústria para fabricação de equipamentos para subestações, mas não dispõe de laboratórios de ensaios para testá-los. Utilizar simulações ou não fazer nada? O uso organizado de simulações de ensaios é uma solução possível, realista e cada vez mais aceita no meio técnico.

Há poucos anos atrás começaram a crescer as compras em lojas virtuais pela Internet e dizia-se que isto não ia a frente porque não se podia ver o produto e era inseguro. Hoje cada vez mais gente faz compras ou transações bancárias pela Internet. Os produtos são mais baratos, as compras mais rápidas e os problemas que acontecem são resolvidos à medida que os regulamentos são aperfeiçoados pela experiência do uso.

Em 2007 este autor apresentou o artigo “Simulation, IEC Standards and Testing Laboratories: Joining the pieces for higher quality high voltage equipment” no “CIGRÉ International Technical Colloquium”. As reações iniciais à ideia de substituir testes de laboratório por simulações foram parecidas com as das lojas virtuais. Estou convencido de que as simulações de ensaios serão em breve a referência e não a excessão.

Afirmo isto com a experiência de quem, ao longo de 25 anos, ajudou a projetar, construir, operar e gerenciar os principais laboratórios de ensaios brasileiros. Durante muitos anos defendi que ensaios não podem ser substituídos por simulações. Mudei de ideia após validar simulações e perceber que muitos ensaios podem ser substituídos e com vantagens. Há laboratórios internacionais se preparando para isto.

Substituir ensaios por cálculos ou simulações não é ideia nova. Ela é aplicada há décadas em normas como a IEC 60076 - Transformadores de Potência (ensaio de curto-circuito) e na IEC 61439 (painéis de baixa tensão) que desde 2009 substituiu a IEC 60439 e eliminou os antigos termos TTA / PTTA..

A IEC 61439 é a mais avançada norma mundial no uso de conceitos inovadores. Ela dá um passo à frente na substituição de ensaios por simulações e vai ainda mais longe com as chamadas “regras de projeto”. O conceito é que equipamentos similares a outros já testados não precisam passar por ensaios e nem mesmo por cálculos. A norma permite formalmente a não realização de ensaios e dispensa, dentro de certas condições, até mesmo cálculos e simulações. O TTA / PTTA foi substituído por algo muito mais amplo.

Usa-se simulações também se os equipamentos excedem a capacidade de ensaios dos laboratórios (p.ex. disjuntores 1100 kV) e já há trabalho em curso na IEC para aplicar princípios semelhantes aos da IEC 61439 para estender a validade de ensaios de tipo em painéis de alta tensão (WG 31 / SC 17C ).

Evitar realizar ensaios, dentro das regras do bom senso, economiza recursos da sociedade e leva a produtos de menor custo. As simulações são também um caminho para competir com chineses e outros asiáticos. Estes últimos, aliás, se prepararam bem com laboratórios de ensaios mais novos e produtivos que os daqui. Basta comparar o tempo de espera e quanto custa ensaiar um equipamento na Coreia do

**COGNITOR** - Consultoria Pesquisa Tecnológica e Treinamento Ltda

Tel: 21-2465 3689 ou 21 33934600 ou 021-8887 4600

E-mail: [sergiofeitoza@cognitor.com.br](mailto:sergiofeitoza@cognitor.com.br) Site: [www.cognitor.com.br](http://www.cognitor.com.br)

Sul ou na China, mesmo com o custo do transporte. Países sul-americanos têm muito a ganhar com as simulações e com conceitos como os da IEC 61439.

A maior parte das normas nacionais sempre foi defasada no tempo das normas IEC. É usual no Brasil esperar a publicação das normas IEC para 2 a 3 anos depois começar a traduzi-las como norma nacional. O resultado é que ao ser publicada a “nova” norma nacional, está saindo a revisão seguinte da norma IEC. No caso deste “GUIA” a ideia é gerar uma norma nacional I e depois propô-la à IEC.

A maior parte das normas IEC foi criada há décadas sob a visão de “tudo deve ser testado”. Isto tem a ver com o fato que os mais assíduos participantes das reuniões em que são feitas as normas IEC são os grandes fabricantes internacionais. Estes tiveram a visão, o mérito e recursos para construir, no passado, laboratórios próprios para desenvolver seus produtos. É improvável que quem dispõe de laboratórios próprios no Exterior e produtos já testados venha a impulsionar alternativas acessíveis aos pequenos e médios fabricantes tais como as simulações ou regras de projeto. Portanto os pequenos e médios fabricantes é que devem procurar agir para criar um Guia como o proposto aqui

O acesso aos laboratórios na América do Sul é a maior barreira à qualificação de produtos. No Brasil havia uma boa estrutura de laboratórios para dar suporte a indústria elétrica. Esta funcionou bem por uns 20 anos e depois estagnou em termos de capacidade de atendimento. Há iniciativas em curso para aumentar a capacidade laboratorial brasileira porem os resultados devem chegar daqui a 3 a 4 anos.

Aqui entra o tema principal deste artigo que é a proposta de um Guia para uso de simulações que busca, entre outros objetivos, amenizar a carência de laboratórios de ensaios..

## **2) GUIA PARA USO DE SIMULAÇÕES PARA SUBSTITUIR ALGUNS ENSAIOS DE ALTA POTÊNCIA ESPECIFICADOS NAS NORMAS ABNT**

O caminho para o uso sistemático de simulações é através de um “Guia” com o formato das “normas horizontais” da IEC. O texto a seguir é sugestão completa de “GUIA” que foi preparada pelo autor e enviada ao CB-3 (Eletricidade) da ABNT / COBEI em abril de 2011.

Para que o assunto avance é necessária a avaliação do CB-3 sobre se considera o assunto relevante para as normas brasileiras e, se considerar, criar uma comissão de estudos para elaborar o GUIA. A proposta foi enviada com o apoio de mais de 20 empresas que querem participar das reuniões da comissão de estudos. Incluem-se além de 15 fabricantes de equipamentos de altas e baixas tensões, principalmente painéis, também laboratórios de ensaios, certificadora, concessionarias de energia e grandes usuários. Após aquele momento cresceu também o interesse de concessionarias de energia elétrica que analisam inclusive a possibilidade de inclusão deste tipo de abertura em suas especificações de compra.

A proposta completa está também sendo enviada como sugestão a comitês de normalização em outros países e pode ser lida em [http://www.cognitor.com.br/Proposta\\_Guia\\_ABNT.htm](http://www.cognitor.com.br/Proposta_Guia_ABNT.htm) Um resumo do Guia proposto está descrito a seguir e sugestões para melhoramentos são bem vindas.

### **2.1) PREFACIO (do Guia)**

Ensaio de tipo em laboratório são, quase sempre, a forma mais eficaz para verificar se um determinado produto atende às especificações da norma técnica relevante. Entretanto, ensaios, de alta potencia elétrica tais como os de arco interno, elevação de temperatura e de correntes suportáveis de curta duração e de crista são onerosos e demandam longo tempo de preparação.

Técnicas de simulação de ensaios são usadas para prever resultados de alguns tipos de ensaios e permitem a obtenção de informações mais completas do que as que podem ser obtidas no laboratório. As simulações podem ser aplicadas em situações diversas, como:

- (a) para evitar ensaios em um equipamento de características próximas a outro já testado
- (b) para evitar a repetição de ensaios em processos de certificação de produtos, quando são feitas pequenas modificações em um produto já certificado.

(c) para substituir o SF<sub>6</sub> por ar em ensaios de arco interno com benefícios ambientais.

Dentro de certos limites a simulação pode ser usada para extrapolar os resultados de um ensaio de laboratório já feito em certo equipamento para outro equipamento, com semelhanças, mas que não foi testado. Isto pode ser feito de maneira mais fácil ou mais complexa dependendo do tipo de ensaio.

Para ensaios de elevação de temperatura a simulação é simples de executar e validar. Mesmo com os métodos simplificados pode-se obter valores calculados muito próximos aos obtidos nos ensaios.

Para ensaios de arco interno em painéis, barramentos e outros equipamentos a tarefa é mais complexa, mas possível. O que deve ser verificado são os efeitos das sobrepressões que ocorrem durante o arco e a possibilidade de pessoas nas imediações do equipamento ser atingidas por gases quentes ou partículas sólidas. A curva sobrepressão x tempo é o agente determinante para o bom ou mau resultado no ensaio.

Nos ensaios de correntes suportáveis de curta duração e de crista verifica-se a suportabilidade dos isoladores e condutores aos efeitos das forças eletrodinâmicas que ocorrem durante um curto-circuito. Calcular as forças e tensões mecânicas não é uma tarefa tão complexa, mas medi-las é difícil. Não obstante os métodos de cálculo são usados há décadas e bem aceitos no mundo técnico.

A única dificuldade para validar métodos de simulação de ensaios ocorre porque medições importantes e simples inexplicavelmente não são pedidas nas normas IEC e ABNT. Faltam, portanto informações confiáveis para comparação. A maior parte dos laboratórios não mede o que não é pedido nas normas técnicas, mesmo que seja simples de fazê-lo. Alguns o fazem grátis quando é pedido antes.

O objetivo deste Guia é fornecer orientações para a sistematização do uso de simulações e cálculos, no âmbito das normas ABNT, utilizáveis para substituir alguns ensaios de laboratório em situações em que o senso comum mostra ser razoável fazê-lo. São indicados os parâmetros que devem ser registrados nos ensaios de laboratório para permitir a futura utilização de simulações na extrapolação dos resultados dos ensaios. O Guia também indica valores típicos de tolerâncias aceitáveis para os valores calculados quando comparados com os resultados do ensaio em laboratório.

## **2.2) ESCOPO ( do Guia)**

O Guia apresenta orientações ao uso de simulações e cálculos na substituição de ensaios de laboratório em situações específicas. O caso mais comum é na extrapolação de resultados de ensaios já realizados em certo equipamento, para prever os resultados do mesmo ensaio em outro equipamento com características próximas ao já testado, mas que não foi testado.

O uso de simulações para substituir ensaios só é possível quando certas medições e registros são especificadas nas normas de produtos e, por isto, estão disponíveis no relatório de ensaios. Este Guia descreve as medições mínimas e registros fotográficos, que devem ser feitos e registrados em relatórios de ensaios emitidos por laboratórios. Estes são de realização simples.

Estas informações além de tornar o ensaio reproduzível permitem o posterior uso do relatório em simulações além de ajudar os usuários a identificar se o produto comercializado é semelhante ao que foi efetivamente ensaiado em laboratório. São mostrados exemplos de dados de entrada e resultados utilizáveis como calibração para demonstrar se a simulação é aceitável ou não.

Não é um objetivo deste Guia apresentar métodos de cálculo para a simulação do ensaio. Considera-se que um modelo ou método é aceitável quando ele produz resultados que podem ser validados dentro de tolerâncias aceitáveis e, além disto, a validação possa ser demonstrada de forma objetiva e transparente aos usuários.

Embora estes conceitos sejam aplicáveis a qualquer equipamento elétrico as aplicações mais visíveis são nos seguintes equipamentos de altas e baixas tensões: painéis e quadros, barramentos e dutos blindados, disjuntores, seccionadores, chaves, religadores automáticos, fusíveis e transformadores.

## 2.3) DEFINIÇÕES ( do Guia)

2.3.1 – Simulação ou cálculo para substituir um ensaio e tolerâncias aceitáveis.

Um método utilizado para prever, dentro de certa tolerância, os resultados que ocorreriam no ensaio de laboratório especificado na norma do produto. Valores de tolerâncias aceitáveis dos resultados obtidos nas simulações, quando comparados com os resultados do ensaio de laboratório, são:

Tipo de ensaio	Parâmetro a comparar	Valores típicos de tolerâncias aceitáveis
Ensaio de elevação de temperatura	Elevações de temperaturas nas partes sólidas e fluidas	1% a 5%
Ensaio de arco interno	Sobrepessão 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%

2.3.2 – Norma de produto

Norma cobrindo um produto específico ou um grupo de produtos relacionados, por exemplo a NBR IEC 62271-200 (painéis de média tensão) ou a serie IEC 61439.

2.3.3 – Reprodutibilidade de método de simulação ou cálculo ou de um ensaio

A capacidade de obter, para um determinado conjunto de dados de entrada, os mesmos resultados do ensaio ou das simulações em ocasiões diferentes ou em laboratórios diferentes.

2.3.4 – Validação de uma simulação ou método de calculo.

Método de comparação entre os resultados mostrados em um bem documentado relatório de ensaios emitido por um laboratório de ensaios e os resultados das simulações. O método é aceitável, do ponto de vista dos usuários, quando é reprodutível e apresenta diferença não superior a uma tolerância aceitável em relação aos resultados do ensaio em laboratório

2.3.5 – Dados a registrar em relatórios de ensaios de elevação de temperatura.

O equipamento é aprovado no ensaio se a elevação de temperatura de suas partes não ultrapassa certos limites ditados pelas propriedades dos materiais condutores, materiais isolantes, fluidos e partes acessíveis. Os documentos IEC TR 60943 e IEC 60890 são úteis para entender os conceitos envolvidos.

Os dados a registrar nos relatórios através de textos, fotografias e desenhos são:

- A corrente elétrica circulante e a dissipação total de potência no interior do compartimento de fluido
- A resistência total por fase e a das resistências principais que a compõe, tais como as de contatos de disjuntores e seccionadores
- Os materiais utilizados nos condutores e partes isolantes e as resistências de contato (total por fase e também as das partes individuais, como disjuntores, fusíveis, isoladores)
- Os tipos de revestimentos de contatos e condutores inclusive a pintura.
- O fluido que envolve os equipamentos dentro de um compartimento e sua temperatura (por exemplo, no fundo, no topo e a 50% da altura do invólucro), Inclui-se o volume do fluido.
- A velocidade de circulação do fluido e as áreas de entrada e saída para ventilação assim como a existência de dispositivos que as fechem no momento de um arco interno
- O número de partições horizontais no interior do compartimento e posição relativa dos equipamentos em relação às paredes, teto e equipamentos vizinhos (tal como apresentado no IEC 60890)

2.3.6 – Dados a registrar em relatórios de ensaios de arco interno

O equipamento é aprovado no ensaio se os efeitos da sobrepressão durante o arco não causam riscos potenciais para as pessoas nas proximidades. Os aspectos a considerar são mostrados na norma relevante, p.ex., a. NBR/ IEC 62271-200 ou a IEC TR 61641.

A curva sobrepressão x tempo é determinante para o bom ou mau desempenho no ensaio e deve ser registrada. Os dados que afetam o teste e os resultados das simulações são

- A corrente elétrica circulante e os materiais dos condutores e partes isolantes
- O fluido que envolve os equipamentos dentro de um compartimento e seu volume.
- A posição e geometria espacial dos condutores e a área dos dispositivos de alívio de sobrepressão e sua velocidade de abertura.
- Áreas de entrada e saída para ventilação e dispositivos que as fechem no momento de um arco interno
- A posição relativa dos equipamentos em relação às paredes e teto.

### 2.3.7 – Dados a registrar nos relatórios de ensaios de correntes suportáveis de curta duração e de crista.

O objetivo é verificar a suportabilidade aos efeitos das forças eletrodinâmicas em isoladores e condutores que ocorrem durante um curto-circuito sem arco. A verificação é feita por inspeção visual e pela medição das resistências elétricas por fase. Os dados a registrar são

- A corrente elétrica circulante e materiais utilizados nos condutores e partes isolantes
- A resistência mecânica a esforços de tração, compressão e flexão dos isoladores suporte e similares
- A posição e geometria espacial dos condutores assim como as resistências elétricas principais
- Se forem identificadas deformações permanentes de barramentos e outras partes estas devem ser registradas por fotos e suas dimensões máximas estimadas e registradas nos relatórios de ensaios.

## 2.4) PROCEDIMENTOS DE TRABALHO

Ao lidar com o uso de simulações ou cálculos para a substituição de ensaios de laboratório especificados em normas de produtos, as comissões de estudos devem seguir as disposições deste Guia, que é para ser usado em conjunto com as Diretivas ABNT/ ISO / IEC.

O estado da arte dos métodos de simulação e os valores aceitáveis de tolerâncias devem ser reavaliados durante o processo de manutenção das normas.

Comissões de estudos desenvolvendo normas de produtos, tratando de assuntos cobertos por este Guia, devem incorporar este Guia em suas próprias publicações.

### 1) COMENTARIOS FINAIS

Esta ideia original foi enviada ao CB-3 da ABNT em abril de 2011 com o apoio um numero muito significativo empresas, em sua maioria fabricantes de painéis elétricos. Com a divulgação do tema cresce o interesse das concessionarias de energia elétrica em avaliar se há um espaço para o uso da ideia em especificações de compra. A ideia está sendo também enviada como sugestão, a outras entidades de normalização em países da América do Sul e de outras partes do Mundo.

A resposta da análise preliminar recebida da ABNT em agosto mostra que, talvez pelo ineditismo do tema, o teor da proposta precisa ser melhor compreendido. A entidade sugeriu que a proposta fosse encaminhada no âmbito do CB-21 da ABNT– Computadores e Processamento de Dados. O CB21 da ABNT não lida com especificações e ensaios em equipamentos elétricos para subestações que são do escopo do ABNT/CB-03 – Eletricidade. O autor enviou ao CB3 / ABNT em outubro p.p. uma nova solicitação para análise da proposta.

Neste sentido, este texto busca fornecer mais informações para a avaliação por comitês de normalização, da relevância da proposta de nova norma.