

Capítulo VII

Distâncias de segurança de subestações e sistemas de proteção contra incêndios em subestações

Por Sérgio Feitoza Costa*

Este fascículo vem apresentando conceitos de engenharia para projeto e especificação de equipamentos de subestações de transmissão e distribuição. O primeiro artigo desta série cobriu aspectos de estudos do sistema elétrico que servem de base para as especificações técnicas dos equipamentos. O segundo cobriu conceitos sobre curtos-circuitos, ampacidades, sobrecargas e contatos elétricos. O terceiro abordou o tema “técnicas de ensaios de alta potência, laboratórios de ensaios e principais ensaios”. No quarto capítulo, falou-se sobre os estudos elétricos de sobretensões, coordenação de isolamento e

impactos de campos elétricos e magnéticos. No quinto capítulo, o tema abordado foi a recente brochura Cigré 602, sobre simulação de arcos, e no anterior, discutimos as especificações técnicas de disjuntores, seccionadores, painéis e para-raios feitas por concessionárias de energia. A seguir, trataremos das distâncias de segurança de subestações e dos sistemas de proteção contra incêndios em subestações.

DISTÂNCIAS DIELÉTRICAS DE SEGURANÇA

No projeto e na operação de subesta-

ções, há diferentes tipos de distâncias de segurança a observar. A primeira delas refere-se às chamadas “distâncias dielétricas”. Estas são as distâncias mínimas de projeto necessárias para que, nas partes vivas da subestação energizada, não aconteçam descargas dielétricas entre estas e outros equipamentos, partes vizinhas ou mesmo pessoas. Exemplos destas distâncias de segurança a serem utilizadas em novos projetos são as especificadas na norma IEC 61936-1 – Power Installations Exceeding 1 kV AC – Part 1 – Common Rules. Alguns exemplos podem ser vistos na Tabela 1 a seguir.

TABELA 1 – DISTÂNCIAS MÍNIMAS NO AR – TENSÕES NOMINAIS ($1 \text{ kV} < U_m \leq 245 \text{ kV}$)

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 Nc	
Un eficaz	Um 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	185b	450b	900	
		230	550	1.100	
		275	650	1.300	
220	245	275b	650b	1.300	
		325b	750b	1.500	
		360	850	1.700	
		395	950	1.900	
		460	1.050	2.100	

O conceito atrás destes valores é que, se uma subestação é projetada utilizando a Tabela 1, ela não precisaria ser “testada” do ponto de vista dos ensaios dielétricos de tensão aplicada CA e tensão suportável de impulso. Não é incomum encontrar subestações mais antigas com distâncias menores que estas e funcionando muito bem. Estes valores vão, ao longo do tempo, sendo aperfeiçoados nas normas com base na experiência que vai sendo adquirida e mesmo em padrões de segurança mais severos para evitar descargas e acidentes.

DISTÂNCIAS MAGNÉTICAS DE SEGURANÇA

O segundo tipo de distância diz respeito às distâncias magnéticas de segurança. Os campos magnéticos produzidos por correntes permanentes mais elevadas ou pela existência de reatores próximos podem causar impactos sobre pessoas e instalações, assim como afetar aspectos

da compatibilidade magnética de equipamentos e sistemas de subestação.

Os campos magnéticos diminuem com o aumento da distância à fonte que o produz (ver Figura 1). Se ficarem acima de certos níveis, podem ser prejudiciais às pessoas (saúde) e às instalações (aquecimentos indevidos).

No que diz respeito aos impactos à saúde, há regulamentos para o nível máximo do campo magnético a que as pessoas podem ser expostas. O nível de exposição depende do tipo de atividade da pessoa – trabalhadores (exposição ocupacional) ou público em geral. O nível de exposição permitido para o público em geral é menor

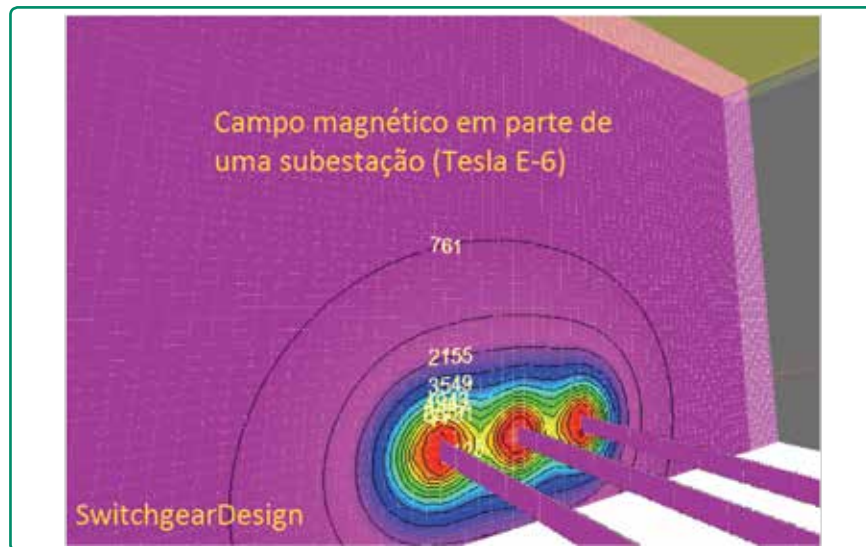


Figura 1 – Campo magnético em uma subestação.

que o permitido para trabalhadores. O motivo disso é se tratar de pessoas leigas que podem permanecer expostas uma tempo maior por não ter conhecimento dos impactos. Os regulamentos da Agência Nacional de Energia Elétrica (Aneel) indicam os seguintes níveis máximos permitidos de exposição em 60 Hz:

- Trabalhadores: 1.000 uT
- Público em geral: 200 uT

“Público em geral” é, por exemplo, uma pessoa que passa ou para na rua ao lado da parede de uma grande subestação urbana. Outro exemplo são pessoas cuja janela de seus apartamentos está próxima de um transformador de distribuição ou de cabos da rede elétrica, como foi mostrado em uma foto do primeiro capítulo desta série. De forma geral, “trabalhadores” dentro deste enfoque são as pessoas não leigas que trabalham na subestação.

No que diz respeito aos impactos sobre as instalações, os principais são os

aquecimentos indesejados. Os campos magnéticos causam dois tipos de efeitos que podem produzir aquecimentos. O primeiro é a geração de tensões induzidas em circuitos metálicos que contenham espiras. Se estes circuitos forem fechados eletricamente, circularão correntes elétricas que, dependendo do valor da tensão induzida, produzirão aquecimentos. Exemplos destes circuitos fechados são os ferros da armação de concreto em um piso ou em um pilar. O campo produzirá uma tensão que fará circular uma corrente elétrica pelo circuito fechado formado pelos vergalhões que serão então aquecidos.

O segundo efeito ocorre se houver na região do campo magnético uma chapa metálica ou, por exemplo, um parafuso de ferro. O campo produz correntes parasitas (eddy currents), que aquecem as partes metálicas. É o mesmo princípio usado nos sistemas industriais de aquecimento por indução para, por exemplo, aquecer ou recozer grandes perfis de aço.

Para evitar o primeiro efeito, podem-se utilizar artifícios, como abrir o caminho elétrico em um ponto. O segundo efeito pode ser apenas minimizado utilizando-se materiais não magnéticos como o alumínio e alguns tipos de aço inox (apenas os da série 300). Em instalações em que há reatores a núcleo de ar muito próximos de áreas sensíveis, deve-se evitar o uso de estruturas suporte de ferro. Dependendo das características da instalação podem ser necessários cuidados especiais com a malha de terra e materiais de caixas metálicas e de medição.

ASPECTOS LIGADOS A INCÊNDIOS E EXPLOSÕES EM TRANSFORMADORES E OUTROS EQUIPAMENTOS

A já mencionada norma IEC 61936 estabelece uma série de procedimentos e distâncias que devem ser atendidas, por exemplo, entre transformadores isolados a óleo mineral e paredes ou construções. O objetivo destas distâncias está ligado

aos impactos causados pelo fogo e, em menor grau, à eventual explosão de um equipamento, por exemplo, um para-raios com invólucro de porcelana.

Incêndios e explosões em transformadores, reatores e outros equipamentos são sempre motivo de grande preocupação devido aos impactos em pessoas e instalações. Estes eventos são muito mais frequentes do que o público em geral percebe. Quando acontecem quase não são divulgados.

Não existem normas IEC sobre sistemas de prevenção contra incêndios e explosões em equipamentos de subestações. As normas IEC sobre transformadores de potência não tratam da questão de curtos-circuitos internos e suportabilidade a explosões.

Este é um ponto fraco e uma barreira ao desenvolvimento, utilização e comercialização de produtos de prevenção contra incêndios e explosões em subestações. É a maior causa de existir tão

poucos produtos disponíveis neste campo. Não existir uma norma internacional implica não se ter ensaios relevantes para verificar a eficácia destes produtos.

Há muitos anos, existem normas que se aplicam a este tema no Brasil. No ano 2000, o autor deste artigo propôs à ABNT a revisão de uma destas normas sobre sistemas de proteção contra incêndio em transformadores e reatores de potência, por despressurização. A ABNT aceitou a proposição e sugeriu que o grupo de trabalho revisasse e atualizasse as normas:

- ABNT NBR 13231 – Proteção contra incêndio em subestações elétricas convencionais, atendidas e não atendidas, de sistemas de transmissão – Procedimento;
- ABNT NBR 8222 – Execução de sistemas de proteção contra incêndio em transformadores e reatores de potência, por despressurização, drenagem e agitação do óleo isolante;
- ABNT NBR 8674 – Execução de sistemas

fixos automáticos de proteção contra incêndio com água nebulizada para transformadores e reatores de potência;

- ABNT NBR 12232 – Execução dos sistemas fixos automáticos de proteção contra incêndio com gás carbônico, por inundação total para transformadores e reatores de potência contendo óleo isolante.

O autor coordenou esta revisão no âmbito da ABNT. As reuniões envolveram 47 participantes de 21 empresas. Estes números mostram uma boa representatividade para as quatro normas que foram publicadas em 2005. Naquela ocasião, além da revisão das normas brasileiras, foi preparada uma proposta de uma nova norma IEC – International Electrotechnical Commission a ser encaminhada àquela instituição com base nas novas normas brasileiras.

O processo de propor uma nova norma à IEC é menos complicado do que parece. O autor teve uma experiência em 1989, quando coordenava grupos no COBEI / ABNT e

coordenava o Technical Committee 32 da IEC (Fuses). Fizemos proposta semelhante à IEC na área de fusíveis de alta tensão. Naquela ocasião, a proposta foi aceita pela IEC. A revisão da norma IEC 60282-2 (1989) foi feita e em boa parte oriunda das normas brasileiras sobre o assunto feitas naquela ocasião. Este trabalho foi coordenado na IEC por este autor.

Os principais pontos revisados naquelas normas brasileiras de sistemas de prevenção contra incêndios e explosões em equipamentos de subestações foram os seguintes:

1) ABNT NBR 13231:

Procedimento geral

O foco da revisão foi adequar a formatação do conjunto das quatro normas para que pudesse ser melhor percebido como um conjunto e não como documentos isolados. Outros objetivos foram os de atualizar as informações sobre todas as tecnologias disponíveis e colaborar para uma proposta de norma IEC sobre o assunto.

Neste contexto, a ABNT NBR 13231 é a “norma-mãe”, onde estão contemplados aspectos de elaboração de projetos de implantação de instalações, assim como de projeto, instalação, manutenção e ensaios dos sistemas. As normas ABNT NBR 8222, ABNT NBR 12232 e ABNT NBR 8674 detalham os aspectos de três tipos específicos de sistema.

O objetivo da ABNT NBR 13231 é fixar requisitos mínimos para proteção contra incêndios em subestações elétricas convencionais, atendidas, desassistidas, teleassistidas, de sistemas de geração, transmissão, subtransmissão e distribuição para:

- a) elaboração de projetos de implantação de instalações;
- b) projeto, instalação, manutenção e ensaios dos seguintes tipos de sistemas fixos automáticos para transformadores e reatores de potência:

- De CO₂, por inundação total, com suprimento de gás em alta pressão por abafamento (ABNT NBR 12232);
- De água nebulizada (ABNT NBR 8674);

- Por despressurização para prevenção contra explosões e incêndios decorrentes de arcos elétricos internos (ABNT NBR 8222).

Os propósitos destes sistemas são diferentes e incluem em maior ou menor grau:

- Prevenção de incêndios: prover meios para evitar que o incêndio venha a ocorrer;
- Extinção de incêndios: apagar um incêndio com o uso de meios adequadamente dimensionados;
- Proteção contra exposição: minimizar, durante certo período de tempo, a influência e danos consequentes de um incêndio de determinado equipamento sobre outros equipamentos e instalações;
- Controle de propagação de incêndio: prover meios para controlar, durante certo tempo, a intensidade do incêndio;
- Proteção aprimorada: prover proteções adicionais ao projeto do equipamento para que este venha a possuir maior segurança contra a explosão, incêndios ou riscos associados aos arcos elétricos, sobrecorrentes e curtos-circuitos.

A norma fixa requisitos de projeto, inclusive, alguns relacionados a distâncias de segurança. Entre estes incluem-se os aplicáveis a:

- Requisitos das edificações;
- Requisitos de equipamentos e instalações de pátio;
- Requisitos para outras instalações;
- Sistemas e equipamentos de proteção contra incêndio.

Os requisitos para equipamentos e instalações de pátio envolvendo transformadores e reatores de potência contemplam, entre outros aspectos:

- As consequências de incêndios e explosões causadas por arcos elétricos internos e sua severidade pela energia envolvida e sobrepressões decorrentes;
- Considerar a possibilidade de que óleo em chamas e partes sólidas sejam arremessados a certa distância na explosão;
- Que transformadores e reatores de potência devem ser instalados, de preferência, externamente às edificações, sobre bacias de contenção e separados fisicamente para prevenir que a queima de um equipamento cause risco de incêndio a outros equipamentos ou objetos vizinhos.

As Tabelas 2 e 3 mostram algumas distâncias.

TABELA 2 – DISTÂNCIAS MÍNIMAS DE SEPARAÇÃO ENTRE TRANSFORMADORES E REATORES A EDIFICAÇÕES

Tipo do líquido isolante do transformador	Volume de líquido isolante	Distância horizontal			Distância vertical
		Edificações resistentes ao fogo por 2 h	Edificações não combustíveis	Edificações combustíveis	
	<i>L</i>	<i>m</i>	<i>m</i>	<i>m</i>	<i>m</i>
Óleo mineral	< 2.000	1,5	4,6	7,6	7,6
	> 2.000				
	<i>e</i>	4,6	7,6	15,2	15,2
	< 20.000				
Fluido resistente ao fogo – Transformador sem proteção aprimorada	> 20.000	7,6	15,2	30,5	30,5
	< 38.000	1,5	1,5	7,6	7,6
Fluido resistente ao fogo – Transformador com proteção aprimorada	> 38.000	4,6	4,6	15,2	15,2
	<i>não se aplica</i>	0,9	0,9	0,9	1,5

TABELA 3 – DISTÂNCIAS MÍNIMAS DE SEPARAÇÃO ENTRE TRANSFORMADORES E REATORES A EQUIPAMENTOS

<i>Tipo do líquido isolante do transformador</i>	<i>Volume de líquido isolante L</i>	<i>Distância m</i>
<i>Óleo mineral</i>	<i>< 2.000</i>	<i>1,5</i>
<i>Óleo mineral</i>	<i>< 2.000</i>	<i>1,5</i>
<i>Óleo mineral</i>	<i>entre 2.000 e 20.000, inclusive</i>	<i>7,6</i>
<i>Óleo mineral</i>	<i>> 20.000</i>	<i>15,2</i>
<i>Fluido resistente ao fogo – Transformador sem proteção aprimorada</i>	<i>< 38.000</i>	<i>1,5</i>
<i>Fluido resistente ao fogo – Transformador sem proteção aprimorada</i>	<i>> 38.000</i>	<i>7,6</i>
<i>Fluido resistente ao fogo – Transformador com proteção aprimorada</i>	<i>não se aplica</i>	<i>0,9</i>

2) ABNT NBR 8222: sistemas por despressurização, drenagem e agitação do óleo

Esta norma foi o fato motivador da revisão das demais. Se aplica a equipamentos para prevenção contra explosões e incêndios por evitar

sobrepensões decorrentes de arcos elétricos internos em transformadores e reatores de potência. Complementa os requisitos gerais de projetos de instalações na ABNT NBR 13231 e o objetivo deste tipo de sistema é evitar a explosão do transformador ou reator e,

consequentemente, os incêndios.

O aspecto mais relevante desta norma é prever as regras básicas para um ensaio de arco interno em transformadores. Talvez esta seja a única norma atual, em âmbito mundial, que sinaliza para este tipo de ensaio. Por não haver suficiente experiência mundial sobre este tipo de ensaio, a norma fornece um texto de referência, mas ainda não o fixa como um ensaio de tipo formal.

O ensaio “ideal” consiste em simular em laboratório de alta potência um certo número – por exemplo três – de curtos-circuitos e arcos no interior de um tanque de transformador ou reator, para verificar como se comporta o sistema de prevenção instalado no equipamento a proteger.

Deve ser aplicada uma corrente de valor e duração compatíveis com as que aconteceriam em uma situação real. A Tabela 4 criou um referencial inicial para as revisões futuras da norma. Se um equipamento de prevenção falhar

no ensaio e estiver sendo utilizado um transformador com grande volume de óleo, será difícil ao laboratório de ensaios. Por este motivo, devem ser buscadas alternativas de ensaios para que a verificação de desempenho se dissemine na prática.

3) ABNT NBR 8674: sistemas de água nebulizada

Uma das referências normativas desta norma é a NFPA 15:2001 – “Standard for water spray fixed systems for fire protection”. Os requisitos gerais informam com mais clareza que as versões anteriores deste tipo de sistema pode ser utilizado com os seguintes propósitos, em diferentes graus e situações para:

- Prevenção de incêndio;
- Extinção de incêndio;
- Proteção contra exposição;
- Controle de combustão.

O sistema deve ser operável automaticamente e provido de meios para operação manual. As distâncias elétricas entre as partes do sistema e as partes energizadas não devem ser menores que as descritas na ABNT NBR 13231. No que diz respeito ao suprimento de água, ela especifica algumas características gerais e indicações para as capacidades dos reservatórios de suprimento de água. Estes devem permitir manter uma descarga de água para o maior risco isolado nos valores de projeto de vazão e pressão, por um tempo mínimo de 30 minutos.

O suprimento de água deve ser feito por uma fonte confiável, tais como:

- Reservatório de alimentação por gravidade;
- Reservatório provido de estação de bombeamento, associado ou não a um tanque hidropneumático;
- Dois ou mais tanques hidropneumáticos interligados, com capacidade para atender ao sistema por, no mínimo, 10 minutos.

TABELA 4 – ORDENS DE GRANDEZA DAS CORRENTES DE CURTO-CIRCUITO MÁXIMAS TÍPICAS PARA ARCOS INTERNOS EM TRANSFORMADORES E REATORES DE POTÊNCIA

Faixa de potência do transformador (MVA)	Faixa de tensões no enrolamento de maior tensão (kV)	Ordem de grandeza das correntes de curto-circuito kA eficazes simétricos	Ordem de grandeza das durações das correntes de curto-circuito(s)
Até 5 MVA	1 a 15	5	1 a 2
10 a 50 MVA	Em estudos	Em estudos	Em estudos
> 50 MVA	Em estudos	Em estudos	Em estudos

São previstos ensaios como:

- Ensaios hidrostáticos: toda a tubulação, inclusive os anéis de distribuição, deve ser ensaiada com água a uma pressão mínima igual a 1,5 vez a pressão de projeto do sistema;
- Ensaios de escoamento: após ensaiado hidrostaticamente o sistema deve ser submetido a ensaios de escoamento para verificar o correto posicionamento dos bicos de nebulização, a geometria da descarga e a eventual existência de obstáculos que interfiram com a descarga;
- Ensaios de operação: os componentes do sistema devem ser ensaiados operacionalmente, para garantir a confiabilidade de operação. Os ensaios de operação devem incluir o sistema de detecção de incêndio, alarme e sinalização. Falta o ensaio com fogo real para verificar até que proporção o incêndio pode ser apagado.

4) ABNT NBR 12232: sistemas de CO₂ por inundação total, por abafamento

Esta norma fixa os requisitos específicos mínimos exigíveis para o projeto, instalação, manutenção e ensaios e se aplica apenas aos transformadores e reatores imersos em óleo isolante instalados em ambientes fechados. Entre os requisitos gerais e condições gerais de utilização estão especificações como:

- O ambiente que contém o equipamento protegido deve ser o mais fechado possível. As aberturas devem restringir-se

ao mínimo, sendo localizadas de preferência no teto, ou próximas a ele, e providas de dispositivos de fechamento automático;

- Se o fechamento das aberturas for impraticável, deve-se prever uma quantidade adicional de CO₂ para compensar o vazamento;
- Se o ambiente protegido se comunicar, por meio de aberturas que não podem ser fechadas, com outros ambientes onde há risco potencial de incêndio, estes também devem ser protegidos;
- Portas e janelas devem ser, de preferência, de fechamento automático, atuadas antes do início da descarga do gás. As portas de acesso aos ambientes protegidos devem possuir os acessórios necessários para sua abertura manual.

Estas normas ABNT publicadas em 2005 significaram um avanço em relação às anteriores, principalmente no que diz respeito ao conteúdo da ABNT NBR 8222 (sistemas por despressurização, drenagem e agitação do óleo) e à reorganização para que pudessem ser entendidas como um conjunto de normas e não como textos isolados.

*Sergio Feitoza Costa é engenheiro eletricista, com mestrado em sistemas de potência. É diretor da Cognitor, Consultoria, P&D e Treinamento sergiofeitoza@cognitor.com.br www.cognitor.com.br

CONTINUA NA PRÓXIMA EDIÇÃO

Acompanhe todos os artigos deste fascículo em www.osetoreletrico.com.br
Dúvidas, sugestões e comentários podem ser encaminhados para redacao@atitudeeditorial.com.br